หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ
หลักสูตรใหม่ พุทธศักราช 2568
(หลักสูตรพหุวิทยาการ)

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

คำนำ

“ประเทศไทยเกิดระบบนิเวศที่ครบถ้วนและเชื่อมโยงแบบบูรณาการเพื่อส่งเสริมการพัฒนา และประยุกต์ใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น และนำไปสู่การยกระดับเศรษฐกิจและคุณภาพชีวิตของประชาชนภายในปี พ.ศ. 2570” คือ วิสัยทัศน์ของแผนปฏิบัติการด้านปัญญาประดิษฐ์แห่งชาติเพื่อการพัฒนาประเทศไทย (พ.ศ. 2565 - 2570) ประกาศโดยกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม และกระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายในฐานะซึ่งมีภารกิจหลักในการพัฒนาท้องถิ่นให้ยั่งยืน ย่อมต้องแสดงตนว่าสามารถเป็นที่พึ่งให้กับประชาชนในท้องถิ่นเพื่อเตรียมรับมือกับการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีและยุคแห่งข้อมูลมหาศาลได้ เพื่อรองรับแนวคิดและการพัฒนาที่เกิดขึ้นในโลกปัจจุบันในยุคที่เทคโนโลยีและการประมวลข้อมูลเข้ามามีบทบาทสำคัญในทุก ๆ ด้านของชีวิต และเพื่อสอดรับกับแผนปฏิบัติการด้านปัญญาประดิษฐ์แห่งชาติเพื่อการพัฒนาประเทศไทย (พ.ศ. 2565 - 2570) ของรัฐบาล

การเปิดหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิตในสาขาปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ จึงเป็นเรื่องท้าทายในการพัฒนาจังหวัดเชียงรายอย่างยั่งยืน เนื่องด้วยเหตุผลหลายประการ อาทิ การเตรียมความพร้อมให้กับคนรุ่นใหม่สู่ตลาดแรงงานที่ต้องการความรู้และทักษะเฉพาะที่ทันสมัยเพื่อจัดการกับข้อมูลมหาศาล การเตรียมความพร้อมในการแก้ไขปัญหาที่ซับซ้อนอันจะเกิดขึ้นเมื่อสังคมถูกถล่มอย่างท่วมท้นด้วยข้อมูลมหาศาล การสร้างนักวิจัยและนวัตกรรม การขับเคลื่อนเศรษฐกิจพื้นที่ และการเสริมสร้างชื่อเสียงของมหาวิทยาลัย

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ในฐานะหน่วยงานจัดการศึกษาที่มีประสบการณ์ในการจัดการเรียนการสอนในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ประยุกต์ที่หลากหลายมากกว่า 40 ปี จึงได้ดำเนินการพัฒนาหลักสูตรใหม่ระดับบัณฑิตศึกษาขึ้น โดยมีเป้าหมายเพื่อผลิตบุคลากรที่มีความรู้ความสามารถ และทักษะเฉพาะที่สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีที่มีข้อมูลที่ต้องอาศัยวิทยาการคำนวณที่สะสมขึ้นอย่างรวดเร็ว และสามารถใช้ปัญญาประดิษฐ์เพื่อช่วยวิเคราะห์ข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็วยิ่งขึ้น ในชื่อหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิตสาขาปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ (Doctor of Philosophy Program in Artificial Intelligence and Computing Science) โดยมีเนื้อหาและองค์ประกอบเป็นไปตามเกรฑ์มาตรฐานหลักสูตรระดับบัณฑิตศึกษา พ.ศ. 2565 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมีความมั่นใจว่าผู้สำเร็จการศึกษาจากหลักสูตรนี้ จะเป็นผู้ที่มีคุณลักษณะตรงตามความต้องการของทั้งรัฐบาลและผู้ใช้บัณฑิตและจะเป็นกลไกสำคัญในการขับเคลื่อนการพัฒนาอุตสาหกรรมดิจิทัลของประเทศทั้งในระดับพื้นที่และระดับชาติและท้ายที่สุดจะช่วยสร้างชื่อเสียงให้กับมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

สารบัญ

หมวดที่		หน้า
1	**ข้อมูลทั่วไปของหลักสูตร**	**1**
	ชื่อหลักสูตร	1
	ชื่อปริญญาและสาขาวิชา	1
	วิชาเอก	1
	จำนวนหน่วยกิตที่เรียนตลอดหลักสูตร	1
	รูปแบบของหลักสูตร	1
	สถานภาพของหลักสูตรและการพิจารณาอนุมัติ/เห็นชอบหลักสูตร	2
	ระบบการจัดการศึกษา	3
	อาชีพที่สามารถประกอบได้หลังสำเร็จการศึกษา	3
	เหตุผลและความจำเป็นในการพัฒนาหลักสูตร	4
	ความสอดคล้องกับยุทธศาสตร์ชาติและมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย	7
	สถานที่จัดการเรียนการสอน	15
2	**คุณสมบัติของผู้เข้าศึกษา**	**16**
	คุณสมบัติของผู้เข้าศึกษา	16
	แผนการรับนักศึกษาและผู้สำเร็จการศึกษาในระยะ 5 ปี	17
	งบประมาณตามแผน	18
3	**ปรัชญา วัตถุประสงค์ และผลลัพธ์การเรียนรู้**	**19**
	ปรัชญาของหลักสูตร (แผน 1.1)	19
	วัตถุประสงค์ของหลักสูตร (แผน 1.1)	19
	ผลลัพธ์การเรียนรู้ที่คาดหวังของหลักสูตร (แผน 1.1)	22
	ความคาดหวังของผลลัพธ์การเรียนรู้เมื่อสิ้นปีการศึกษา (แผน 1.1)	22
	ปรัชญาของหลักสูตร (แผน 2.1)	26
	วัตถุประสงค์ของหลักสูตร (แผน 2.1)	26
	ผลลัพธ์การเรียนรู้ที่คาดหวังของหลักสูตร (แผน 2.1)	27
	ความคาดหวังของผลลัพธ์การเรียนรู้เมื่อสิ้นปีการศึกษา (แผน 2.1)	29
4	**โครงสร้างหลักสูตร**	**35**
	กระบวนการออกแบบโครงสร้างหลักสูตรและรายวิชา	35
	หลักสูตรและแผนการศึกษา	54
	คำอธิบายรายวิชา	61
	การพัฒนาผลการเรียนรู้ในแต่ละด้านระดับบัณฑิตศึกษา	72
	การพัฒนาคุณลักษณะพิเศษของนักศึกษา	78
	ความคาดหวังของผลลัพธ์การเรียนรู้ของนักศึกษาในแต่ละชั้นปี	81
	ผลลัพธ์การเรียนรู้ตามมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษา พ.ศ. 2565 ระดับบัณฑิตศึกษา	83

หมวดที่		หน้า
5	**การจัดกระบวนการเรียนรู้**	**86**
	กระบวนการจัดการเรียนรู้	86
	วิธีการจัดกระบวนการเรียนรู้ที่ก่อให้เกิดการพัฒนาผลลัพธ์การเรียนรู้ในแต่ละด้าน	86
6	**ความพร้อมและศักยภาพหลักสูตร**	**87**
	กระบวนการเตรียมความพร้อมและศักยภาพของหลักสูตร	87
	ความพร้อมด้านอาจารย์	87
	ความพร้อมในการจัดการเรียนการสอน	93
	ความพร้อมด้านความร่วมมือทางวิชาการกับสถาบันอื่นหรือหน่วยงานอื่น	93
	การพัฒนาความรู้และทักษะให้แก่คณาจารย	93
7	**การประเมินผลการเรียนและเกณฑ์การสำเร็จการศึกษา**	**95**
	ผลลัพธ์การเรียนรู้ที่คาดหวังแต่ละชั้นปีของนักศึกษา	95
	การวัดและการประเมินผลการศึกษา	95
	กระบวนการทวนสอบผลสัมฤทธิ์ของนักศึกษาตามผลลัพธ์การเรียนรู้ที่คาดหวังของหลักสูตร	95
	กระบวนการยืนยัน (Verification) ผลสัมฤทธิ์ของนักศึกษาตามผลลัพธ์การเรียนรู้ที่คาดหวังของหลักสูตร	96
	เกณฑ์การสำเร็จการศึกษาตามหลักสูตร	96
8	**การประกันคุณภาพหลักสูตร**	**98**
	การวางแผนคุณภาพและการควบคุมคุณภาพ	98
	การบริหารความเสี่ยง	100
	การเผยแพร่ข้อมูลของหลักสูตรให้ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียทราบ	104
9	**ระบบและกลไกการพัฒนาหลักสูตร**	**105**
	กระบวนการออกแบบระบบและกลไกการพัฒนาหลักสูตร	105
	การประเมินหลักสูตรในภาพรวม	106
	การประเมินผลการดำเนินงานตามรายละเอียดหลักสูตร	106
ภาคผนวก		
ภาคผนวก ก	คำสั่งฯ แต่งตั้งคณะกรรมการพัฒนาหลักสูตร	107
ภาคผนวก ข	คำสั่งฯ แต่งตั้งคณะกรรมการวิพากษ์หลักสูตร	109
ภาคผนวก ค	ประวัติอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร อาจารย์ประจำหลักสูตร และอาจารย์ผู้สอน	111
ภาคผนวก ง	ข้อบังคับมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายว่าด้วยการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา พ.ศ. 2565	149
ภาคผนวก จ	ข้อบังคับมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายว่าด้วยการดำเนินงานระบบคลังหน่วยกิตระดับอุดมศึกษา พ.ศ. 2566	178
ภาคผนวก ฉ	ประกาศคณะกรรมการมาตรฐานการอุดมศึกษา เรื่องเกณฑ์มาตรฐานหลักสูตรระดับบัณฑิตศึกษา พ.ศ. 2565	179
ภาคผนวก ช	ประกาศคณะกรรมการมาตรฐานการอุดมศึกษาเรื่องรายละเอียดผลลัพธ์	192

	การเรียนรู้ตามมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษา พ.ศ. 2565	
ภาคผนวก ซ	ผลลัพธ์การเรียนรู้ของบลูม (Bloom Taxonomy of Education Objectives)	196
ภาคผนวก ฌ	ตารางแสดงวิธีการจัดกระบวนการเรียนรู้ที่ก่อให้เกิดการพัฒนาผลลัพธ์การเรียนรู้ในแต่ละด้าน	199
ภาคผนวก ญ	สำเนาผลงานวิชาการตีพิมพ์เผยแพร่ของอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร	210

หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ
(Doctor of Philosophy Program in Artificial Intelligence and Computing Science)
หลักสูตรใหม่ พ.ศ. 2568
(หลักสูตรพหุวิทยาการ)

ชื่อสถาบันอุดมศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
คณะ/วิทยาลัย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

หมวดที่ 1
ข้อมูลทั่วไปของหลักสูตร

1. ชื่อหลักสูตร

รหัสหลักสูตร : T20252110102634
ภาษาไทย : หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ
ภาษาอังกฤษ : Doctor of Philosophy Program in Artificial Intelligence and Computing Science

2. ชื่อปริญญาและสาขาวิชา

ชื่อเต็ม (ไทย) : ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (ปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ)
ชื่อย่อ (ไทย) : ปร.ด. (ปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ)
ชื่อเต็ม (อังกฤษ) : Doctor of Philosophy (Artificial Intelligence and Computing Science)
ชื่อย่อ (อังกฤษ) : Ph.D. (Artificial Intelligence and Computing Science)

3. วิชาเอก (ถ้ามี)

ไม่มี

4. จำนวนหน่วยกิตที่เรียนตลอดหลักสูตร

- แผน 1.1 แบบวิชาการ รวมตลอดหลักสูตรไม่น้อยกว่า 48 หน่วยกิต
- แผน 2.1 แบบวิชาการ รวมตลอดหลักสูตรไม่น้อยกว่า 48 หน่วยกิต

5. รูปแบบของหลักสูตร

5.1 รูปแบบและประเภทของหลักสูตร

☑ หลักสูตรปริญญาเอก

☑ แผน 1 ทำดุษฎีนิพนธ์

☑ แผน 1.1 ผู้เข้าศึกษาที่สำเร็จปริญญาโท

☐ แผน 1.2 ผู้เข้าศึกษาที่สำเร็จปริญญาตรี

☑ แผน 2 ทำดุษฎีนิพนธ์และศึกษารายวิชา

☑ แผน 2.1 ผู้เข้าศึกษาที่สำเร็จปริญญาโท

☐ แผน 2.2 ผู้เข้าศึกษาที่สำเร็จปริญญาตรี

5.2 ภาษาที่ใช้

☑ จัดการศึกษาเป็นภาษาไทย หรือภาษาอังกฤษ

5.3 การรับเข้าศึกษา

☑ รับทั้งนักศึกษาไทยหรือนักศึกษาต่างชาติที่สามารถสื่อสารภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษได้

5.4 ความร่วมมือกับสถาบันอื่น

☑ เป็นหลักสูตรเฉพาะของมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

5.5 การให้ปริญญาแก่ผู้สำเร็จการศึกษา

กรณีเป็นหลักสูตรเฉพาะของมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

☑ หลักสูตรเดี่ยว ให้ปริญญาเพียงสาขาวิชาเดียว

5.6 หลักสูตรพหุวิทยาการ

☑ หลักสูตรพหุวิทยาการ โดยศาสตร์หลักที่บูรณาการเข้าด้วยกัน ประกอบด้วย ศาสตร์วิทยาการคอมพิวเตอร์ (Computer Science) ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) วิทยาการคำนวณ (Computing Science) วิทยาศาสตร์ข้อมูล (Data Science) คณิตศาสตร์และสถิติ (Mathematics and Statistics) วิศวกรรมศาสตร์ (Engineering) ร่วมกับศาสตร์เฉพาะทางอื่น ๆ ตามการประยุกต์ใช้ด้านต่าง ๆ เช่น เศรษฐศาสตร์ การแพทย์ การเกษตร การศึกษา ภูมิสารสนเทศ และอื่น ๆ ที่สามารถนำปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณไปใช้

6. สถานภาพของหลักสูตรและการพิจารณาอนุมัติ/เห็นชอบหลักสูตร

☑ หลักสูตรใหม่ พุทธศักราช 2568

☑ สภาวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ได้พิจารณาให้ความเห็นชอบในการประชุมครั้งที่ 4/2568 เมื่อวันที่ 11 เดือน เมษายน พ.ศ. 2568

☑ สภามหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ได้พิจารณาให้ความเห็นชอบในการประชุมครั้งที่ 6/2568 เมื่อวันที่ 25 เดือน เมษายน พ.ศ. 2568

เปิดสอนในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2568

ความพร้อมในการเผยแพร่หลักสูตรที่มีคุณภาพและมาตรฐาน

หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ มีความพร้อมในการเผยแพร่คุณภาพและมาตรฐานตามกฎกระทรวง มาตรฐานการจัดการศึกษาระดับอุดมศึกษา พุทธศักราช 2565 และประกาศคณะกรรมการมาตรฐานการอุดมศึกษา เรื่อง เกณฑ์มาตรฐานหลักสูตร ระดับบัณฑิตศึกษา พ.ศ. 2565 ในปีการศึกษา 2570 หลังทำการเปิดสอน 2 ปี (นับจากวันที่ทำการเปิดสอน)

7. ระบบการจัดการศึกษา

7.1 ระบบ

☑ ระบบทวิภาค โดย 1 ปีการศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ภาคการศึกษา และ 1 ภาคการศึกษาปกติ มีระยะเวลาการศึกษาไม่น้อยกว่า 15 สัปดาห์

☑ ระบบจัดเป็นหน่วยการศึกษา (Mudule)

☐ ระบบการศึกษาตลอดปี (ไม่น้อยกว่า.....สัปดาห์)

7.2 การจัดการศึกษาภาคฤดูร้อน

☑ กำหนดให้มีการจัดการศึกษาภาคฤดูร้อน เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 8 สัปดาห์ต่อภาคการศึกษา

☐ ไม่จัดการศึกษาภาคฤดูร้อน

7.3 รูปแบบการศึกษา

☑ แบบเข้าชั้นเรียน

☑ แบบผสมผสานโดยการเข้าชั้นเรียน (On site) และผ่านสื่ออิเล็กทรอนิกส์ (E-learning)

☑ แบบทางไกลผ่านสื่ออิเล็กทรอนิกส์เป็นสื่อหลัก (E-learning)

☑ แบบทางไกลผ่านสื่อแพร่ภาพและเสียงเป็นหลัก

☐ แบบทางไกลผ่านสื่อสิ่งพิมพ์เป็นหลัก

☑ แบบทางไกลทางอินเทอร์เน็ต

☑ อื่น ๆ มีการศึกษานอกสถานที่

7.4 การเทียบโอนหน่วยกิต รายวิชาและการลงทะเบียนเรียนเข้ามหาวิทยาลัย

ให้เป็นไปตามข้อบังคับมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ว่าด้วยการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา พ.ศ. 2565 และประกาศอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

8. อาชีพที่สามารถประกอบได้หลังสำเร็จการศึกษา

8.1 อาชีพในสายวิชาการและการวิจัย

8.1.1 นักวิจัยด้านปัญญาประดิษฐ์ (AI Researcher)

8.1.2 อาจารย์มหาวิทยาลัย

8.1.3 ผู้เชี่ยวชาญด้านการวิเคราะห์ข้อมูล (Data Scientist)

8.2 อาชีพในสายอุตสาหกรรม

8.2.1 วิศวกรปัญญาประดิษฐ์ (AI Engineer)

8.2.2 นักพัฒนาการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning Engineer)

8.3 อาชีพในสายเทคโนโลยีและนวัตกรรม

8.3.1 ผู้บริหารเทคโนโลยี (Chief Technology Officer: CTO)

8.3.2 ผู้ประกอบการด้านเทคโนโลยี (Tech Entrepreneur)

8.3.3 ที่ปรึกษาด้านปัญญาประดิษฐ์ (AI Consultant)

8.3.4 ผู้พัฒนาเกม AI (Game AI Developer)

8.4 อาชีพในสายการแพทย์และสุขภาพ

8.4.1 ผู้เชี่ยวชาญด้าน AI ในการแพทย์ (AI in Healthcare Specialist)

8.4.2 ผู้เชี่ยวชาญด้านชีวสารสนเทศ (Bioinformatics Specialist)

8.5 อาชีพในสายความปลอดภัยและกฎหมาย

8.5.1 ผู้เชี่ยวชาญด้านจริยธรรมและกฎหมายปัญญาประดิษฐ์ (AI Ethics and Policy Expert)

8.6 อาชีพในสายเศรษฐกิจและการเงิน

8.6.1 นักวิเคราะห์ข้อมูลทางการเงิน (Financial Data Analyst)

8.6.2 ผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีทางการเงิน (FinTech Specialist)

8.7 อาชีพในสายสิ่งแวดล้อมและพลังงาน

8.7.1 นักวิเคราะห์สิ่งแวดล้อมด้วย AI (Environmental Data Analyst)

8.7.2 ผู้เชี่ยวชาญด้านพลังงานอัจฉริยะ (Smart Energy Specialist)

8.8 อาชีพอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

9. เหตุผลและความจำเป็นในการพัฒนาหลักสูตร

9.1 มิติโดยรวมขององค์ความรู้ที่หลักสูตรนำเสนอและความโดดเด่น

หลักสูตรวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ ของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย มีความโดดเด่นในการบูรณาการศาสตร์ด้านปัญญาประดิษฐ์ (AI) และวิทยาการคำนวณ (Computational Science) เพื่อสร้างความรู้ใหม่และพัฒนานวัตกรรมที่ตอบสนองต่อความต้องการของโลกยุคดิจิทัล โดยมุ่งเน้นใน 3 ด้าน ได้แก่

1. ด้านการบูรณาการองค์ความรู้ข้ามศาสตร์ โดยหลักสูตรนี้เน้นการประยุกต์ใช้ AI และวิทยาการคำนวณร่วมกับศาสตร์อื่น เช่น วิทยาศาสตร์สุขภาพ การเกษตร และการบริหารจัดการ เพื่อสร้างองค์ความรู้ใหม่หรือแก้ปัญหาซับซ้อนที่เกิดขึ้นในสังคม

2. ด้านการพัฒนาทักษะเชิงลึกด้านการวิจัย โดยผู้เรียนจะได้รับการพัฒนาให้สามารถวิเคราะห์ปัญหาเชิงลึก สร้างนวัตกรรม หรือทำการวิจัยที่สามารถตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ

3. ด้านการพัฒนาผู้นำทางวิชาการและจริยธรรม เนื่องจากเป็นหลักสูตรที่มุ่งเน้นการสร้างผู้นำที่มีคุณธรรมและจริยธรรมในวิชาชีพ ซึ่งสอดคล้องกับความต้องการนักวิจัยที่มีจรรยาบรรณในยุคที่ AI มีผลกระทบต่อสังคมอย่างกว้างขวาง หลักสูตรนี้จึงมีความโดดเด่นในฐานะหลักสูตรที่ผลิตนักวิชาการและนักวิจัยคุณภาพสูง ที่สามารถสร้างผลกระทบเชิงบวกทั้งในระดับท้องถิ่นและระดับนานาชาติ

9.2 การเปลี่ยนแปลงที่สำคัญที่มีผลกระทบต่อองค์ความรู้ที่จัดการเรียนการสอนโดยหลักสูตร

ในยุคปัจจุบันมีการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญหลายด้านที่ส่งผลกระทบต่อองค์ความรู้และแนวทางการจัดการเรียนการสอนครอบคลุมหลากหลายด้าน ดังนี้

1. ด้านสังคม - ความต้องการใช้ AI ในการแก้ปัญหาสังคม เช่น การวิเคราะห์ข้อมูลสุขภาพ การคาดการณ์ปัญหาเศรษฐกิจ หรือการจัดการภัยพิบัติ กำลังเพิ่มขึ้น หลักสูตรนี้จึงจำเป็นต้องเตรียมผู้เรียนให้สามารถประยุกต์ใช้ AI เพื่อประโยชน์ของสังคม

2. ด้านเศรษฐกิจ - การพัฒนาเศรษฐกิจดิจิทัล (Digital Economy) และอุตสาหกรรม 4.0 ทำให้ AI และวิทยาการคำนวณกลายเป็นเครื่องมือสำคัญสำหรับการสร้างนวัตกรรมและเพิ่มศักยภาพการแข่งขันของธุรกิจ

3. ด้านเทคโนโลยี - ความก้าวหน้าของ AI เช่น Generative AI, Quantum Computing, และ Explainable AI กำหนดให้หลักสูตรต้องอัปเดตองค์ความรู้ใหม่ ๆ และเตรียมผู้เรียนให้พร้อมเผชิญความท้าทายด้านเทคโนโลยี

4. ด้านสิ่งแวดล้อม - การประยุกต์ AI เพื่อจัดการปัญหาสิ่งแวดล้อม เช่น การตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศหรือการพัฒนาระบบพลังงานที่ยั่งยืน เป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับการพัฒนาที่ยั่งยืน

5. การเปลี่ยนแปลงในตลาดแรงงาน - การพัฒนา AI ทำให้ความต้องการบุคลากรที่มีทักษะเฉพาะทางเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในบทบาท Data Scientist, AI Engineer และนักวิจัยในสาขาที่เกี่ยวข้อง

หลักสูตรนี้จึงจำเป็นต้องพัฒนาให้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว เพื่อผลิตบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญ สามารถสร้างนวัตกรรมใหม่ ตอบสนองต่อความท้าทายของโลก และส่งเสริมการพัฒนาประเทศในระยะยาว

9.3 การวิเคราะห์ช่องว่างระหว่างองค์ความรู้ของหลักสูตรและโอกาส (Gap Analysis and Opportunity)

จากการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อองค์ความรู้ที่จัดการเรียนการสอนในหลักสูตรวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ สามารถสรุปช่องว่างและโอกาสของหลักสูตรได้ดังนี้:

1. ด้านสังคม

สถานการณ์ : ความต้องการใช้ AI เพื่อแก้ปัญหาสังคม เช่น การวิเคราะห์ข้อมูลสุขภาพ การจัดการภัยพิบัติ หรือการพัฒนาระบบการศึกษาที่ปรับแต่งได้เฉพาะบุคคล (Personalized Learning) กำลังเพิ่มขึ้นอย่างมาก

ช่องว่าง : หลักสูตรปัจจุบันอาจยังไม่มีรายวิชาหรือการฝึกอบรมที่มุ่งเน้นการประยุกต์ AI กับการแก้ปัญหาทางสังคมเฉพาะด้าน ขาดการเชื่อมโยงกับชุมชนหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการพัฒนานวัตกรรม AI

โอกาส : การเพิ่มรายวิชาเลือก เช่น สัมมนาด้านการใช้ปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณสำหรับงานด้านการศึกษา ด้านสาธารณสุข ด้านสิ่งแวดล้อม ด้านสังคมศาสตร์ ด้านการเกษตร และด้านธุรกิจ เพื่อแก้ปัญหาเฉพาะบุคคลได้

2. ด้านเศรษฐกิจ

สถานการณ์ : เศรษฐกิจดิจิทัลและอุตสาหกรรม 4.0 กำลังผลักดันให้เกิดความต้องการบุคลากรที่มีทักษะด้าน AI และวิทยาการคำนวณในอุตสาหกรรม

ช่องว่าง : หลักสูตรอาจยังไม่ได้มุ่งเน้นด้าน AI ในอุตสาหกรรมเฉพาะ เช่น การผลิตหรือการเงิน ขาดความร่วมมือกับภาคอุตสาหกรรมในรูปแบบการฝึกงานหรือการทำโครงงานวิจัย

โอกาส : เพิ่มวิชาเลือก เช่น สัมมนาด้านการใช้ปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณสำหรับงานด้านด้านธุรกิจ

3. ด้านเทคโนโลยี

สถานการณ์ : ความก้าวหน้าของเทคโนโลยี เช่น Generative AI, Explainable AI และ Quantum Computing ทำให้การเรียนการสอนในหลักสูตร AI ต้องก้าวทันการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้

ช่องว่าง : หลักสูตรอาจยังไม่มีเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยี AI ที่ทันสมัย เช่น Quantum AI หรือ AI Ethics ขาดการปรับปรุงเนื้อหาอย่างต่อเนื่องเพื่อให้สอดคล้องกับการพัฒนาล่าสุด

โอกาส : เพิ่มรายวิชาที่ทันสมัย เช่น ปัญญาประดิษฐ์ในเทคโนโลยีอัจฉริยะ สนับสนุนการวิจัยด้านเทคโนโลยีใหม่ ๆ โดยให้ผู้เรียนทำงานร่วมกับนักวิจัยในมหาวิทยาลัย

4. ด้านสิ่งแวดล้อม

สถานการณ์ : AI มีบทบาทสำคัญในการแก้ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม เช่น การตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ หรือการพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานที่ยั่งยืน

ช่องว่าง : หลักสูตรยังขาดการเน้นด้าน AI เพื่อสิ่งแวดล้อม ขาดโครงการเชื่อมโยงกับประเด็นด้านความยั่งยืน

โอกาส : เพิ่มวิชาเลือก เช่น สัมมนาด้านการใช้ปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณสำหรับงานด้านสังคม ธุรกิจ การเกษตร และสิ่งแวดล้อม เพื่อแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่ตรงจุดได้ และจัดโครงการวิจัยด้าน AI เพื่อติดตามและวิเคราะห์ข้อมูลสิ่งแวดล้อมร่วมกับองค์กรท้องถิ่น

5. การเปลี่ยนแปลงในตลาดแรงงาน

สถานการณ์ : ความต้องการบุคลากรที่มีทักษะเฉพาะด้าน AI เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในตลาดแรงงานระดับโลกและในประเทศไทย

ช่องว่าง : หลักสูตรอาจยังไม่มีการฝึกอบรมที่มุ่งเน้นการพัฒนาทักษะเชิงปฏิบัติที่สามารถตอบโจทย์ของตลาดแรงงานได้ทันที ขาดการสนับสนุนด้านการเตรียมตัวผู้เรียนเข้าสู่ตลาดแรงงาน

โอกาส : ปรับเปลี่ยนทุกรายวิชาให้มีชั่วโมงปฏิบัติ 2 ชั่วโมง เพื่อให้ได้ปฏิบัติงานจริง โดยมีโจทย์ปัญหาจากปัญหาจริงจากภาคอุตสาหกรรม สร้างโปรแกรมการให้คำปรึกษาและการสร้างเครือข่ายกับผู้ประกอบการในอุตสาหกรรม

การวิเคราะห์ช่องว่างระหว่างองค์ความรู้ของหลักสูตรและโอกาสที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงสำคัญชี้ให้เห็นว่า หลักสูตรมีศักยภาพในการตอบสนองความต้องการที่เพิ่มขึ้นในหลายมิติ โดยการปรับปรุงและเพิ่มเนื้อหาที่ตอบโจทย์ความเปลี่ยนแปลงทางสังคม เศรษฐกิจ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม รวมถึงการพัฒนาทักษะเชิงปฏิบัติที่ทันสมัย จะทำให้หลักสูตรสามารถสร้างผลกระทบเชิงบวกและผลิตบัณฑิตที่มีคุณภาพสูงตอบสนองต่อความต้องการของสังคมและตลาดแรงงานได้อย่างยั่งยืน

9.4 การดำเนินงานของหลักสูตรเพื่อตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงภายนอก (9.2) และ (9.3)

1. การกำหนดจุดเน้นของผลผลิตเป้าหมายของหลักสูตร ได้แก่บัณฑิตที่เน้นสมรรถนะและทักษะเฉพาะ (Competencies-based) ผ่านการพัฒนาเนื้อหารายวิชา และกระบวนการจัดการเรียนการสอนที่เน้นการประยุกต์ทฤษฎีสู่การฝึกปฏิบัติในทุกรายวิชา เพื่อให้ได้ดุษฎีบัณฑิตที่มีทักษะในแก้ปัญหาเพื่อให้ตอบโจทย์การพัฒนาประเทศ

2. พัฒนาหลักสูตรให้ทันสมัย โดยมีพื้นฐานจากแผนปฏิบัติการด้าน AI แห่งชาติ พ.ศ. 2565-2570

10. ความสอดคล้องกับยุทธศาสตร์ชาติและมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

10.1 การตอบสนองต่อยุทธศาสตร์ชาติด้านต่าง ๆ

1. ยุทธศาสตร์ด้านการพัฒนากำลังคนของประเทศ

- หลักสูตรนี้มุ่งผลิตบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญเฉพาะทางในด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ โดยเน้นการพัฒนาความรู้ ทักษะ และคุณธรรม ซึ่งสอดคล้องกับเป้าหมายการสร้างทรัพยากรมนุษย์ที่มีศักยภาพเพื่อรองรับความต้องการในยุคเศรษฐกิจดิจิทัล
- สนับสนุนการเรียนรู้ตลอดชีวิต (Lifelong Learning) ด้วยเนื้อหาที่ทันสมัยและเน้นการประยุกต์ใช้งานในบริบทที่หลากหลาย เช่น การพัฒนา AI สำหรับการศึกษา การเกษตร และการจัดการข้อมูลชุมชน

2. ยุทธศาสตร์ด้านการพัฒนาเศรษฐกิจและความสามารถการแข่งขันของประเทศ

- หลักสูตรตอบสนองความต้องการของเศรษฐกิจดิจิทัล (Digital Economy) และอุตสาหกรรม 4.0 โดยการบูรณาการองค์ความรู้ด้าน AI และวิทยาการคำนวณเพื่อเพิ่มศักยภาพการแข่งขันขององค์กรในระดับชาติและนานาชาติ
- สนับสนุนการพัฒนาอุตสาหกรรมเป้าหมาย (S-Curve) เช่น การพัฒนาระบบ AI ในการผลิตอัจฉริยะ (Smart Manufacturing) การเงิน (FinTech) และการวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ในธุรกิจสุขภาพ
- มีความร่วมมือกับองค์กรและหน่วยงานในพื้นที่เพื่อพัฒนานวัตกรรมและโครงงานที่ตอบโจทย์เศรษฐกิจท้องถิ่น

3. ยุทธศาสตร์ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของประเทศ

- หลักสูตรสนับสนุนการวิจัยและนวัตกรรมในด้านเทคโนโลยีขั้นสูง เช่น Generative AI และการจัดการข้อมูลขนาดใหญ่ ซึ่งเป็นเทคโนโลยีสำคัญสำหรับอนาคต
- มีการบูรณาการเทคโนโลยี AI กับการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ เช่น การคำนวณเชิงวิศวกรรม และการจัดการข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อม
- สนับสนุนการสร้างเครือข่ายวิจัยและพัฒนากับมหาวิทยาลัยและองค์กรวิทยาศาสตร์ทั้งในและต่างประเทศ

4. ยุทธศาสตร์ด้านการพัฒนาที่ยั่งยืนและการยกระดับคุณภาพชีวิตของประชาชน

- หลักสูตรมีบทบาทในการประยุกต์ใช้ AI เพื่อพัฒนานวัตกรรมที่ส่งเสริมคุณภาพชีวิต เช่น การวิเคราะห์ข้อมูลสุขภาพ การจัดการทรัพยากรธรรมชาติ และการพัฒนาระบบการเรียนรู้ที่ปรับแต่งเฉพาะบุคคล
- สนับสนุนการพัฒนาที่ยั่งยืนโดยการใช้เทคโนโลยี AI ในการวิเคราะห์และแก้ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม เช่น การตรวจสอบความเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศหรือการจัดการพลังงานที่ยั่งยืน

10.2 การตอบสนองต่อเป้าหมายการพัฒนาประเทศด้านต่าง ๆ

1. SDGs

- SDG 4 (การศึกษาที่มีคุณภาพ): พัฒนาทรัพยากรมนุษย์ที่มีความรู้และทักษะด้าน AI เพื่อสนับสนุนการเรียนรู้ตลอดชีวิต
- SDG 9 (อุตสาหกรรม นวัตกรรม และโครงสร้างพื้นฐาน): สนับสนุนการสร้างนวัตกรรม AI และเทคโนโลยีขั้นสูงเพื่อพัฒนาประเทศ
- SDG 13 (การรับมือการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ): ใช้ AI เพื่อวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม

2. BCG

- Bio-Economy: ใช้ AI วิเคราะห์ข้อมูลด้านชีววิทยาเพื่อพัฒนานวัตกรรมในอุตสาหกรรมการเกษตรและการแพทย์
- Circular Economy: ประยุกต์ AI ในการวิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพและลดของเสีย
- Green Economy: ใช้ AI ในการวางแผนและจัดการพลังงานสะอาด รวมถึงการแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อม

3. อื่น ๆ

การสนับสนุนการพัฒนาท้องถิ่น หลักสูตรมีความเชื่อมโยงกับบทบาทของมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายในการยกระดับคุณภาพชีวิตของชุมชน โดยส่งเสริมการใช้ AI ในการแก้ปัญหาท้องถิ่น เช่น การพัฒนาระบบเกษตรอัจฉริยะหรือการจัดการทรัพยากรธรรมชาติ

10.3 การตอบสนองต่อยุทธศาสตร์ วิสัยทัศน์ พันธกิจ ของมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย มีการกำหนดปรัชญาการศึกษา วิสัยทัศน์ พันธกิจของมหาวิทยาลัยไว้ดังนี้

1. ปรัชญาการศึกษา

จัดการศึกษาให้ผู้เรียนเกิดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยใช้การศึกษาที่เน้นผลลัพท์การเรียนรู้สู่การเป็นนวัตกรมืออาชีพ สร้างสรรค์คุณค่าสู่ท้องถิ่น

2. วิสัยทัศน์

เป็นสถาบันแห่งการบูรณาการองค์ความรู้ สร้างนวัตกรรม ถ่ายทอดเทคโนโลยี เพื่อการพัฒนาท้องถิ่นอย่างยั่งยืน

3. พันธกิจ

1. ผลิตบัณฑิตเป็นนวัตกรมืออาชีพ เพื่อสร้างการเปลี่ยนแปลงและตอบสนองต่อการพัฒนาท้องถิ่นอย่างยั่งยืน

2. ผลิตผลงานวิจัยและงานสร้างสรรค์ สามารถต่อยอดในเชิงพาณิชย์ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในท้องถิ่น ประเทศ และภูมิภาคอาเซียน

3. ให้บริการวิชาการแก่สังคม เพื่อยกระดับคุณภาพชีวิตของประชาชนในท้องถิ่น ประเทศสู่การพัฒนาอย่างยั่งยืน

4. สืบสานและส่งเสริมศิลปวัฒนธรรมอันดีงามของท้องถิ่น และของชาติ

5. พัฒนามหาวิทยาลัยให้เป็นองค์กรแห่งการเรียนรู้ที่มีความสุข มีคุณภาพและมีธรรมาภิบาล

การพัฒนาหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ มีความสอดคล้องและการตอบสนองต่อประเด็นยุทธศาสตร์มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย 5 ประเด็น ดังรายละเอียดต่อไปนี้

แผนยุทธศาสตร์มหาวิทยาลัยและประเด็นยุทธศาสตร์	**รายละเอียดของประเด็นยุทธศาสตร์**	**ความสอดคล้องและการตอบสนอง**
แผนยุทธศาสตร์มหาวิทยาลัยระยะที่ 5 (2565-2569)		
ยุทธศาสตร์ที่ 1 (S1)	การยกระดับคุณภาพการศึกษา	- หลักสูตรมุ่งเน้นการผลิตบัณฑิตระดับดุษฎีบัณฑิตที่มีความรู้เชิงลึกและทักษะขั้นสูงในด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ (PLO1 และ PLO2) - มีการออกแบบการเรียนการสอนที่สอดคล้องกับแนวทางการศึกษาสมัยใหม่ เช่น การเรียนรู้เชิงปฏิบัติ (Experiential Learning) และการเรียนการสอนแบบบูรณาการ (Interdisciplinary Approach) - พัฒนากระบวนการประเมินผลที่มุ่งเน้นผลลัพธ์การเรียนรู้ (Outcome-Based Education) เพื่อให้ผู้เรียนสามารถนำความรู้ไปใช้งานได้จริง
ยุทธศาสตร์ที่ 2 (S2)	การผลิตและพัฒนาครู	- แม้หลักสูตรจะไม่ได้เน้นการผลิตครูโดยตรง แต่เนื้อหาของหลักสูตรสามารถช่วยพัฒนาบุคลากรทางการศึกษาที่ต้องการนำ AI และวิทยาการคำนวณไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการเรียนการสอน เช่น การพัฒนาระบบการเรียนรู้เฉพาะบุคคล (Personalized Learning) - หลักสูตรสามารถรองรับครูและอาจารย์ที่ต้องการต่อยอดความรู้หรือพัฒนาศักยภาพในด้าน AI เพื่อปรับตัวให้ทันกับการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับด้านการศึกษา
ยุทธศาสตร์ที่ 3 (S3)	การพัฒนางานวิจัย นวัตกรรม และงานสร้างสรรค์	- หลักสูตรมุ่งเน้นการพัฒนานักวิจัยที่มีความสามารถในการบูรณาการความรู้ด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณเพื่อสร้างนวัตกรรมใหม่ที่ตอบโจทย์ปัญหาที่ซับซ้อน (PLO1) - สนับสนุนการตีพิมพ์และเผยแพร่ผลงานทางวิชาการให้เป็นที่ยอมรับในระดับสากล (PLO2) - สร้างโอกาสให้ผู้เรียนพัฒนานวัตกรรมในหลากหลายสาขา เช่น การเกษตรอัจฉริยะ ระบบสุขภาพดิจิทัล และการจัดการข้อมูลขนาดใหญ่

ยุทธศาสตร์ที่ 4 (S4)	การพัฒนาท้องถิ่น	- หลักสูตรสนับสนุนการพัฒนาท้องถิ่นผ่านการวิจัยและโครงการที่เน้นการแก้ปัญหาชุมชนโดยใช้เทคโนโลยี AI เช่น การวิเคราะห์ข้อมูลด้านการเกษตรหรือการจัดการทรัพยากรธรรมชาติ - มีการเชื่อมโยงกับองค์กรท้องถิ่นและภาครัฐในการพัฒนานวัตกรรมเพื่อส่งเสริมเศรษฐกิจและคุณภาพชีวิตในพื้นที่เชียงราย
ยุทธศาสตร์ที่ 5 (S5)	การพัฒนาระบบกลไก และบริหารจัดการ	- หลักสูตรใช้แนวทางการบริหารจัดการที่เน้นคุณภาพ เช่น การพัฒนาอาจารย์ผู้สอนให้มีความเชี่ยวชาญเฉพาะทางด้าน AI - สนับสนุนการสร้างเครือข่ายความร่วมมือกับมหาวิทยาลัยอื่น องค์กรภาครัฐ และภาคเอกชนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการเรียนการสอนและการวิจัย - มีระบบการติดตามและประเมินผลการดำเนินงานของหลักสูตร เพื่อปรับปรุงให้ทันสมัยอยู่เสมอ

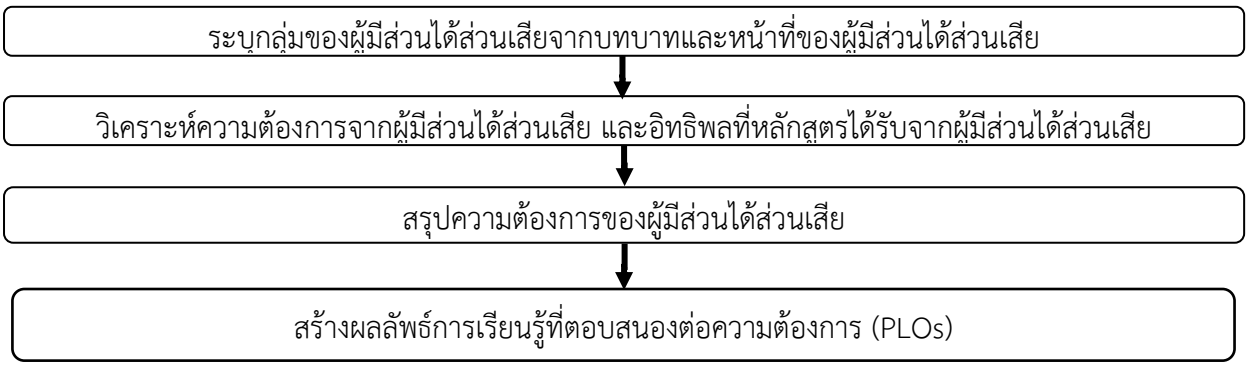
การพัฒนาหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ มีความสอดคล้องและการตอบสนองต่อวิสัยทัศน์ พันธกิจของ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

รายละเอียดของวิสัยทัศน์และพันธกิจของมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย	**ความสอดคล้องและการตอบสนอง**
วิสัยทัศน์ เป็นสถาบันแห่งการบูรณาการองค์ความรู้ สร้างนวัตกรรม ถ่ายทอดเทคโนโลยี เพื่อการพัฒนาท้องถิ่นอย่างยั่งยืน	- บูรณาการองค์ความรู้: หลักสูตรเน้นการบูรณาการปัญญาประดิษฐ์ (AI) และวิทยาการคำนวณ (Computing Science) ร่วมกับศาสตร์อื่น เช่น การเกษตร การศึกษา และการจัดการข้อมูลท้องถิ่น เพื่อตอบโจทย์ปัญหาที่ซับซ้อนในชุมชน - สร้างนวัตกรรม: สนับสนุนการพัฒนานวัตกรรมใหม่โดยใช้ AI เช่น ระบบเกษตรอัจฉริยะ ระบบวิเคราะห์ข้อมูลสุขภาพ และโซลูชันดิจิทัลสำหรับธุรกิจในท้องถิ่น - ถ่ายทอดเทคโนโลยี: หลักสูตรมีส่วนช่วยในการถ่ายทอดเทคโนโลยีผ่านการให้บริการวิชาการ การจัดอบรม และการทำโครงการวิจัยร่วมกับชุมชน
พันธกิจ 1. ผลิตบัณฑิตเป็นนวัตกรมืออาชีพ เพื่อสร้างการเปลี่ยนแปลงและตอบสนองต่อการพัฒนาท้องถิ่นอย่างยั่งยืน	- หลักสูตรพัฒนาบัณฑิตที่มีความรู้และทักษะด้าน AI และวิทยาการคำนวณสามารถเป็นนวัตกรมืออาชีพที่แก้ปัญหาเชิงระบบในท้องถิ่นได้ - บัณฑิตสามารถนำองค์ความรู้ไปสร้างการเปลี่ยนแปลงในชุมชน เช่น การนำ AI ไปช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเกษตรและการพัฒนาเศรษฐกิจดิจิทัลในพื้นที่
2. ผลิตผลงานวิจัยและงาน	- หลักสูตรสนับสนุนการวิจัยด้าน AI และวิทยาการคำนวณที่สามารถนำไปต่อยอด

รายละเอียดของวิสัยทัศน์และพันธกิจของมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย	ความสอดคล้องและการตอบสนอง
สร้างสรรค์ สามารถต่อยอดในเชิงพาณิชย์ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในท้องถิ่น ประเทศ และภูมิภาคอาเซียน	ในอุตสาหกรรม เช่น การพัฒนาระบบวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data Analytics) สำหรับธุรกิจและองค์กรในท้องถิ่น - ส่งเสริมการเผยแพร่ผลงานวิจัยในระดับมาตรฐานตามเกณฑ์ข้อบังคับมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายว่าด้วยการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา พ.ศ. 2565 กำหนด พร้อมสร้างเครือข่ายความร่วมมือในภูมิภาคอาเซียน
3. ให้บริการวิชาการแก่สังคม เพื่อยกระดับคุณภาพชีวิตของประชาชนในท้องถิ่น ประเทศสู่การพัฒนาอย่างยั่งยืน	- หลักสูตรเน้นการให้บริการวิชาการ เช่น การอบรม AI และการจัดการข้อมูลสำหรับผู้ประกอบการและชุมชนในพื้นที่ - จัดทำโครงการวิจัยที่มุ่งแก้ปัญหาในชุมชน เช่น การจัดการทรัพยากรธรรมชาติ การพัฒนาระบบสุขภาพดิจิทัล และการจัดการภัยพิบัติ
4. สืบสานและส่งเสริมศิลปวัฒนธรรมอันดีงามของท้องถิ่น และของชาติ	- หลักสูตรสามารถบูรณาการ AI ในการอนุรักษ์และส่งเสริมศิลปวัฒนธรรม เช่น การสร้างฐานข้อมูลดิจิทัลสำหรับศิลปะและวัฒนธรรมท้องถิ่น - ส่งเสริมการพัฒนานวัตกรรมที่ช่วยอนุรักษ์มรดกทางวัฒนธรรม เช่น การใช้ AI วิเคราะห์ลวดลายพื้นเมือง
5. พัฒนามหาวิทยาลัยให้เป็นองค์กรแห่งการเรียนรู้ที่มีความสุข มีคุณภาพ และมีธรรมาภิบาล	- หลักสูตรช่วยเสริมสร้างวัฒนธรรมองค์กรแห่งการเรียนรู้ โดยเน้นการพัฒนาอาจารย์และนักศึกษาด้วยการเรียนรู้เทคโนโลยีใหม่อย่างต่อเนื่อง - ส่งเสริมการบริหารจัดการหลักสูตรอย่างมีคุณภาพ โดยใช้แนวทางธรรมาภิบาลและความโปร่งใส

10.4 การตอบสนองต่อความต้องการของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (Stakeholders Needs Assessment)

10.4.1 กระบวนการดำเนินการ



10.4.2 ข้อมูลสะท้อนความต้องการของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย

แผน 1.1

ที่	ผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (Stakeholders)	ความต้องการ (Needs/Requirements)	สรุปความต้องการ (Sum up Needs/Requirement)	ผลลัพธ์การเรียนรู้ที่ตอบสนองต่อความต้องการ (PLO)
1	อาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร อาจารย์ประจำหลักสูตร อาจารย์ผู้สอน	- เน้นความสำคัญของการบูรณาการความรู้เพื่อสร้างงานวิจัยที่มีผลกระทบต่อวิชาการและสังคม - เน้นความสำคัญของการสื่อสารที่ชัดเจนและมีประสิทธิภาพในวงการวิชาการ - เห็นความสำคัญของการปลูกฝังคุณธรรมและจริยธรรมในงานวิจัยเพื่อป้องกันผลกระทบที่ไม่พึงประสงค์ - สามารถพัฒนาองค์ความรู้ใหม่ที่มีความลึกซึ้งและมีนัยสำคัญทางวิชาการ ผ่านกระบวนการวิจัยที่เข้มข้นในสาขาปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ - สามารถเผยแพร่ผลงานวิจัยในวารสารวิชาการที่มีคุณภาพ โดยผ่านกระบวนการตรวจสอบทางวิชาการ (Peer Review)	1. มีความสามารถในการนำเสนอผลงานวิจัยในเวทีวิชาการระดับนานาชาติ และสื่อสารได้อย่างมีประสิทธิภาพ 2. แสดงออกถึงคุณธรรมและจริยธรรมในงานวิจัย รวมถึงสามารถเป็นแบบอย่างให้แก่สังคมวิชาการ 3. สามารถพัฒนาองค์ความรู้ใหม่ที่มีความลึกซึ้งในสาขาปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ ผ่านกระบวนการวิจัยขั้นสูงที่สามารถเผยแพร่ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ	PLO1: สร้างนวัตกรรมใหม่ในองค์กรหรือการวิจัยเพื่อพัฒนาองค์ความรู้ใหม่ที่เชื่อมโยงความรู้จากหลากหลายศาสตร์ ในงานวิจัยปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณได้ (K6) PLO2: ถ่ายทอดผลงานทางวิชาการ นวัตกรรมด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ ได้อย่างเชี่ยวชาญและสามารถตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ (S3) PLO3: แสดงออกถึงภาวะผู้นำด้านคุณธรรม จริยธรรม และจรรยาบรรณของนักวิจัยด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ (A5)
2	กลุ่มผู้ใช้บัณฑิต	- ต้องการบัณฑิตที่สามารถสร้างโซลูชันที่ตอบโจทย์การใช้งานจริงในองค์กร - ต้องการบัณฑิตที่แก้ปัญหาซับซ้อนและพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ได้ - ชื่นชมบัณฑิตที่สามารถนำเสนอผลงานที่ช่วยพัฒนากระบวนการในองค์กร	1. มีความสามารถในการประยุกต์ AI และวิทยาการคำนวณในงานจริง เช่น การพัฒนานวัตกรรมหรือการแก้ปัญหาเฉพาะด้านในองค์กร 2. สามารถทำงานวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ ๆ เพื่อตอบสนองความต้องการขององค์กร และสามารถแก้ไขปัญหาที่ซับซ้อนในสถานการณ์จริง 3. นำเสนอแนวคิดและผลงานวิจัยที่สนับสนุนการพัฒนาธุรกิจหรือบริการขององค์กรได้อย่างชัดเจน	PLO1: สร้างนวัตกรรมใหม่ในองค์กรหรือการวิจัยเพื่อพัฒนาองค์ความรู้ใหม่ที่เชื่อมโยงความรู้จากหลากหลายศาสตร์ ในงานวิจัยปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณได้ (K6) PLO2: ถ่ายทอดผลงานทางวิชาการ นวัตกรรมด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ ได้อย่างเชี่ยวชาญและสามารถเผยแพร่ผลงานทางวิชาการให้เป็นที่ยอมรับใน

ที่	ผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (Stakeholders)	ความต้องการ (Needs/Requirements)	สรุปความต้องการ (Sum up Needs/Requirement)	ผลลัพธ์การเรียนรู้ที่ตอบสนองต่อความต้องการ (PLO)
				ระดับสากล (S5)
3	นักศึกษาในอนาคต	- สนใจเรียนในหลักสูตรที่สามารถช่วยพัฒนาความรู้เพื่อสร้างความแตกต่างในการทำงานหรือการวิจัย - ต้องการฝึกทักษะการนำเสนอผลงานในที่ประชุมระดับนานาชาติ	1. ต้องการโอกาสในการเรียนรู้และพัฒนาทักษะการวิจัยเพื่อแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนในหลากหลายบริบท 2. ต้องการการสนับสนุนด้านทักษะการสื่อสารผลงานวิจัยในรูปแบบที่หลากหลายเพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการนำเสนอในระดับสากล	PLO1: สร้างนวัตกรรมใหม่ในองค์กรหรือการวิจัยเพื่อพัฒนาองค์ความรู้ใหม่ที่เชื่อมโยงความรู้จากหลากหลายศาสตร์ ในงานวิจัยปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณได้ (K6) PLO2: ถ่ายทอดผลงานทางวิชาการ นวัตกรรมด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ ได้อย่างเชี่ยวชาญและสามารถเผยแพร่ผลงานทางวิชาการให้เป็นที่ยอมรับในระดับสากล (S3)
4	คณะ/มหาวิทยาลัย	- ผู้นำในการผลิตและพัฒนานวัตกรทางการศึกษา เพื่อเท่าทัน การเปลี่ยนแปลงและตอบสนอง การพัฒนาท้องถิ่นสู่สากลอย่าง ยั่งยืน	1. ต้องการให้หลักสูตรผลิตบัณฑิตที่มีความรู้ที่เป็นเลิศใน AI และวิทยาการคำนวณ เพื่อตอบโจทย์ความต้องการของตลาดแรงงานและการพัฒนาสังคม 2. ต้องการให้บัณฑิตมีความสามารถในการวิจัยเชิงบูรณาการและสร้างองค์ความรู้ใหม่ที่มีผลกระทบเชิงบวกต่อสังคมและเศรษฐกิจ 3. ต้องการให้บัณฑิตสามารถสร้างชื่อเสียงให้มหาวิทยาลัยผ่านการเผยแพร่ผลงานวิชาการระดับนานาชาติ	PLO1: สร้างนวัตกรรมใหม่ในองค์กรหรือการวิจัยเพื่อพัฒนาองค์ความรู้ใหม่ที่เชื่อมโยงความรู้จากหลากหลายศาสตร์ ในงานวิจัยปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณได้ (K6) PLO2: ถ่ายทอดผลงานทางวิชาการ นวัตกรรมด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ ได้อย่างเชี่ยวชาญและสามารถเผยแพร่ผลงานทางวิชาการให้เป็นที่ยอมรับในระดับสากล (S3)

แผน 2.1

ที่	ผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (Stakeholders)	ความต้องการ (Needs/Requirements)	สรุปความต้องการ (Sum up Needs/Requirement)	ผลลัพธ์การเรียนรู้ที่ตอบสนองต่อความต้องการ (PLO)
1	อาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร อาจารย์ประจำหลักสูตร อาจารย์ผู้สอน	- ต้องการบัณฑิตที่สามารถนำความรู้ไปใช้พัฒนานวัตกรรมและการวิจัยในหลากหลายศาสตร์ - เน้นความสำคัญของการบูรณาการความรู้เพื่อสร้างงานวิจัยที่มีผลกระทบต่อวิชาการและสังคม - เน้นความสำคัญของการสื่อสารที่ชัดเจนและมีประสิทธิภาพในวงการวิชาการ - เห็นความสำคัญของการปลูกฝังคุณธรรมและจริยธรรมในงานวิจัยเพื่อป้องกันผลกระทบที่ไม่พึงประสงค์	1. มีพื้นฐานความรู้ที่แข็งแกร่งและรอบด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ และสามารถประยุกต์ใช้ความรู้ได้อย่างหลากหลายเพื่อสร้างนวัตกรรมและความรู้ใหม่ 2. มีทักษะการบูรณาการความรู้จากหลายสาขา พร้อมความสามารถในการวิจัยที่สามารถแก้ปัญหาที่ซับซ้อนได้ 3. มีความสามารถในการนำเสนอผลงานวิจัยในเวทีวิชาการระดับนานาชาติ และสื่อสารได้อย่างมีประสิทธิภาพ 4. แสดงออกถึงคุณธรรมและจริยธรรมในงานวิจัย รวมถึงสามารถเป็นแบบอย่างให้แก่สังคมวิชาการ	PLO1: พัฒนานวัตกรรมใหม่ในองค์กรหรือการวิจัยเพื่อพัฒนาองค์ความรู้ใหม่ผ่านการบูรณาการศาสตร์หลากหลายกับทฤษฎีและเครื่องมือที่มีอยู่แล้วเพื่อตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสังคมและท้องถิ่น (K6) PLO2: ถ่ายทอดผลงานทางวิชาการ นวัตกรรมด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ ได้อย่างเชี่ยวชาญและสามารถเผยแพร่ผลงานทางวิชาการให้เป็นที่ยอมรับในระดับสากล กำหนด (S3) PLO3: แสดงออกถึงภาวะผู้นำด้านคุณธรรม จริยธรรม และจรรยาบรรณของนักวิจัยด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ (A5)
2	กลุ่มผู้ใช้บัณฑิต	- ต้องการบัณฑิตที่สามารถสร้างโซลูชันที่ตอบโจทย์การใช้งานจริงในองค์กร - ต้องการบัณฑิตที่แก้ปัญหาซับซ้อนและพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ได้ - ชื่นชมบัณฑิตที่สามารถนำเสนอผลงานที่ช่วยพัฒนากระบวนการในองค์กร	1. มีความสามารถในการประยุกต์ AI และวิทยาการคำนวณในงานจริง เช่น การพัฒนานวัตกรรมหรือการแก้ปัญหาเฉพาะด้านในองค์กร 2. สามารถทำงานวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ ๆ เพื่อตอบสนองความต้องการขององค์กร และสามารถแก้ไขปัญหาที่ซับซ้อนในสถานการณ์จริง 3. นำเสนอแนวคิดและผลงานวิจัยที่สนับสนุนการพัฒนาธุรกิจหรือบริการขององค์กรได้อย่างชัดเจน	PLO1: พัฒนานวัตกรรมใหม่ในองค์กรหรือการวิจัยเพื่อพัฒนาองค์ความรู้ใหม่ผ่านการบูรณาการศาสตร์หลากหลายกับทฤษฎีและเครื่องมือที่มีอยู่แล้วเพื่อตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสังคมและท้องถิ่น (K6) PLO2: ถ่ายทอดผลงานทางวิชาการ นวัตกรรมด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณได้อย่างเชี่ยวชาญและสามารถตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารวิชาการระดับชาติหรือนานาชาติ (S3)
3	นักศึกษาในอนาคต	- สนใจเรียนในหลักสูตรที่	1. ต้องการโอกาสในการ	PLO1: พัฒนานวัตกรรม

ที่	ผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (Stakeholders)	ความต้องการ (Needs/Requirements)	สรุปความต้องการ (Sum up Needs/Requirement)	ผลลัพธ์การเรียนรู้ที่ตอบสนองต่อความต้องการ (PLO)
		สามารถช่วยพัฒนาความรู้เพื่อสร้างความแตกต่างในการทำงานหรือการวิจัย - ต้องการพัฒนาทักษะด้านการวิจัยและความสามารถในการประยุกต์ความรู้ข้ามสาขา - ต้องการฝึกทักษะการนำเสนอผลงานในที่ประชุมวิชาการ	เรียนรู้และพัฒนาทักษะการวิจัยและการบูรณาการความรู้เพื่อแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนในหลากหลายบริบท 2. ต้องการการสนับสนุนด้านทักษะการสื่อสารผลงานวิจัยในรูปแบบที่หลากหลายเพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการนำเสนอในระดับชาติหรือนานาชาติ	ใหม่ในองค์กร หรือการวิจัยเพื่อพัฒนาองค์ความรู้ใหม่ผ่านการบูรณาการศาสตร์หลากหลายกับทฤษฎีและเครื่องมือที่มีอยู่แล้วเพื่อตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสังคมและท้องถิ่น (K6) PLO2: ถ่ายทอดผลงานทางวิชาการ นวัตกรรมด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ ได้อย่างเชี่ยวชาญและสามารถเผยแพร่ผลงานทางวิชาการให้เป็นที่ยอมรับในระดับสากล (S3)
4	คณะ/มหาวิทยาลัย	- เป็นสถาบันแห่งการบูรณาการองค์ความรู้ สร้างนวัตกรรมถ่ายทอดเทคโนโลยี เพื่อการพัฒนาท้องถิ่นอย่างยั่งยืน - ผู้นำในการผลิตและพัฒนานวัตกรทางการศึกษา เพื่อเท่าทันการเปลี่ยนแปลงและตอบสนองการพัฒนาท้องถิ่นสู่สากลอย่างยั่งยืน	1. ต้องการให้หลักสูตรผลิตบัณฑิตที่มีความรู้ที่เป็นเลิศใน AI และวิทยาการคำนวณ เพื่อตอบโจทย์ความต้องการของตลาดแรงงานและการพัฒนาสังคม 2. ต้องการให้บัณฑิตมีความสามารถในการวิจัยเชิงบูรณาการและสร้างองค์ความรู้ใหม่ที่มีผลกระทบเชิงบวกต่อสังคมและเศรษฐกิจ 3. ต้องการให้บัณฑิตสามารถสร้างชื่อเสียงให้มหาวิทยาลัยผ่านการเผยแพร่ผลงานวิชาการระดับนานาชาติ	PLO1: พัฒนานวัตกรรมใหม่ในองค์กรหรือการวิจัยเพื่อพัฒนาองค์ความรู้ใหม่ผ่านการบูรณาการศาสตร์หลากหลายกับทฤษฎีและเครื่องมือที่มีอยู่แล้วเพื่อตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสังคมและท้องถิ่น (K6) PLO2: ถ่ายทอดผลงานทางวิชาการ นวัตกรรมด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณได้อย่างเชี่ยวชาญและสามารถเผยแพร่ผลงานทางวิชาการให้เป็นที่ยอมรับในระดับสากล (S3)

11. สถานที่จัดการเรียนการสอน

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

.

หมวดที่ 2
คุณสมบัติของผู้เข้าศึกษา

1. คุณสมบัติของผู้เข้าศึกษา

หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย เป็นหลักสูตรระดับปริญญาเอก แบบวิชาการที่มุ่งเน้นการผลิตผู้สำเร็จการศึกษาให้เป็นผู้มีคุณลักษณะของการเป็นนวัตกรทางด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ และเพื่อให้บรรลุเป้าหมายดังกล่าว หลักสูตรได้มีการดำเนินการดังนี้

การวางแผน โดยกำหนดวิธีการได้มาซึ่งข้อมูลคุณลักษณะที่พึงประสงค์ของบัณฑิต

1. ดำเนินการรวบรวมข้อมูลความต้องการของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (Stakeholders Needs Assessment) เกี่ยวกับคุณลักษณะที่พึงประสงค์ของผู้สำเร็จการศึกษา วิเคราะห์และจัดการข้อมูลและกำหนดเป็นคุณลักษณ์ที่พึงประสงค์ซึ่งจะเป็นปัจจัยที่นำไปสะท้อนในการกำหนดคุณสมบัติของปัจจัยนำเข้า (ผู้เรียน) ให้มีความสอดคล้องกัน

2. การดำเนินการ วิเคราะห์และกำหนดเป็นคุณสมบัติผู้เข้าเรียน

3. การตรวจสอบ ทวนสอบและปรับปรุงข้อมูลที่กำหนดโดยการสอบถามผู้เกี่ยวข้อง

ทั้งนี้ ทักษะที่พึงประสงค์ทั้ง 4 ด้านของหลักสูตรถือเป็นส่วนที่เป็นผลลัพธ์ (Outcomes) ของหลักสูตร ดังนั้น ในส่วนของปัจจัยนำเข้า (Input) ซึ่งได้แก่ผู้เรียน จึงเป็นองค์ประกอบสำคัญเบื้องต้นในการบริหารและจัดการหลักสูตร (Process) และกระบวนการจัดการเรียนการสอน ซึ่งกระบวนการกำหนดปัจจัยนำเข้าซึ่งได้แก่ผู้ที่จะเข้าศึกษาที่มีความเหมาะสมกับการศึกษาในหลักสูตรนี้ถูกกำหนดเป็นขั้นตอน ดังนี้

1.ขั้นการกำหนดคุณสมบัติ โดยคุณสมบัติผู้ที่จะเข้าศึกษาในหลักสูตร ต้องมีลักษณะคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1.1 คุณสมบัติทั่วไป

- แผน 1.1 เป็นแผนการศึกษาที่เน้นการวิจัยโดยมีการทำดุษฎีนิพนธ์ที่ก่อให้เกิดความก้าวหน้าทางวิชาการและวิชาชีพ ผู้เข้าศึกษาที่สำเร็จปริญญา**โท** ในสาขาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ คอมพิวเตอร์ ฯลฯ ที่มีความเกี่ยวข้อง โดยให้เป็นไปตามดุลยพินิจของกรรมการผู้รับผิดชอบหลักสูตร
- แผน 2.1 เป็นแผนการศึกษาที่เน้นการวิจัยโดยการทำดุษฎีนิพนธ์ที่ก่อให้เกิดความก้าวหน้าทางวิชาการและวิชาชีพและศึกษารายวิชาเพิ่มเติม ผู้เข้าศึกษาที่สำเร็จปริญญา**โท** ในสาขาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ คอมพิวเตอร์ ฯลฯ ที่มีความเกี่ยวข้อง โดยให้เป็นไปตามดุลยพินิจของกรรมการผู้รับผิดชอบหลักสูตร

1.2 คุณสมบัติอื่นตามประกาศของมหาวิทยาลัย ดังนี้

ก. ผลการทดสอบวัดความรู้ภาษาอังกฤษผ่านเกณฑ์ที่บัณฑิตวิทยาลัยกำหนด

ข. คุณสมบัติทั่วไปเป็นไปตามประกาศมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายเรื่องการรับสมัครเข้าศึกษาต่อในระดับบัณฑิตศึกษา

ค. คุณสมบัติอื่นนอกเหนือจากนี้ให้อยู่ในดุลยพินิจของคณะกรรมการบริหารหลักสูตร

2. ขั้นการพิจารณารับเข้าศึกษาในหลักสูตร มีดังนี้

2.1 พิจารณาจากหลักฐานการสมัครสอบ

2.2 การสอบสัมภาษณ์โดยคณะกรรมการบริหารหลักสูตร

2.3 อื่น ๆ ให้เป็นไปตามประกาศรับสมัครนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา ของมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

3. ขั้นการประเมินปัญหาแรกเข้าของนักศึกษารับเข้าศึกษา มีดังนี้

ที่	ปัญหาของนักศึกษาแรกเข้า	กลยุทธ์ในการดำเนินการแก้ปัญหา	หลักฐานและตัวบ่งชี้
1	การปรับตัวในการเรียนรู้ระดับ บัณฑิตศึกษา และวิธีการเรียนรู้	จัดปฐมนิเทศนักศึกษาเพื่อสร้าง ความเข้าใจและเตรียมความ พร้อมของนักศึกษา ในการเรียนหลักสูตร	โครงการปฐมนิเทศนักศึกษา โดยนักศึกษาที่เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรนี้ต้องผ่านการปฐมนิเทศ
2	ทักษะด้านภาษาอังกฤษที่ไม่ถึงเกณฑ์ที่มหาวิทยาลัยกำหนด	จัดอบรมภาษาอังกฤษให้กับผู้ที่สมัครเรียนในหลักสูตร แต่ยังมีผลคะแนนภาษาอังกฤษที่ไม่ผ่านเกณฑ์การรับเข้า	โครงการอบรมภาษาอังกฤษให้กับผู้ที่สมัครเรียนในหลักสูตร แต่ยังมีผลคะแนนภาษาอังกฤษที่ไม่ผ่านเกณฑ์การรับเข้า
3	ความรู้พื้นฐานในสาขาปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ	มีกิจกรรมปรับความรู้พื้นฐานในสาขาปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ ก่อนเริ่มเข้าเรียน	โครงการกิจกรรมปรับความรู้พื้นฐานในสาขาปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ

2. แผนการรับนักศึกษาและผู้สำเร็จการศึกษาในระยะ 5 ปี

ระดับชั้นปี	จำนวนนักศึกษาแต่ละปีการศึกษา (คน)										รวม
	2568		2569		2570		2571		2572		
แผน	1.1	2.1	1.1	2.1	1.1	2.1	1.1	2.1	1.1	2.1	
ชั้นปีที่ 1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	50
ชั้นปีที่ 2	-	-	5	5	5	5	5	5	5	5	40
ชั้นปีที่ 3	-	-	-	-	5	5	5	5	5	5	30
รวม	5	5	10	10	15	15	15	15	15	15	120
คาดว่าจะสำเร็จการศึกษา	-	-	-	-	5	5	5	5	5	5	30

3. งบประมาณตามแผน

3.1 งบประมาณรายรับจากเงินค่าลงทะเบียนของนักศึกษา (หน่วย : บาท)

รายละเอียดรายรับ	ปีงบประมาณ									
	2568		2569		2570		2571		2572	
แผน	1.1	2.1	1.1	2.1	1.1	2.1	1.1	2.1	1.1	2.1
ค่าธรรมเนียมการศึกษา*	150,000	150,000	300,000	300,000	525,000	525,000	525,000	525,000	525,000	525,000
รวมรายรับ	150,000	150,000	300,000	300,000	525,000	525,000	525,000	525,000	525,000	525,000

***หมายเหตุ :**

- แผน 1.1 ค่าลงทะเบียน 35,000 บาท/คน/ภาคเรียน (จำนวน 6 ภาคเรียน) ตลอดหลักสูตร 210,000 บาท/คน
- แผน 2.1 ค่าลงทะเบียน 35,000 บาท/คน/ภาคเรียน (จำนวน 6 ภาคเรียน) ตลอดหลักสูตร 210,000 บาท/คน

3.2 งบประมาณรายจ่าย (หน่วย : บาท)

รายการ*	ร้อยละ	ปีงบประมาณ									
		2568		2569		2570		2571		2572	
		1.1	2.1	1.1	2.1	1.1	2.1	1.1	2.1	1.1	2.1
1. ค่าตอบแทนการสอน	62	93,000	93,000	186,000	186,000	325,500	325,500	325,500	325,500	325,500	325,500
2. ค่าใช้สอยวัสดุ	1	1,500	1,500	3,000	3,000	5,250	5,250	5,250	5,250	5,250	5,250
3. ค่าสาธารณูปโภค	21	31,500	31,500	63,000	63,000	110,250	110,250	110,250	110,250	110,250	110,250
4. รายจ่ายอื่นๆ	16	24,000	24,000	48,000	48,000	84,000	84,000	84,000	84,000	84,000	84,000
รวมทั้งสิ้น	**100**	**150,000**	**150,000**	**300,000**	**300,000**	**525,000**	**525,000**	**525,000**	**525,000**	**525,000**	**525,000**

*หมายเหตุ : งบประมาณค่าใช้จ่ายในการผลิตบัณฑิตตลอดหลักสูตร จำนวน 70,000 บาท/คน/ปี (รวมทั้งแผน 1.1 และ 2.1)

หมวดที่ 3
ปรัชญา วัตถุประสงค์ และผลลัพธ์การเรียนรู้

หลักสูตรได้แยกปรัชญา วัตถุประสงค์ และผลลัพธ์การเรียนรู้ ของแผนการเรียนรู้ทั้ง 2 แผนไว้ ดังนี้

1. แผน 1.1 ทำดุษฎีนิพนธ์

1.1 ปรัชญาของหลักสูตร

มุ่งผลิตดุษฎีบัณฑิตผู้เชี่ยวชาญด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ ที่บูรณาการความรู้ข้ามศาสตร์เพื่อสร้างนวัตกรรมหรือองค์ความรู้ใหม่ อันสามารถเผยแพร่ในระดับมาตรฐานสากล และมีจริยธรรมพร้อมความรับผิดชอบต่อสังคม

1.2 วัตถุประสงค์ของหลักสูตร

หลักสูตรหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณมีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตบัณฑิตด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่มีคุณลักษณะดังต่อไปนี้

1.2.1 มีความรู้เชิงลึกเฉพาะด้านในสาขาปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ สามารถสร้างองค์ความรู้ใหม่ที่มีคุณค่าเชิงทฤษฎีและนวัตกรรม

1.2.2 บูรณาการองค์ความรู้จากหลากหลายศาสตร์ และนำความรู้นั้นไปใช้ในการแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อน รวมถึงการพัฒนานวัตกรรมในองค์กรที่มีผลกระทบเชิงบวกต่อวิชาการ อุตสาหกรรม และสังคมได้

1.2.3 นำเสนอและเผยแพร่ผลงานวิจัยในรูปแบบต่าง ๆ ได้อย่างเหมาะสม ได้แก่การเผยแพร่ผลงานทางวิชาการให้เป็นที่ยอมรับในระดับสากล ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.2.4 เป็นผู้นำทางวิชาการที่สามารถปฏิบัติตามจรรยาบรรณวิจัยทางปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณได้อย่างเคร่งครัด พร้อมทั้งส่งเสริมคุณธรรมและจริยธรรมในสังคมวิชาการ และสร้างแรงบันดาลใจให้ผู้อื่นในการดำเนินงานอย่างมีความรับผิดชอบต่อสังคม ทั้งนี้ จริยธรรมด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ คือแนวทางปฏิบัติที่เน้นการใช้เทคโนโลยีอย่างรับผิดชอบ โดยจริยธรรมด้าน AI มุ่งเน้นให้การพัฒนาและใช้งาน AI เป็นไปอย่างเป็นธรรม โปร่งใส ปลอดภัย เคารพความเป็นส่วนตัว และมีความรับผิดชอบต่อผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น ส่วนจริยธรรมด้านวิทยาการคำนวณ คือการใช้ความรู้และเครื่องมือทางคอมพิวเตอร์อย่างถูกต้อง ไม่ละเมิดสิทธิ์ของผู้อื่น ไม่ทำอันตรายหรือสร้างความเสียหายต่อสังคม และนำไปใช้เพื่อสร้างประโยชน์อย่างสร้างสรรค์และยั่งยืน

1.3 ผลลัพธ์การเรียนรู้ที่คาดหวังของหลักสูตร (Program Learning Outcomes: PLOs)

1.3.1 กระบวนการกำหนดผลลัพธ์การเรียนรู้

ในขั้นของการกำหนดผลลัพธ์กรเรียนรู้ของหลักสูตร ได้มีการดำเนินการเป็นขั้นตอนและกระบวนการที่เป็นระบบดังต่อไปนี้

1.3.1.1 การกำหนดกลุ่มผู้มีส่วนได้ส่วนเสียของหลักสูตร ประกอบด้วย

1. อาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร อาจารย์ประจำหลักสูตร อาจารย์ผู้สอน
2. กลุ่มผู้ใช้บัณฑิต
3. นักศึกษาในอนาคต
4. คณะ/มหาวิทยาลัย

1.3.1.2 กระบวนการและวิธีการรวบรวมข้อมูล

1. การสอบถาม

2. การสัมภาษณ์
3. การประชุมกลุ่มย่อย
4. การศึกษาและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

1.3.1.3 การจัดการข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล

ความต้องการของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียเพื่อสรุปและกำหนดเป็นผลลัพธ์การเรียนรู้ของหลักสูตร

ที่	ผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (Stakeholders)	ความต้องการ (Needs/Requirements)	สรุปความต้องการ (Sum up Needs/Requirement)	ผลลัพธ์การเรียนรู้ที่ตอบสนองต่อความต้องการ (PLO)
1	อาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร อาจารย์ประจำหลักสูตร อาจารย์ผู้สอน	- เน้นความสำคัญของการบูรณาการความรู้เพื่อสร้างงานวิจัยที่มีผลกระทบต่อวิชาการและสังคม - เน้นความสำคัญของการสื่อสารที่ชัดเจนและมีประสิทธิภาพในวงการวิชาการ - เห็นความสำคัญของการปลูกฝังคุณธรรมและจริยธรรมในงานวิจัยเพื่อป้องกันผลกระทบที่ไม่พึงประสงค์ - สามารถพัฒนาองค์ความรู้ใหม่ที่มีความลึกซึ้งและมีนัยสำคัญทางวิชาการ ผ่านกระบวนการวิจัยที่เข้มข้นในสาขาปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ - สามารถเผยแพร่ผลงานวิจัยในวารสารวิชาการระดับนานาชาติที่มีคุณภาพ โดยผ่านกระบวนการตรวจสอบทางวิชาการ (Peer Review)	1. มีความสามารถในการนำเสนอผลงานวิจัยในเวทีวิชาการระดับนานาชาติและสื่อสารได้อย่างมีประสิทธิภาพ 2. แสดงออกถึงคุณธรรมและจริยธรรมในงานวิจัย รวมถึงสามารถเป็นแบบอย่างให้แก่สังคมวิชาการ 3. สามารถพัฒนาองค์ความรู้ใหม่ที่มีความลึกซึ้งในสาขาปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณผ่านกระบวนการวิจัยขั้นสูงที่สามารถเผยแพร่ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ	PLO1:สร้างนวัตกรรมใหม่ในองค์กร หรือการวิจัยเพื่อพัฒนาองค์ความรู้ใหม่ที่เชื่อมโยงความรู้จากหลากหลายศาสตร์ ในงานวิจัยปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณได้ (K6) PLO2: ถ่ายทอดผลงานทางวิชาการ นวัตกรรมด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณได้อย่างเชี่ยวชาญและสามารถเผยแพร่ผลงานทางวิชาการให้เป็นที่ยอมรับในระดับสากล (S3) PLO3: แสดงออกถึงภาวะผู้นำด้านคุณธรรม จริยธรรม และจรรยาบรรณของนักวิจัยด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ (A5)
2	กลุ่มผู้ใช้บัณฑิต	- ต้องการบัณฑิตที่สามารถสร้างโซลูชันที่ตอบโจทย์การใช้งานจริงในองค์กร	1. มีความสามารถในการประยุกต์ AI และวิทยาการคำนวณในงาน	PLO1:สร้างนวัตกรรมใหม่ในองค์กร หรือการวิจัยเพื่อพัฒนาองค์

ที่	ผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (Stakeholders)	ความต้องการ (Needs/Requirements)	สรุปความต้องการ (Sum up Needs/Requirement)	ผลลัพธ์การเรียนรู้ที่ตอบสนองต่อความต้องการ (PLO)
		- ต้องการบัณฑิตที่แก้ปัญหาซับซ้อนและพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ได้ - ชื่นชมบัณฑิตที่สามารถนำเสนอผลงานที่ช่วยพัฒนากระบวนการในองค์กร	จริง เช่น การพัฒนานวัตกรรมหรือการแก้ปัญหาเฉพาะด้านในองค์กร 2. สามารถทำงานวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ ๆ เพื่อตอบสนองความต้องการขององค์กร และสามารถแก้ไขปัญหาที่ซับซ้อนในสถานการณ์จริง 3. นำเสนอแนวคิดและผลงานวิจัยที่สนับสนุนการพัฒนาธุรกิจหรือบริการขององค์กรได้อย่างชัดเจน	ความรู้ใหม่ที่เชื่อมโยงความรู้จากหลากหลายศาสตร์ ในงานวิจัยปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณได้ (K6) PLO2: ถ่ายทอดผลงานทางวิชาการ นวัตกรรมด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณได้อย่างเชี่ยวชาญและสามารถเผยแพร่ผลงานทางวิชาการให้เป็นที่ยอมรับในระดับสากล (S3)
3	นักศึกษาในอนาคต	- สนใจเรียนในหลักสูตรที่สามารถช่วยพัฒนาความรู้เพื่อสร้างความแตกต่างในการทำงานหรือการวิจัย - ต้องการฝึกทักษะการนำเสนอผลงานในที่ประชุมระดับนานาชาติ	1. ต้องการโอกาสในการเรียนรู้และพัฒนาทักษะการวิจัยเพื่อแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนในหลากหลายบริบท 2. ต้องการการสนับสนุนด้านทักษะการสื่อสารผลงานวิจัยในรูปแบบที่หลากหลายเพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการนำเสนอในระดับสากล	PLO1:สร้างนวัตกรรมใหม่ในองค์กร หรือการวิจัยเพื่อพัฒนาองค์ความรู้ใหม่ที่เชื่อมโยงความรู้จากหลากหลายศาสตร์ ในงานวิจัยปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณได้ (K6) PLO2: ถ่ายทอดผลงานทางวิชาการ นวัตกรรมด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณได้อย่างเชี่ยวชาญและสามารถเผยแพร่ผลงานทางวิชาการให้เป็นที่ยอมรับในระดับสากล (S3)

ที่	ผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (Stakeholders)	ความต้องการ (Needs/Requirements)	สรุปความต้องการ (Sum up Needs/Requirement)	ผลลัพธ์การเรียนรู้ที่ตอบสนองต่อความต้องการ (PLO)
4	คณะ/มหาวิทยาลัย	- ผู้นำในการผลิตและพัฒนานวัตกรทางการศึกษา เพื่อเท่าทัน การเปลี่ยนแปลงและตอบสนอง การพัฒนาท้องถิ่นสู่สากลอย่าง ยั่งยืน	1. ต้องการให้หลักสูตรผลิตบัณฑิตที่มีความรู้ที่เป็นเลิศใน AI และวิทยาการคำนวณ เพื่อตอบโจทย์ความต้องการของตลาดแรงงานและการพัฒนาสังคม 2. ต้องการให้บัณฑิตมีความสามารถในการวิจัยเชิงบูรณาการและสร้างองค์ความรู้ใหม่ที่มีผลกระทบเชิงบวกต่อสังคมและเศรษฐกิจ 3. ต้องการให้บัณฑิตสามารถสร้างชื่อเสียงให้มหาวิทยาลัยผ่านการเผยแพร่ผลงานวิชาการระดับนานาชาติ	PLO1:สร้างนวัตกรรมใหม่ในองค์กร หรือการวิจัยเพื่อพัฒนาองค์ความรู้ใหม่ที่เชื่อมโยงความรู้จากหลากหลายศาสตร์ ในงานวิจัยปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณได้ (K6) PLO2: ถ่ายทอดผลงานทางวิชาการ นวัตกรรมด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณได้อย่างเชี่ยวชาญและสามารถเผยแพร่ผลงานทางวิชาการให้เป็นที่ยอมรับในระดับสากล (S3)

2.3.2 ผลลัพธ์การเรียนรู้ (Program Learning Outcomes: PLOs) สำหรับแผน 1.1 แสดงดังนี้

PLO1: สร้างนวัตกรรมใหม่ในองค์กร หรือการวิจัยเพื่อพัฒนาองค์ความรู้ใหม่ที่เชื่อมโยงความรู้จากหลากหลายศาสตร์ ในงานวิจัยปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณได้ (K6)

PLO2: ถ่ายทอดผลงานทางวิชาการ นวัตกรรม ด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณได้อย่างเชี่ยวชาญและสามารถเผยแพร่ผลงานทางวิชาการให้เป็นที่ยอมรับในระดับสากล (S3)

PLO3: แสดงออกถึงภาวะผู้นำด้านคุณธรรม จริยธรรม และจรรยาบรรณของนักวิจัยด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ (A5)

1.4 ความคาดหวังของผลลัพธ์การเรียนรู้เมื่อสิ้นปีการศึกษา (Year Learning Outcomes: YLOs)

1.4.1 กระบวนการกำหนดความคาดหวังของผลลัพธ์การเรียนรู้เมื่อสิ้นปีการศึกษา มีดังนี้

1. การวิเคราะห์ปรัชญาและวัตถุประสงค์ของหลักสูตร
2. การวิเคราะห์ผลลัพธ์การเรียนรู้ของหลักสูตร
3. การวิเคราะห์ลำดับขั้นของการเรียนรู้ตามแนวคิดพัฒนาการเรียนรู้ของบลูม (Blomm's Taxonomy)
4. การวิเคราะห์ผลลัพธ์การเรียนรู้ตามประกาศคณะกรรมการมาตรฐานการอุดมศึกษาเรื่องรายละเอียดผลลัพธ์การเรียนรู้ตามมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษา พุทธศักราช 2565

1.4.2 ตารางแสดงผลลัพธ์การเรียนรู้เมื่อสิ้นปีการศึกษา

ที่	PLOs	ชั้นปีที่		
		1 (YLO1)	2 (YLO2)	3 (YLO3)
1	PLO1: สร้างนวัตกรรมใหม่ในองค์กร หรือการวิจัยเพื่อพัฒนาองค์ความรู้ใหม่ที่เชื่อมโยงความรู้จากหลากหลายศาสตร์ ในงานวิจัยปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณได้ (K6)	สังเคราะห์องค์ความรู้จากแหล่งข้อมูลวิชาการที่หลากหลายเพื่อเข้าใจแนวคิดหลักและแนวโน้มของเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณในบริบทต่าง ๆ ที่เพื่อกำหนดหัวข้อวิจัย	วิเคราะห์และกำหนดปัญหาวิจัยที่มีความสำคัญและยังไม่มีคำตอบในศาสตร์ปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ พัฒนาโครงร่างดุษฎีนิพนธ์ที่มีกระบวนการทางวิชาการที่ชัดเจนและสามารถตรวจสอบได้	สร้างงานนวัตกรรมใหม่ในองค์กร หรือการวิจัยเพื่อพัฒนาองค์ความรู้ใหม่ ผ่านการบวนการวิจัยที่ถูกต้อง
2	PLO2: ถ่ายทอดผลงานทางวิชาการ นวัตกรรม ด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณได้อย่างเชี่ยวชาญและสามารถเผยแพร่ผลงานทางวิชาการให้เป็นที่ยอมรับในระดับสากล (S3)	นำเสนองานวิจัยหรือนวัตกรรมทางปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณในรูปแบบสัมมนาทางวิชาการได้อย่างสมบูรณ์	ถ่ายทอดแนวคิดและกรอบแนวคิดของงานงานวิจัย กระบวนการวิจัย ผ่านการนำเสนอโครงร่างดุษฎีนิพนธ์ได้อย่างสมบูรณ์	จัดทำวิทยานิพนธ์ที่มีมาตรฐานและโครงสร้างที่สมบูรณ์ แผยแพร่ผลงานวิจัยในวารสารระดับนานาชาติ นำเสนอผลการวิจัยในเชิงวิชาการ
3	PLO3: แสดงออกถึงภาวะผู้นำด้านคุณธรรม จริยธรรม และจรรยาบรรณของนักวิจัยด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ (A5)	แสดงให้เห็นถึงวิสัยทางวิชาการที่ใช้ในการแสวงหาข้อมูลจากแหล่งที่ถูกต้องและน่าเชื่อถือทางวิชาการและมีวิสัยการอ้างอิงงานวิชาการ	เป็นแบบอย่างในความรับผิดชอบทางวิชาการและส่งเสริมการพัฒนาจริยธรรมการวิจัยในวงการวิชาการ	ยึดมั่นในแนวทางปฏิบัติที่เน้นการใช้เทคโนโลยีอย่างรับผิดชอบ โปร่งใส ปลอดภัย เคารพความเป็นส่วนตัว

1.4.3 ตารางแสดงการเชื่อมโยงผลลัพธ์การเรียนรู้ของหลักสูตร (PLOs) กับความคาดหวังของผลลัพธ์การเรียนรู้เมื่อสิ้นปีการศึกษา (YLOs)

YLOs	PLO1	PLO2	PLO3
YLO1: สังเคราะห์ความรู้จากแหล่งวิชาการที่น่าเชื่อถือ เพื่อเข้าใจแนวคิดและแนวโน้มของปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ กำหนดหัวข้อวิจัย และนำเสนองานวิจัยหรือนวัตกรรมในรูปแบบสัมมนาอย่างครบถ้วน พร้อมแสดงวิสัยทัศน์ทางวิชาการและการอ้างอิงอย่างถูกต้อง	✓	✓	✓
YLO2: วิเคราะห์และกำหนดปัญหาวิจัยที่สำคัญและยังไม่มีคำตอบในสาขาปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ พัฒนาโครงร่างวิทยานิพนธ์ที่มีกระบวนการวิชาการที่ชัดเจน ตรวจสอบได้ พร้อมถ่ายทอดแนวคิด กรอบแนวคิด และกระบวนการวิจัยผ่านการนำเสนอโครงร่างดุษฎีนิพนธ์อย่างสมบูรณ์ โดยเป็นแบบอย่างของความรับผิดชอบทางวิชาการ และส่งเสริมจริยธรรมการวิจัยในวงวิชาการ	✓	✓	✓
YLO3: สร้างนวัตกรรมหรือวิจัยเพื่อพัฒนาองค์ความรู้ใหม่ผ่านกระบวนการวิจัยที่ถูกต้อง จัดทำวิทยานิพนธ์ที่ได้มาตรฐาน มีโครงสร้างสมบูรณ์ เผยแพร่ผลงานในวารสารระดับนานาชาติ และนำเสนอผลการวิจัยต่อคณาจารย์ นักวิจัย และภาคอุตสาหกรรม โดยยึดมั่นการใช้เทคโนโลยีอย่างรับผิดชอบ พัฒนาและใช้งาน AI อย่างเป็นธรรม โปร่งใส ปลอดภัย เคารพความเป็นส่วนตัว และตระหนักถึงผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น"	✓	✓	✓

1.4.4 ตารางจำแนกความสัมพันธ์ระหว่างผลลัพธ์การเรียนรู้ที่คาดหวังกับองค์ประกอบการเรียนรู้ของ Bloom*

ที่	Bloom Taxonomy															
	Cognitive Domain (Knowledge)						Affective Domain (Attitude)					Psychomotor Domain (Skills)				
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	A1	A2	A3	A4	A5	S1	S2	S3	S4	S5
PLO1						✓										
PLO2														✓		
PLO3											✓					

1.4.5 ตารางอธิบายระดับผลลัพธ์การเรียนรู้แต่ละด้านของบลูม

Level	Cognitive Domain: K	Affective Domain: A	Psycho-motor Domain: S
1	Remember	Receiving	Imitation
2	Understand	Responding	Manipulation
3	Apply	Valuing	Precision
4	Analyze	Organization	Articulation
5	Evaluate	Characterization	Naturalization
6	Create	-	-

1.4.6 ตารางแสดงความสัมพันธ์และการเชื่อมโยงระหว่างวัตถุประสงค์ของหลักสูตรและผลลัพธ์การเรียนรู้ที่คาดหวัง

ที่	วัตถุประสงค์ของหลักสูตร	ผลลัพธ์การเรียนรู้ของหลักสูตร (PLOs)		
		1	2	3
1	มีความรู้เชิงลึกเฉพาะด้านในสาขาปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ สามารถสร้างองค์ความรู้ใหม่ที่มีคุณค่าเชิงทฤษฎีและนวัตกรรม	✓		
2	บูรณาการองค์ความรู้จากหลากหลายศาสตร์ และนำความรู้นั้นไปใช้ในการแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อน รวมถึงการพัฒนานวัตกรรมในองค์กรที่มีผลกระทบเชิงบวกต่อวิชาการ อุตสาหกรรม และสังคมได้	✓		
3	นำเสนอและเผยแพร่ผลงานวิจัยในรูปแบบต่าง ๆ ได้อย่างเหมาะสม ได้แก่ การตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ การนำเสนอในที่ประชุมวิชาการในระดับนานาชาติได้อย่างมีประสิทธิภาพได้		✓	
4	เป็นผู้นำทางวิชาการและวิชาชีพที่สามารถปฏิบัติตามจรรยาบรรณวิจัยได้อย่างเคร่งครัด พร้อมทั้งส่งเสริมคุณธรรมและจริยธรรมในสังคมวิชาการ และสร้างแรงบันดาลใจให้ผู้อื่นในการดำเนินงานอย่างมีความรับผิดชอบต่อสังคม			✓

1.4.7 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างผลลัพธ์การเรียนรู้ที่คาดหวังของหลักสูตร (PLOs) และความต้องการของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (Stakeholders)

PLOs	Stakeholders			
PLOs	อาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร อาจารย์ประจำหลักสูตร อาจารย์ผู้สอน	กลุ่มผู้ใช้บัณฑิต	นักศึกษาในอนาคต	คณะ/มหาวิทยาลัย
1	✓	✓	✓	✓
2	✓	✓	✓	✓
3	✓			

1.4.8 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลลัพธ์การเรียนรู้ที่คาดหวังของหลักสูตร (PLOs) และรายละเอียดผลลัพธ์การเรียนรู้ตามมาตรฐานหลักสูตรระดับอุดมศึกษา พุทธศักราช 2565

PLOs	ผลลัพธ์การเรียนรู้ตามมาตรฐานหลักสูตรระดับอุดมศึกษา พุทธศักราช 2565			
	ความรู้ (Specific)	ทักษะ (Specific)	จริยธรรม (Generic)	ลักษณะบุคคล (Specific & Generic)
PLO1	✓			✓
PLO2		✓		✓
PLO3			✓	✓

2. แผน 2.1 ทำดุษฎีนิพนธ์และศึกษารายวิชา

2.1 ปรัชญาของหลักสูตร

มุ่งพัฒนาผู้เรียนให้มีความรู้และทักษะด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ สามารถวิจัยและสร้างนวัตกรรมใหม่จากการบูรณาการศาสตร์หลากหลาย เพื่อตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสังคมและท้องถิ่น ด้วยจริยธรรมและความรับผิดชอบต่อสังคม

2.2 วัตถุประสงค์ของหลักสูตร

หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณมีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตบัณฑิตด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่มีคุณลักษณะดังต่อไปนี้

2.2.1 มีความรู้รอบด้านในศาสตร์ของปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ นำไปใช้แก้ปัญหาและพัฒนานวัตกรรมที่ตอบสนองต่อองค์กรและสังคม

2.2.2 บูรณาการองค์ความรู้จากหลากหลายศาสตร์กับทฤษฎีและเครื่องมือที่มีอยู่แล้ว และนำความรู้นั้นไปใช้ในการแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อน รวมถึงการพัฒนานวัตกรรมที่มีผลกระทบเชิงบวกต่อวิชาการ อุตสาหกรรมและสังคมได้

2.2.3 นำเสนอและเผยแพร่ผลงานวิจัยในรูปแบบต่างๆ ได้อย่างเหมาะสม ได้แก่การตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ การนำเสนอในที่ประชุมวิชาการในระดับชาติหรือนานาชาติได้อย่างมีประสิทธิภาพได้

2.2.4 เป็นผู้นำทางวิชาการและวิชาชีพที่สามารถปฏิบัติตามจรรยาบรรณวิจัยได้อย่างเคร่งครัด พร้อมทั้งส่งเสริมคุณธรรมและจริยธรรมในสังคมวิชาการ และสร้างแรงบันดาลใจให้ผู้อื่นในการดำเนินงานอย่างมีความรับผิดชอบต่อสังคม ทั้งนี้ จริยธรรมด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ คือแนวทางปฏิบัติที่เน้นการใช้เทคโนโลยีอย่างรับผิดชอบ โดยจริยธรรมด้าน AI มุ่งเน้นให้การพัฒนาและใช้งาน AI เป็นไปอย่างเป็นธรรม โปร่งใส ปลอดภัย เคารพความเป็นส่วนตัว และมีความรับผิดชอบต่อผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น ส่วนจริยธรรมด้านวิทยาการคำนวณ คือการใช้ความรู้และเครื่องมือทางคอมพิวเตอร์อย่างถูกต้อง ไม่ละเมิดสิทธิ์ของผู้อื่น ไม่ทำอันตรายหรือสร้างความเสียหายต่อสังคม และนำไปใช้เพื่อสร้างประโยชน์อย่างสร้างสรรค์และยั่งยืน

2.3 ผลลัพธ์การเรียนรู้ที่คาดหวังของหลักสูตร (Program Learning Outcomes: PLOs)

2.3.1 กระบวนการกำหนดผลลัพธ์การเรียนรู้

ในขั้นของการกำหนดผลลัพธ์กรเรียนรู้ของหลักสูตร ได้มีการดำเนินการเป็นขั้นตอนและกระบวนการที่เป็นระบบดังต่อไปนี้

2.3.1.1 การกำหนดกลุ่มผู้มีส่วนได้ส่วนเสียของหลักสูตร ประกอบด้วย

1. อาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร อาจารย์ประจำหลักสูตร อาจารย์ผู้สอน
2. กลุ่มผู้ใช้บัณฑิต
3. นักศึกษาในอนาคต
4. คณะ/มหาวิทยาลัย

2.3.1.2 กระบวนการและวิธีการรวบรวมข้อมูล

1. การสอบถาม
2. การสัมภาษณ์
3. การประชุมกลุ่มย่อย
4. การศึกษาและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.3.1.3 การจัดการข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล

ความต้องการของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียเพื่อสรุปและกำหนดเป็นผลลัพธ์การเรียนรู้ของหลักสูตร แสดงดังนี้

ที่	ผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (Stakeholders)	ความต้องการ (Needs/Requirements)	สรุปความต้องการ (Sum up Needs/Requirement)	ผลลัพธ์การเรียนรู้ที่ตอบสนองต่อความต้องการ (PLO)
1	อาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร อาจารย์ประจำหลักสูตร อาจารย์ผู้สอน	- ต้องการบัณฑิตที่สามารถนำความรู้ไปใช้พัฒนานวัตกรรมและการวิจัยในหลากหลายศาสตร์ - เน้นความสำคัญของการบูรณาการความรู้เพื่อสร้างงานวิจัยที่มีผลกระทบต่อวิชาการและสังคม - เน้นความสำคัญของการสื่อสารที่ชัดเจนและมีประสิทธิภาพในวงการวิชาการ - เห็นความสำคัญของการปลูกฝังคุณธรรมและจริยธรรมในงานวิจัยเพื่อป้องกันผลกระทบที่ไม่พึงประสงค์	1. มีพื้นฐานความรู้ที่แข็งแกร่งและรอบด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ และสามารถประยุกต์ใช้ความรู้ได้อย่างหลากหลายเพื่อสร้างนวัตกรรมและความรู้ใหม่ 2. มีทักษะการบูรณาการความรู้จากหลายสาขาพร้อมความสามารถในการวิจัยที่สามารถแก้ปัญหาที่ซับซ้อนได้ 3. มีความสามารถในการนำเสนอผลงานวิจัยในเวทีวิชาการระดับนานาชาติและสื่อสารได้อย่างมีประสิทธิภาพ 4. แสดงออกถึงคุณธรรมและจริยธรรมในงานวิจัย รวมถึงสามารถเป็นแบบอย่างให้แก่สังคมวิชาการ	PLO1: พัฒนานวัตกรรมใหม่ในองค์กรหรือการวิจัยเพื่อพัฒนาองค์ความรู้ใหม่ผ่านการบูรณาการศาสตร์หลากหลายกับทฤษฎีและเครื่องมือที่มีอยู่แล้วเพื่อตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสังคมและท้องถิ่น (K6) PLO2: ถ่ายทอดผลงานทางวิชาการ นวัตกรรมด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณได้อย่างเชี่ยวชาญและสามารถเผยแพร่ผลงานทางวิชาการให้เป็นที่ยอมรับในระดับสากล (S3) PLO3: แสดงออกถึงภาวะผู้นำด้านคุณธรรม จริยธรรม และจรรยาบรรณของนักวิจัยด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ (A5)

ที่	ผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (Stakeholders)	ความต้องการ (Needs/Requirements)	สรุปความต้องการ (Sum up Needs/Requirement)	ผลลัพธ์การเรียนรู้ที่ตอบสนองต่อความต้องการ (PLO)
2	กลุ่มผู้ใช้บัณฑิต	- ต้องการบัณฑิตที่สามารถสร้างโซลูชันที่ตอบโจทย์การใช้งานจริงในองค์กร - ต้องการบัณฑิตที่แก้ปัญหาซับซ้อนและพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ได้ - ชื่นชมบัณฑิตที่สามารถนำเสนอผลงานที่ช่วยพัฒนากระบวนการในองค์กร	1. มีความสามารถในการประยุกต์ AI และวิทยาการคำนวณในงานจริง เช่น การพัฒนานวัตกรรมหรือการแก้ปัญหาเฉพาะด้านในองค์กร 2. สามารถทำงานวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ ๆ เพื่อตอบสนองความต้องการขององค์กร และสามารถแก้ไขปัญหาที่ซับซ้อนในสถานการณ์จริง 3. นำเสนอแนวคิดและผลงานวิจัยที่สนับสนุนการพัฒนาธุรกิจหรือบริการขององค์กรได้อย่างชัดเจน	PLO1: พัฒนานวัตกรรมใหม่ในองค์กร หรือการวิจัยเพื่อพัฒนาองค์ความรู้ใหม่ผ่านการบูรณาการศาสตร์หลากหลายกับทฤษฎีและเครื่องมือที่มีอยู่แล้วเพื่อตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสังคมและท้องถิ่น (K6) PLO2: ถ่ายทอดผลงานทางวิชาการ นวัตกรรมด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณได้อย่างเชี่ยวชาญและสามารถตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารวิชาการระดับชาติหรือนานาชาติ (S3)
3	นักศึกษาในอนาคต	- สนใจเรียนในหลักสูตรที่สามารถช่วยพัฒนาความรู้เพื่อสร้างความแตกต่างในการทำงานหรือการวิจัย - ต้องการพัฒนาทักษะด้านการวิจัยและความสามารถในการประยุกต์ความรู้ข้ามสาขา - ต้องการฝึกทักษะการนำเสนอผลงานในที่ประชุมวิชาการ	1. ต้องการโอกาสในการเรียนรู้และพัฒนาทักษะการวิจัยและการบูรณาการความรู้เพื่อแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนในหลากหลายบริบท 2. ต้องการการสนับสนุนด้านทักษะการสื่อสารผลงานวิจัยในรูปแบบที่หลากหลายเพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการนำเสนอในระดับชาติหรือนานาชาติ	PLO1: พัฒนานวัตกรรมใหม่ในองค์กร หรือการวิจัยเพื่อพัฒนาองค์ความรู้ใหม่ผ่านการบูรณาการศาสตร์หลากหลายกับทฤษฎีและเครื่องมือที่มีอยู่แล้วเพื่อตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสังคมและท้องถิ่น (K6) PLO2: ถ่ายทอดผลงานทางวิชาการ นวัตกรรมด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ

ที่	ผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (Stakeholders)	ความต้องการ (Needs/Requirements)	สรุปความต้องการ (Sum up Needs/Requirement)	ผลลัพธ์การเรียนรู้ที่ตอบสนองต่อความต้องการ (PLO)
				ได้อย่างเชี่ยวชาญและสามารถเผยแพร่ผลงานทางวิชาการให้เป็นที่ยอมรับในระดับสากล (S3)
4	คณะ/มหาวิทยาลัย	- เป็นสถาบันแห่งการบูรณาการองค์ความรู้ สร้างนวัตกรรม ถ่ายทอดเทคโนโลยี เพื่อการ พัฒนาท้องถิ่นอย่างยั่งยืน - ผู้นำในการผลิตและพัฒนาน วัตกรทางการศึกษา เพื่อเท่าทัน การเปลี่ยนแปลงและตอบสนองการพัฒนาท้องถิ่นสู่สากลอย่าง ยั่งยืน	1. ต้องการให้หลักสูตรผลิตบัณฑิตที่มีความรู้ที่เป็นเลิศใน AI และวิทยาการคำนวณ เพื่อตอบโจทย์ความต้องการของตลาดแรงงานและการพัฒนาสังคม 2. ต้องการให้บัณฑิตมีความสามารถในการวิจัยเชิงบูรณาการและสร้างองค์ความรู้ใหม่ที่มีผลกระทบเชิงบวกต่อสังคมและเศรษฐกิจ 3. ต้องการให้บัณฑิตสามารถสร้างชื่อเสียงให้มหาวิทยาลัยผ่านการเผยแพร่ผลงานวิชาการระดับนานาชาติ	PLO1: พัฒนานวัตกรรมใหม่ในองค์กร หรือการวิจัยเพื่อพัฒนาองค์ความรู้ใหม่ผ่านการบูรณาการศาสตร์หลากหลายกับทฤษฎีและเครื่องมือที่มีอยู่แล้วเพื่อตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสังคมและท้องถิ่น (K6) PLO2: ถ่ายทอดผลงานทางวิชาการ นวัตกรรม ด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณได้อย่างเชี่ยวชาญและสามารถเผยแพร่ผลงานทางวิชาการให้เป็นที่ยอมรับในระดับสากล (S3)

2.3.3 ผลลัพธ์การเรียนรู้ (Program Learning Outcomes: PLOs) สำหรับแผน 2.1 แสดงดังนี้

PLO1: พัฒนานวัตกรรมใหม่ในองค์กร หรือการวิจัยเพื่อพัฒนาองค์ความรู้ใหม่ผ่านการบูรณาการศาสตร์หลากหลายกับองค์ความรู้ด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณเพื่อตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสังคมและท้องถิ่น (K6)

PLO2: ถ่ายทอดผลงานทางวิชาการ นวัตกรรม ด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณได้อย่างเชี่ยวชาญและสามารถเผยแพร่ผลงานทางวิชาการให้เป็นที่ยอมรับในระดับสากล (S3)

PLO3: แสดงออกถึงภาวะผู้นำด้านคุณธรรม จริยธรรม และจรรยาบรรณของนักวิจัยด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ (A5)

2.4 ความคาดหวังของผลลัพธ์การเรียนรู้เมื่อสิ้นปีการศึกษา (Year Learning Outcomes: YLOs)

2.4.1 กระบวนการกำหนดความคาดหวังของผลลัพธ์การเรียนรู้เมื่อสิ้นปีการศึกษา มีดังนี้

1. การวิเคราะห์ปรัชญาและวัตถุประสงค์ของหลักสูตร
2. การวิเคราะห์ผลลัพธ์การเรียนรู้ของหลักสูตร
3. การวิเคราะห์ลำดับขั้นของการเรียนรู้ตามแนวคิดพัฒนาการเรียนรู้ของบลูม
4. การวิเคราะห์ผลลัพธ์การเรียนรู้ตามประกาศคณะกรรมการมาตรฐานการอุดมศึกษา เรื่อง รายละเอียดผลลัพธ์การเรียนรู้ตามมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษา พุทธศักราช 2565

2.4.2 ตารางแสดงผลลัพธ์การเรียนรู้เมื่อสิ้นปีการศึกษา

ที่	PLOs	ชั้นปีที่		
		1 (YLO1)	2 (YLO2)	3 (YLO3)
1	PLO1: พัฒนานวัตกรรมใหม่ในองค์กร หรือการวิจัยเพื่อพัฒนาองค์ความรู้ใหม่ผ่านการบูรณาการศาสตร์หลากหลายกับทฤษฎีและเครื่องมือที่มีอยู่แล้วเพื่อตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสังคมและท้องถิ่น (K6)	เข้าใจหลักการพื้นฐานของวิทยาการคำนวณและปัญญาประดิษฐ์ เพื่อประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาจริง	สังเคราะห์องค์ความรู้จากแหล่งข้อมูลวิชาการที่หลากหลาย เพื่อพัฒนาโครงร่างดุษฎีนิพนธ์ที่มีกระบวนการทางวิชาการที่ชัดเจนและสามารถตรวจสอบได้	พัฒนานวัตกรรมใหม่ในองค์กร หรือการวิจัยเพื่อพัฒนาองค์ความรู้ใหม่ผ่านการบูรณาการศาสตร์หลากหลายกับองค์ความรู้ด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ
2	PLO2: ถ่ายทอดผลงานทางวิชาการ นวัตกรรมด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ ได้อย่างเชี่ยวชาญและสามารถตีเผยแพร่ผลงานทางวิชาการให้เป็นที่ยอมรับในระดับสากล (S3)	นำเสนองานวิจัยหรือนวัตกรรมทางปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณในรูปแบบสัมมนาทางวิชาการได้อย่างสมบูรณ์	ถ่ายทอดแนวคิดและกรอบแนวคิดของงานงานวิจัย กระบวนการวิจัย ผ่านการนำเสนอโครงร่างดุษฎีนิพนธ์ได้อย่างสมบูรณ์	จัดทำวิทยานิพนธ์ที่มีมาตรฐานและโครงสร้างที่สมบูรณ์ แผยแพร่ผลงานวิจัยในวารสารระดับนานาชาติได้อย่างสมบูรณ์
3	PLO3: แสดงออกถึงภาวะผู้นำด้านคุณธรรม จริยธรรม และจรรยาบรรณของนักวิจัยด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ (A5)	แสดงให้เห็นถึงวิสัยทางวิชาการที่ใช้ในการแสวงหาข้อมูลจากแหล่งที่ถูกต้องและน่าเชื่อถือทางวิชาการ และมีวิสัยการอ้างอิงงานวิชาการ	เป็นแบบอย่างในความรับผิดชอบทางวิชาการและส่งเสริมการพัฒนาจริยธรรมการวิจัยในวงการวิชาการ	ยึดมั่นในแนวทางปฏิบัติที่เน้นการใช้เทคโนโลยีอย่างรับผิดชอบ โปร่งใส ปลอดภัย เคารพความเป็นส่วนตัว

2.4.3 ตารางแสดงการเชื่อมโยงผลลัพธ์การเรียนรู้ของหลักสูตร (PLOs) กับความคาดหวังของผลลัพธ์การเรียนรู้เมื่อสิ้นปีการศึกษา (YLOs)

YLOs	PLO1	PLO2	PLO3
YLO1: เข้าใจหลักการพื้นฐานของวิทยาการคำนวณและปัญญาประดิษฐ์เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาจริง สามารถนำเสนองานวิจัยหรือนวัตกรรมในรูปแบบสัมมนาทางวิชาการได้อย่างครบถ้วน แสดงวิสัยทัศน์ทางวิชาการในการแสวงหาข้อมูลจากแหล่งที่น่าเชื่อถือ พร้อมการอ้างอิงงานวิชาการอย่างถูกต้อง	✓	✓	✓
YLO2: สังเคราะห์องค์ความรู้จากแหล่งข้อมูลวิชาการที่หลากหลายเพื่อพัฒนาโครงร่างวิทยานิพนธ์ที่มีกระบวนการทางวิชาการที่ชัดเจนและตรวจสอบได้ ถ่ายทอดแนวคิด กรอบแนวคิด และกระบวนการวิจัยผ่านการนำเสนอโครงร่างดุษฎีนิพนธ์อย่างสมบูรณ์ พร้อมเป็นแบบอย่างด้านความรับผิดชอบทางวิชาการ และส่งเสริมจริยธรรมการวิจัยในวงการวิชาการ	✓	✓	✓
YLO3: พัฒนานวัตกรรมหรือองค์ความรู้ใหม่โดยบูรณาการศาสตร์หลากหลายเข้ากับองค์ความรู้ด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ จัดทำวิทยานิพนธ์ที่มีมาตรฐานและโครงสร้างสมบูรณ์ เผยแพร่ผลงานในวารสารระดับนานาชาติ และนำเสนอผลการวิจัยต่อคณาจารย์ นักวิจัย และภาคอุตสาหกรรม โดยยึดมั่นการใช้เทคโนโลยีอย่างรับผิดชอบ มุ่งเน้นความเป็นธรรม โปร่งใส ปลอดภัย เคารพความเป็นส่วนตัว และตระหนักถึงผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากการใช้ AI	✓	✓	✓

2.4.4 ตารางจำแนกความสัมพันธ์ของผลลัพธ์การเรียนรู้ที่คาดหวังกับองค์ประกอบการเรียนรู้ของ Bloom

ที่	Bloom Taxonomy															
	Cognitive Domain (Knowledge)						Affective Domain (Attitude)					Psychomotor Domain (Skills)				
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	A1	A2	A3	A4	A5	S1	S2	S3	S4	S5
PLO1						✓										
PLO2														✓		
PLO3											✓					

2.4.5 ตารางอธิบายระดับผลลัพธ์การเรียนรู้แต่ละด้านของบลูม

Level	Cognitive Domain: K	Affective Domain: A	Psycho-motor Domain: S
1	Remember	Receiving	Imitation
2	Understand	Responding	Manipulation
3	Apply	Valuing	Precision
4	Analyze	Organization	Articulation
5	Evaluate	Characterization	Naturalization
6	Create	-	-

2.4.6 ตารางแสดงความสัมพันธ์และการเชื่อมโยงระหว่างวัตถุประสงค์ของหลักสูตรและผลลัพธ์การเรียนรู้ที่คาดหวัง

ที่	วัตถุประสงค์ของหลักสูตร	ผลลัพธ์การเรียนรู้ของหลักสูตร (PLOs)		
		1	2	3
1	มีความรู้รอบด้านในศาสตร์ของปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ นำไปใช้แก้ปัญหาและพัฒนานวัตกรรมที่ตอบสนองต่อองค์กรและสังคม	✓		
2	บูรณาการองค์ความรู้จากหลากหลายศาสตร์กับทฤษฎีและเครื่องมือที่มีอยู่แล้ว และนำความรู้นั้นไปใช้ในการแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อน รวมถึงการพัฒนานวัตกรรมที่มีผลกระทบเชิงบวกต่อวิชาการ อุตสาหกรรม และสังคมได้	✓		
3	นำเสนอและเผยแพร่ผลงานวิจัยในรูปแบบต่างๆ ได้อย่างเหมาะสม ได้แก่การเผยแพร่ผลงานทางวิชาการให้เป็นที่ยอมรับในระดับสากล กำหนด ได้อย่างมีประสิทธิภาพได้		✓	
4	เป็นผู้นำทางวิชาการและวิชาชีพที่สามารถปฏิบัติตามจรรยาบรรณวิจัยได้อย่างเคร่งครัด พร้อมทั้งส่งเสริมคุณธรรมและจริยธรรมในสังคมวิชาการ และสร้างแรงบันดาลใจให้ผู้อื่นในการดำเนินงานอย่างมีความรับผิดชอบต่อสังคม			✓

2.4.7 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างผลลัพธ์การเรียนรู้ที่คาดหวังของหลักสูตร (PLOs) และความต้องการของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (Stakeholders)

PLOs	Stakeholders			
PLOs	อาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร อาจารย์ประจำหลักสูตร อาจารย์ผู้สอน	กลุ่มผู้ใช้บัณฑิต	นักศึกษาในอนาคต	คณะ/มหาวิทยาลัย
1	✓	✓	✓	✓
2	✓	✓	✓	✓
3	✓			

2.4.8 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลลัพธ์การเรียนรู้ที่คาดหวังของหลักสูตร (PLOs) และรายละเอียดผลลัพธ์การเรียนรู้ตามมาตรฐานหลักสูตรระดับอุดมศึกษา พุทธศักราช 2565

PLOs	ผลลัพธ์การเรียนรู้ตามมาตรฐานหลักสูตรระดับอุดมศึกษา พุทธศักราช 2565			
	ความรู้ (Specific)	ทักษะ (Specific)	จริยธรรม (Generic)	ลักษณะบุคคล (Specific & Generic)
PLO1	✓			✓
PLO2		✓		✓
PLO3			✓	✓

หมวดที่ 4
โครงสร้างของหลักสูตรและรายวิชา

1. กระบวนการออกแบบโครงสร้างหลักสูตรและรายวิชา

เพื่อให้หลักสูตรสามารถพัฒนาบัณฑิตให้เป็นผู้มีคุณลักษณะพึงประสงค์สอดคล้องกับปรัชญาและวัตถุประสงค์หลักสูตร และผลลัพธ์การเรียนรู้ของหลักสูตร (PLOs) หลักสูตรได้มีการดำเนินการออกแบบโครงสร้างหลักสูตรและรายวิชา ดังนี้

1. การวางแผน โดยกำหนดขอบข่ายเนื้อหาที่จะสามารถทำให้บรรลุปรัชญา วัตถุประสงค์และผลลัพธ์การเรียนรู้ (PLOs)

2. การดำเนินการ โดยการดำเนินการออกแบบโครงสร้างหลักสูตรและรายวิชา ดำเนินการโดยวิธีการสำรวจความต้องการของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียของหลักสูตร (Stakeholders Needs Assessment) อย่างเป็นระบบ ตั้งแต่การกำหนดกลุ่มผู้มีส่วนได้ส่วนเสียและวิเคราะห์กลุ่มที่มีความเกี่ยวข้องกับแต่ละมิติ เช่น กลุ่มผู้ใช้บัณฑิต กลุ่มศิษย์เก่า กลุ่มนักศึกษาปัจจุบัน กลุ่มอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร อาจารย์ประจำหลักสูตร อาจารย์ผู้สอน องค์กรและหรือหน่วยงานวิชาชีพที่เกี่ยวข้อง เกณฑ์มาตรฐานวิชาการและวิชาชีพที่เกี่ยวข้องทั้งระดับมาตรฐานตามเกณฑ์ข้อบังคับมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายว่าด้วยการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา พ.ศ. 2565 กำหนด และนำมาวิเคราะห์ส่วนที่เกี่ยวข้องและสัมพันธ์กันโดยตรงโดยจัดลำดับความสัมพันธ์และ ความใกล้เคียงในลักษณะของความสำคัญก่อน-หลัง และมากน้อย (prioritization) และพิจารณาปรัชญา วัตถุประสงค์ของหลักสูตร ผลลัพธ์การเรียนรู้ของหลักสูตร และผลลัพธ์การเรียนรู้เมื่อสิ้นสุดปีการศึกษา

3. การตรวจสอบ โดยการประชุมกรรมการบริหารหลักสูตร อาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร อาจารย์ประจำหลักสูตรและอาจารย์ผู้สอน รวมทั้งการทวนสอบกับผู้เกี่ยวข้องอื่น ๆ เพื่อประเมินความสอดคล้องของเนื้อหารายวิชากับปรัชญา วัตถุประสงค์ และ PLOs ของหลักสูตร

4. การปรับปรุงโครงสร้างและเนื้อหารายวิชาโดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการตรวจสอบ

แผนที่ 1.1

ที่	ผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (Stakeholders)	ความต้องการ (Needs/ Requirements)	สรุปความต้องการ (Sum up Needs/ Requirements)	ผลลัพธ์การเรียนรู้ที่ตอบสนองต่อความต้องการ (PLOs)	รายวิชาที่ตอบสนองต่อ PLOs & YLOs
1	อาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร อาจารย์ประจำหลักสูตร อาจารย์ผู้สอน	- เน้นความสำคัญของการบูรณาการความรู้เพื่อสร้างงานวิจัยที่มีผลกระทบต่อวิชาการและสังคม - เน้นความสำคัญของการสื่อสารที่ชัดเจนและมีประสิทธิภาพในวงการวิชาการ - เห็นความสำคัญของการปลูกฝังคุณธรรมและจริยธรรมในงานวิจัยเพื่อป้องกันผลกระทบที่ไม่พึงประสงค์ - สามารถพัฒนาองค์ความรู้ใหม่ที่มีความลึกซึ้งและมีนัยสำคัญทางวิชาการ ผ่านกระบวนการวิจัยที่เข้มข้นในสาขาปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ - สามารถเผยแพร่ผลงานวิจัยในวารสารวิชาการระดับนานาชาติที่มีคุณภาพโดยผ่านกระบวนการตรวจสอบทางวิชาการ (Peer Review) - ต้องการบัณฑิตที่สามารถสร้างโซลูชันที่ตอบโจทย์การใช้งานจริงในองค์กร - ต้องการบัณฑิตที่แก้ปัญหาซับซ้อนและ	1. มีความสามารถในการนำเสนอผลงานวิจัยในเวทีวิชาการระดับนานาชาติ และสื่อสารได้อย่างมีประสิทธิภาพ 2. แสดงออกถึงคุณธรรมและจริยธรรมในงานวิจัย รวมถึงสามารถเป็นแบบอย่างให้แก่สังคมวิชาการ 3. สามารถพัฒนาองค์ความรู้ใหม่ที่มีความลึกซึ้งในสาขาปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ ผ่านกระบวนการวิจัยขั้นสูงที่สามารถเผยแพร่ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ 1. มีความสามารถในการประยุกต์ AI และวิทยาการคำนวณในงานจริง เช่น การพัฒนานวัตกรรมหรือการแก้ปัญหาเฉพาะด้านในองค์กร 2. สามารถทำงานวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ ๆ เพื่อตอบสนองความต้องการขององค์กร และสามารถแก้ไขปัญหาที่ซับซ้อน	PLO1: สร้างนวัตกรรมใหม่ในองค์กรหรือการวิจัยเพื่อพัฒนาองค์ความรู้ใหม่ที่เชื่อมโยงความรู้จากหลากหลายศาสตร์ ในงานวิจัยปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณได้ (K6)	AICS9401 ดุษฎีนิพนธ์ 1.1
				PLO2: ถ่ายทอดผลงานทางวิชาการนวัตกรรม ด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ ได้อย่างเชี่ยวชาญและสามารถเผยแพร่ผลงานทางวิชาการให้เป็นที่ยอมรับในระดับสากล (S3)	AICS9301 สัมมนาด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ AICS9302 สัมมนาด้านการใช้ปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณสำหรับงานด้านการศึกษา AICS9303 สัมมนาด้านการใช้ปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณสำหรับงานด้านวิทยาศาสตร์และสาธารณสุขศาสตร์ AICS9304 สัมมนาด้านการ

ที่	ผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (Stakeholders)	ความต้องการ (Needs/ Requirements)	สรุปความต้องการ (Sum up Needs/ Requirements)	ผลลัพธ์การเรียนรู้ที่ตอบสนองต่อความต้องการ (PLOs)	รายวิชาที่ตอบสนองต่อ PLOs & YLOs
		พัฒนาเทคโนโลยีใหม่ได้ - ชื่นชมบัณฑิตที่สามารถนำเสนอผลงานที่ช่วยพัฒนากระบวนการในองค์กร - สนใจเรียนในหลักสูตรที่สามารถช่วยพัฒนาความรู้เพื่อสร้างความแตกต่างในการทำงานหรือการวิจัย - ต้องการฝึกทักษะการนำเสนอผลงานในที่ประชุมระดับนานาชาติ	ในสถานการณ์จริง 3. นำเสนอแนวคิดและผลงานวิจัยที่สนับสนุนการพัฒนาธุรกิจหรือบริการขององค์กรได้อย่างชัดเจน 1. ต้องการโอกาสในการเรียนรู้และพัฒนาทักษะการวิจัยเพื่อแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนในหลากหลายบริบท 2. ต้องการการสนับสนุนด้านทักษะการสื่อสารผลงานวิจัยในรูปแบบที่หลากหลายเพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการนำเสนอในระดับสากล		ใช้ปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณสำหรับงานด้านสังคม ธุรกิจ การเกษตร และสิ่งแวดล้อม AICS9401 ดุษฎีนิพนธ์ 1.1
				PLO3: แสดงออกถึงภาวะผู้นำด้านคุณธรรม จริยธรรม และจรรยาบรรณของนักวิจัยด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ (A5)	AICS9301 สัมมนาด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ AICS9302 สัมมนาด้านการใช้ปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณสำหรับงานด้านการศึกษา AICS9303 สัมมนาด้านการใช้ปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณสำหรับงานด้านวิทยาศาสตร์และสาธารณสุขศาสตร์ AICS9304 สัมมนาด้านการใช้ปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณสำหรับงานด้านสังคม

ที่	ผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (Stakeholders)	ความต้องการ (Needs/ Requirements)	สรุปความต้องการ (Sum up Needs/ Requirements)	ผลลัพธ์การเรียนรู้ที่ตอบสนองต่อความต้องการ (PLOs)	รายวิชาที่ตอบสนองต่อ PLOs & YLOs
					ธุรกิจ การเกษตร และสิ่งแวดล้อม AICS9401 ดุษฎีนิพนธ์ 1.1
2	กลุ่มผู้ใช้บัณฑิต	- ผู้นำในการผลิตและพัฒนา นวัตกรทางการศึกษา เพื่อเท่าทันการเปลี่ยนแปลงและตอบสนอง การพัฒนาท้องถิ่นสู่สากลอย่างยั่งยืน - เน้นความสำคัญของการบูรณาการความรู้เพื่อสร้างงานวิจัยที่มีผลกระทบต่อวิชาการและสังคม - เน้นความสำคัญของการสื่อสารที่ชัดเจนและมีประสิทธิภาพในวงการวิชาการ - เห็นความสำคัญของการปลูกฝังคุณธรรมและจริยธรรมในงานวิจัยเพื่อป้องกันผลกระทบที่ไม่พึงประสงค์ - สามารถพัฒนาองค์ความรู้ใหม่ที่มีความลึกซึ้งและมีนัยสำคัญทางวิชาการ ผ่านกระบวนการวิจัยที่เข้มข้นในสาขาปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ - สามารถเผยแพร่ผลงานวิจัยในวารสารวิชาการระดับนานาชาติที่มีคุณภาพโดยผ่านกระบวนการ	1. ต้องการให้หลักสูตรผลิตบัณฑิตที่มีความรู้ที่เป็นเลิศใน AI และวิทยาการคำนวณ เพื่อตอบโจทย์ความต้องการของตลาดแรงงานและการพัฒนาสังคม 2. ต้องการให้บัณฑิตมีความสามารถในการวิจัยเชิงบูรณาการและสร้างองค์ความรู้ใหม่ที่มีผลกระทบเชิงบวกต่อสังคมและเศรษฐกิจ 3. ต้องการให้บัณฑิตสามารถสร้างชื่อเสียงให้มหาวิทยาลัยผ่านการเผยแพร่ผลงานวิชาการระดับนานาชาติ 1. มีความสามารถในการนำเสนอผลงานวิจัยในเวทีวิชาการระดับนานาชาติ และสื่อสารได้อย่างมีประสิทธิภาพ 2. แสดงออกถึงคุณธรรมและจริยธรรมในงานวิจัย รวมถึงสามารถเป็นแบบอย่างให้แก่สังคมวิชาการ 3. สามารถพัฒนาองค์	PLO1: สร้างนวัตกรรมใหม่ในองค์กรหรือการวิจัยเพื่อพัฒนาองค์ความรู้ใหม่ที่เชื่อมโยงความรู้จากหลากหลายศาสตร์ ในงานวิจัยปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณได้ (K6)	AICS9401 ดุษฎีนิพนธ์ 1.1

ที่	ผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (Stakeholders)	ความต้องการ (Needs/ Requirements)	สรุปความต้องการ (Sum up Needs/ Requirements)	ผลลัพธ์การเรียนรู้ที่ตอบสนองต่อความต้องการ (PLOs)	รายวิชาที่ตอบสนองต่อ PLOs & YLOs
		ตรวจสอบทางวิชาการ (Peer Review)	ความรู้ใหม่ที่มีความลึกซึ้งในสาขาปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณผ่านกระบวนการวิจัยขั้นสูงที่สามารถเผยแพร่ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ	PLO2: ถ่ายทอดผลงานทางวิชาการนวัตกรรม ด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ ได้อย่างเชี่ยวชาญและสามารถเผยแพร่ผลงานทางวิชาการให้เป็นที่ยอมรับในระดับสากล (S3)	AICS9301 สัมมนาด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ AICS9302 สัมมนาด้านการใช้ปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณสำหรับงานด้านการศึกษา AICS9303 สัมมนาด้านการใช้ปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณสำหรับงานด้านวิทยาศาสตร์และสาธารณสุขศาสตร์ AICS9304 สัมมนาด้านการใช้ปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณสำหรับงานด้านสังคม ธุรกิจ การเกษตรและสิ่งแวดล้อม AICS9401 ดุษฎีนิพนธ์ 1.1

ที่	ผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (Stakeholders)	ความต้องการ (Needs/ Requirements)	สรุปความต้องการ (Sum up Needs/ Requirements)	ผลลัพธ์การเรียนรู้ที่ตอบสนองต่อความต้องการ (PLOs)	รายวิชาที่ตอบสนองต่อ PLOs & YLOs
3	นักศึกษาในอนาคต	- ต้องการบัณฑิตที่สามารถสร้างโซลูชันที่ตอบโจทย์การใช้งานจริงในองค์กร - ต้องการบัณฑิตที่แก้ปัญหาซับซ้อนและพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ได้ - ชื่นชมบัณฑิตที่สามารถนำเสนอผลงานที่ช่วยพัฒนากระบวนการในองค์กร - สนใจเรียนในหลักสูตรที่สามารถช่วยพัฒนาความรู้เพื่อสร้างความแตกต่างในการทำงานหรือการวิจัย - ต้องการฝึกทักษะการนำเสนอผลงานในที่ประชุมระดับนานาชาติ	1. มีความสามารถในการประยุกต์ AI และวิทยาการคำนวณในงานจริง เช่น การพัฒนานวัตกรรมหรือการแก้ปัญหาเฉพาะด้านในองค์กร 2. สามารถทำงานวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ ๆ เพื่อตอบสนองความต้องการขององค์กร และสามารถแก้ไขปัญหาที่ซับซ้อนในสถานการณ์จริง 3. นำเสนอแนวคิดและผลงานวิจัยที่สนับสนุนการพัฒนาธุรกิจหรือบริการขององค์กรได้อย่างชัดเจน 1. ต้องการโอกาสในการเรียนรู้และพัฒนาทักษะการวิจัยเพื่อแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนในหลากหลายบริบท 2. ต้องการการสนับสนุนด้านทักษะการสื่อสารผลงานวิจัยในรูปแบบที่หลากหลายเพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการนำเสนอในระดับสากล	PLO1: สร้างนวัตกรรมใหม่ในองค์กรหรือการวิจัยเพื่อพัฒนาองค์ความรู้ใหม่ที่เชื่อมโยงความรู้จากหลากหลายศาสตร์ ในงานวิจัยปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณได้ (K6)	AICS9401 ดุษฎีนิพนธ์ 1.1
				PLO2: ถ่ายทอดผลงานทางวิชาการนวัตกรรม ด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ ได้อย่างเชี่ยวชาญและสามารถเผยแพร่ผลงานทางวิชาการให้เป็นที่ยอมรับในระดับสากล (S3)	AICS9301 สัมมนาด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ AICS9302 สัมมนาด้านการใช้ปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณสำหรับงานด้านการศึกษา AICS9303 สัมมนาด้านการใช้ปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณสำหรับงานด้านวิทยาศาสตร์และสาธารณสุขศาสตร์ AICS9304 สัมมนาด้านการใช้ปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณสำหรับ

ที่	ผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (Stakeholders)	ความต้องการ (Needs/ Requirements)	สรุปความต้องการ (Sum up Needs/ Requirements)	ผลลัพธ์การเรียนรู้ที่ตอบสนองต่อความต้องการ (PLOs)	รายวิชาที่ตอบสนองต่อ PLOs & YLOs
					งานด้านสังคม ธุรกิจ การเกษตร และสิ่งแวดล้อม AICS9401 ดุษฎีนิพนธ์ 1.1
4	คณะ/มหาวิทยาลัย	- ผู้นำในการผลิตและพัฒนา นวัตกรทางการศึกษา เพื่อเท่าทันการเปลี่ยนแปลงและตอบสนอง การพัฒนาท้องถิ่นสู่สากลอย่างยั่งยืน	1. ต้องการให้หลักสูตรผลิตบัณฑิตที่มีความรู้ที่เป็นเลิศใน AI และวิทยาการคำนวณ เพื่อตอบโจทย์ความต้องการของตลาดแรงงานและการพัฒนาสังคม 2. ต้องการให้บัณฑิตมีความสามารถในการวิจัยเชิงบูรณาการและสร้างองค์ความรู้ใหม่ที่มีผลกระทบเชิงบวกต่อสังคมและเศรษฐกิจ 3. ต้องการให้บัณฑิตสามารถสร้างชื่อเสียงให้มหาวิทยาลัยผ่านการเผยแพร่ผลงานวิชาการระดับนานาชาติ	PLO1: สร้างนวัตกรรมใหม่ในองค์กรหรือการวิจัยเพื่อพัฒนาองค์ความรู้ใหม่ที่เชื่อมโยงความรู้จากหลากหลายศาสตร์ ในงานวิจัยปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณได้ (K6)	AICS9401 ดุษฎีนิพนธ์ 1.1
				PLO2: ถ่ายทอดผลงานทางวิชาการนวัตกรรม ด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ ได้อย่างเชี่ยวชาญและสามารถเผยแพร่ผลงานทางวิชาการให้เป็นที่ยอมรับในระดับสากล (S3)	AICS9301 สัมมนาด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ AICS9302 สัมมนาด้านการใช้ปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณสำหรับงานด้านการศึกษา AICS9303 สัมมนาด้านการใช้ปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณสำหรับงานด้านวิทยาศาสตร์และสาธารณสุขศาสตร์ AICS9304

ที่	ผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (Stakeholders)	ความต้องการ (Needs/ Requirements)	สรุปความต้องการ (Sum up Needs/ Requirements)	ผลลัพธ์การเรียนรู้ที่ตอบสนองต่อความต้องการ (PLOs)	รายวิชาที่ตอบสนองต่อ PLOs & YLOs
					สัมมนาด้านการใช้ปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณสำหรับงานด้านสังคม ธุรกิจ การเกษตร และสิ่งแวดล้อม AICS9401 ดุษฎีนิพนธ์ 1.1

แผนที่ 2.1

ที่	ผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (Stakeholders)	ความต้องการ (Needs/ Requirements)	สรุปความต้องการ (Sum up Needs/ Requirements)	ผลลัพธ์การเรียนรู้ที่ตอบสนองต่อความต้องการ (PLOs)	รายวิชาที่ตอบสนองต่อ PLOs & YLOs
1	อาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร อาจารย์ประจำหลักสูตร อาจารย์ผู้สอน	- ต้องการบัณฑิตที่สามารถนำความรู้ไปใช้พัฒนานวัตกรรมและการวิจัยในหลากหลายศาสตร์ - เน้นความสำคัญของการบูรณาการความรู้เพื่อสร้างงานวิจัยที่มีผลกระทบต่อวิชาการและสังคม - เน้นความสำคัญของการสื่อสารที่ชัดเจนและมีประสิทธิภาพในวงการวิชาการ - เห็นความสำคัญของการปลูกฝังคุณธรรมและจริยธรรมในงานวิจัยเพื่อป้องกันผลกระทบที่ไม่พึงประสงค์ - ต้องการบัณฑิตที่สามารถสร้างโซลูชันที่ตอบโจทย์การใช้งานจริงในองค์กร - ต้องการบัณฑิตที่แก้ปัญหาซับซ้อนและพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ได้ - ชื่นชมบัณฑิตที่สามารถนำเสนอผลงานที่ช่วยพัฒนากระบวนการในองค์กร - สนใจเรียนในหลักสูตรที่สามารถช่วยพัฒนาความรู้เพื่อสร้างความแตกต่างในการทำงานหรือการ	1. มีพื้นฐานความรู้ที่แข็งแกร่งและรอบด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณและสามารถประยุกต์ใช้ความรู้ได้อย่างหลากหลายเพื่อสร้างนวัตกรรมและความรู้ใหม่ 2. มีทักษะการบูรณาการความรู้จากหลายสาขา พร้อมความสามารถในการวิจัยที่สามารถแก้ปัญหาที่ซับซ้อนได้ 3. มีความสามารถในการนำเสนอผลงานวิจัยในเวทีวิชาการระดับนานาชาติ และสื่อสารได้อย่างมีประสิทธิภาพ 4. แสดงออกถึงคุณธรรมและจริยธรรมในงานวิจัย รวมถึงสามารถเป็นแบบอย่างให้แก่สังคมวิชาการ 1. มีความสามารถในการประยุกต์ AI และวิทยาการคำนวณในงานจริง เช่น การพัฒนานวัตกรรมหรือการแก้ปัญหาเฉพาะด้านในองค์กร 2. สามารถทำงานวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี	PLO1: พัฒนานวัตกรรมใหม่ในองค์กรหรือการวิจัยเพื่อพัฒนาองค์ความรู้ใหม่ผ่านการบูรณาการศาสตร์หลากหลายกับทฤษฎีและเครื่องมือที่มีอยู่แล้วเพื่อตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสังคมและท้องถิ่น (K6)	AICS9101 วิทยาการคำนวณ AICS9102 การเขียนโปรแกรมและหลักการอัลกอริทึม AICS9103 ทฤษฎีและการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ AICS9201 การเรียนรู้ของเครื่อง AICS9202 การเรียนรู้เชิงลึก AICS9203 ปัญญาประดิษฐ์ในเทคโนโลยีอัจฉริยะ AICS9204 การเข้าใจภาษาของปัญญาประดิษฐ์ AICS9205 เหมืองข้อมูล AICS9206 ข้อมูลขนาดใหญ่ AICS9207 การวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ AICS9208 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ AICS9209 การคำนวณเชิงสถิติสมัยใหม่ AICS9210 วิทยาศาสตร์เชิงคำนวณ

ที่	ผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (Stakeholders)	ความต้องการ (Needs/ Requirements)	สรุปความต้องการ (Sum up Needs/ Requirements)	ผลลัพธ์การเรียนรู้ที่ตอบสนองต่อความต้องการ (PLOs)	รายวิชาที่ตอบสนองต่อ PLOs & YLOs
		วิจัย - ต้องการพัฒนาทักษะด้านการวิจัยและความสามารถในการประยุกต์ความรู้ข้ามสาขา - ต้องการฝึกทักษะการนำเสนอผลงานในที่ประชุมวิชาการ	ใหม่ ๆ เพื่อตอบสนองความต้องการขององค์กร และสามารถแก้ไขปัญหาที่ซับซ้อนในสถานการณ์จริง 3. นำเสนอแนวคิดและผลงานวิจัยที่สนับสนุนการพัฒนาธุรกิจหรือบริการขององค์กรได้อย่างชัดเจน 1. ต้องการโอกาสในการเรียนรู้และพัฒนาทักษะการวิจัยและการบูรณาการความรู้เพื่อแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนในหลากหลายบริบท 2. ต้องการการสนับสนุนด้านทักษะการสื่อสารผลงานวิจัยในรูปแบบที่หลากหลายเพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการนำเสนอในระดับชาติหรือนานาชาติ		AICS9211 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ AICS9212 คณิตศาสตร์สำหรับปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ AICS9213 การพัฒนาองค์กรด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ AICS9214 หัวข้อพิเศษทางปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ AICS9402 ดุษฎีนิพนธ์ 2.1

ที่	ผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (Stakeholders)	ความต้องการ (Needs/ Requirements)	สรุปความต้องการ (Sum up Needs/ Requirements)	ผลลัพธ์การเรียนรู้ที่ตอบสนองต่อความต้องการ (PLOs)	รายวิชาที่ตอบสนองต่อ PLOs & YLOs
				PLO2: ถ่ายทอดผลงานทางวิชาการ นวัตกรรมด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ ได้อย่างเชี่ยวชาญและสามารถเผยแพร่ผลงานทางวิชาการให้เป็นที่ยอมรับในระดับสากล (S3)	AICS9301 สัมมนาด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ AICS9302 สัมมนาด้าน การใช้ปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณสำหรับงานด้านการศึกษา AICS9303 สัมมนาด้าน การใช้ปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณสำหรับงานด้านสาธารณสุข AICS9304 สัมมนาด้าน การใช้ปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณสำหรับงานด้านสิ่งแวดล้อม AICS9402 ดุษฎีนิพนธ์ 2.1

ที่	ผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (Stakeholders)	ความต้องการ (Needs/ Requirements)	สรุปความต้องการ (Sum up Needs/ Requirements)	ผลลัพธ์การเรียนรู้ที่ตอบสนองต่อความต้องการ (PLOs)	รายวิชาที่ตอบสนองต่อ PLOs & YLOs
				PLO3: แสดงออกถึงภาวะผู้นำด้านคุณธรรม จริยธรรม และจรรยาบรรณของนักวิจัยด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ (A5)	AICS9301 สัมมนาด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ AICS9302 สัมมนาด้าน การใช้ปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณสำหรับงานด้านการศึกษา AICS9303 สัมมนาด้าน การใช้ปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณสำหรับงานด้านสาธารณสุข AICS9304 สัมมนาด้าน การใช้ปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณสำหรับงานด้านสิ่งแวดล้อม AICS9402 ดุษฎีนิพนธ์ 2.1

ที่	ผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (Stakeholders)	ความต้องการ (Needs/ Requirements)	สรุปความต้องการ (Sum up Needs/ Requirements)	ผลลัพธ์การเรียนรู้ที่ตอบสนองต่อความต้องการ (PLOs)	รายวิชาที่ตอบสนองต่อ PLOs & YLOs
2	กลุ่มผู้ใช้บัณฑิต	- เป็นสถาบันแห่งการบูรณา การองค์ความรู้ สร้างนวัตกรรม ถ่ายทอดเทคโนโลยี เพื่อการพัฒนาท้องถิ่นอย่างยั่งยืน - ผู้นำในการผลิตและพัฒนาน วัตกรทางการศึกษา เพื่อเท่าทันการเปลี่ยนแปลงและตอบสนอง การพัฒนาท้องถิ่นสู่สากลอย่างยั่งยืน - ต้องการบัณฑิตที่สามารถนำความรู้ไปใช้พัฒนานวัตกรรมและการวิจัยในหลากหลายศาสตร์ - เน้นความสำคัญของการบูรณาการความรู้เพื่อสร้างงานวิจัยที่มีผลกระทบต่อวิชาการและสังคม - เน้นความสำคัญของการสื่อสารที่ชัดเจนและมีประสิทธิภาพในวงการวิชาการ - เห็นความสำคัญของการปลูกฝังคุณธรรมและจริยธรรมในงานวิจัยเพื่อป้องกันผลกระทบที่ไม่พึงประสงค์	1. ต้องการให้หลักสูตรผลิตบัณฑิตที่มีความรู้ที่เป็นเลิศใน AI และวิทยาการคำนวณ เพื่อตอบโจทย์ความต้องการของตลาดแรงงานและการพัฒนาสังคม 2. ต้องการให้บัณฑิตมีความสามารถในการวิจัยเชิงบูรณาการและสร้างองค์ความรู้ใหม่ที่มีผลกระทบเชิงบวกต่อสังคมและเศรษฐกิจ 3. ต้องการให้บัณฑิตสามารถสร้างชื่อเสียงให้มหาวิทยาลัยผ่านการเผยแพร่ผลงานวิชาการระดับนานาชาติ 1. มีพื้นฐานความรู้ที่แข็งแกร่งและรอบด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ และสามารถประยุกต์ใช้ความรู้ได้อย่างหลากหลายเพื่อสร้างนวัตกรรมและความรู้ใหม่ 2. มีทักษะการบูรณาการความรู้จากหลายสาขา พร้อมความสามารถในการวิจัยที่สามารถแก้ปัญหาที่ซับซ้อนได้ 3. มีความสามารถในการนำเสนอผลงานวิจัยในเวทีวิชาการระดับ	PLO1: พัฒนานวัตกรรมใหม่ในองค์กรหรือการวิจัยเพื่อพัฒนาองค์ความรู้ใหม่ผ่านการบูรณาการศาสตร์หลากหลายกับทฤษฎีและเครื่องมือที่มีอยู่แล้ว เพื่อตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสังคมและท้องถิ่น (K6)	AICS9101 วิทยาการคำนวณ AICS9102 การเขียนโปรแกรมและหลักการอัลกอริทึม AICS9103 ทฤษฎีและการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ AICS9201 การเรียนรู้ของเครื่อง AICS9202 การเรียนรู้เชิงลึก AICS9203 ปัญญาประดิษฐ์ในเทคโนโลยีอัจฉริยะ AICS9204 การเข้าใจภาษาของปัญญาประดิษฐ์ AICS9205 เหมืองข้อมูล AICS9206 ข้อมูลขนาดใหญ่ AICS9207 การวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ AICS9208 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ AICS9209 การคำนวณเชิงสถิติสมัยใหม่ AICS9210 วิทยาศาสตร์เชิงคำนวณ AICS9211 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่

ที่	ผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (Stakeholders)	ความต้องการ (Needs/ Requirements)	สรุปความต้องการ (Sum up Needs/ Requirements)	ผลลัพธ์การเรียนรู้ที่ตอบสนองต่อความต้องการ (PLOs)	รายวิชาที่ตอบสนองต่อ PLOs & YLOs
			นานาชาติ และสื่อสารได้อย่างมีประสิทธิภาพ 4. แสดงออกถึงคุณธรรมและจริยธรรมในงานวิจัย รวมถึงสามารถเป็นแบบอย่างให้แก่สังคมวิชาการ		AICS9212 คณิตศาสตร์สำหรับปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ AICS9213 การพัฒนาองค์กรด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ AICS9214 หัวข้อพิเศษทางปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ AICS9402 ดุษฎีนิพนธ์ 2.1
				PLO2: ถ่ายทอดผลงานทางวิชาการ นวัตกรรมด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ ได้อย่างเชี่ยวชาญและสามารถเผยแพร่ผลงานทางวิชาการให้เป็นที่ยอมรับในระดับสากล (S3)	AICS9301 สัมมนาด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ AICS9302 สัมมนาด้านการใช้ปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณสำหรับงานด้านการศึกษา AICS9303 สัมมนาด้าน การใช้ปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณสำหรับงานด้านสาธารณสุข AICS9304 สัมมนาด้าน การ

ที่	ผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (Stakeholders)	ความต้องการ (Needs/ Requirements)	สรุปความต้องการ (Sum up Needs/ Requirements)	ผลลัพธ์การเรียนรู้ที่ตอบสนองต่อความต้องการ (PLOs)	รายวิชาที่ตอบสนองต่อ PLOs & YLOs
					ใช้ปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณสำหรับงานด้านสิ่งแวดล้อม AICS9402 ดุษฎีนิพนธ์ 2.1
3	นักศึกษาในอนาคต	- ต้องการบัณฑิตที่สามารถสร้างโซลูชันที่ตอบโจทย์การใช้งานจริงในองค์กร - ต้องการบัณฑิตที่แก้ปัญหาซับซ้อนและพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ได้ - ชื่นชมบัณฑิตที่สามารถนำเสนอผลงานที่ช่วยพัฒนากระบวนการในองค์กร - สนใจเรียนในหลักสูตรที่สามารถช่วยพัฒนาความรู้เพื่อสร้างความแตกต่างในการทำงานหรือการวิจัย - ต้องการพัฒนาทักษะด้านการวิจัยและความสามารถในการประยุกต์ความรู้ข้ามสาขา - ต้องการฝึกทักษะการนำเสนอผลงานในที่ประชุมวิชาการ	1. มีความสามารถในการประยุกต์ AI และวิทยาการคำนวณในงานจริง เช่น การพัฒนานวัตกรรมหรือการแก้ปัญหาเฉพาะด้านในองค์กร 2. สามารถทำงานวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ ๆ เพื่อตอบสนองความต้องการขององค์กร และสามารถแก้ไขปัญหาที่ซับซ้อนในสถานการณ์จริง 3. นำเสนอแนวคิดและผลงานวิจัยที่สนับสนุนการพัฒนาธุรกิจหรือบริการขององค์กรได้อย่างชัดเจน 1. ต้องการโอกาสในการเรียนรู้และพัฒนาทักษะการวิจัยและการบูรณาการความรู้เพื่อแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนในหลากหลายบริบท 2. ต้องการการสนับสนุนด้านทักษะการสื่อสารผลงานวิจัยในรูปแบบที่หลากหลายเพื่อเตรียมพร้อมสำหรับ	PLO1: พัฒนานวัตกรรมใหม่ในองค์กรหรือการวิจัยเพื่อพัฒนาองค์ความรู้ใหม่ผ่านการบูรณาการศาสตร์หลากหลายกับทฤษฎีและเครื่องมือที่มีอยู่แล้วเพื่อตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสังคมและท้องถิ่น (K6)	AICS9101 วิทยาการคำนวณ AICS9102 การเขียนโปรแกรมและหลักการอัลกอริทึม AICS9103 ทฤษฎีและการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ AICS9201 การเรียนรู้ของเครื่อง AICS9202 การเรียนรู้เชิงลึก AICS9203 ปัญญาประดิษฐ์ในเทคโนโลยีอัจฉริยะ AICS9204 การเข้าใจภาษาของปัญญาประดิษฐ์ AICS9205 เหมืองข้อมูล AICS9206 ข้อมูลขนาดใหญ่ AICS9207 การวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ AICS9208 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ AICS9209 การ

ที่	ผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (Stakeholders)	ความต้องการ (Needs/ Requirements)	สรุปความต้องการ (Sum up Needs/ Requirements)	ผลลัพธ์การเรียนรู้ที่ตอบสนองต่อความต้องการ (PLOs)	รายวิชาที่ตอบสนองต่อ PLOs & YLOs
			การนำเสนอในระดับชาติหรือนานาชาติ		คำนวณเชิงสถิติสมัยใหม่ AICS9210 วิทยาศาสตร์เชิงคำนวณ AICS9211 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ AICS9212 คณิตศาสตร์สำหรับปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ AICS9213 การพัฒนาองค์กรด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ AICS9214 หัวข้อพิเศษทางปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ AICS9402 ดุษฎีนิพนธ์ 2.1

ที่	ผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (Stakeholders)	ความต้องการ (Needs/ Requirements)	สรุปความต้องการ (Sum up Needs/ Requirements)	ผลลัพธ์การเรียนรู้ที่ตอบสนองต่อความต้องการ (PLOs)	รายวิชาที่ตอบสนองต่อ PLOs & YLOs
				PLO2: ถ่ายทอดผลงานทางวิชาการ นวัตกรรมด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ ได้อย่างเชี่ยวชาญและสามารถเผยแพร่ผลงานทางวิชาการให้เป็นที่ยอมรับในระดับสากล (S3)	AICS9301 สัมมนาด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ AICS9302 สัมมนาด้าน การใช้ปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณสำหรับงานด้านการศึกษา AICS9303 สัมมนาด้าน การใช้ปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณสำหรับงานด้านสาธารณสุข AICS9304 สัมมนาด้าน การใช้ปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณสำหรับงานด้านสิ่งแวดล้อม AICS9402 ดุษฎีนิพนธ์ 2.1
4	คณะ/มหาวิทยาลัย	- เป็นสถาบันแห่งการบูรณา การองค์ความรู้ สร้างนวัตกรรม ถ่ายทอดเทคโนโลยี เพื่อการพัฒนาท้องถิ่นอย่างยั่งยืน - ผู้นำในการผลิตและพัฒนาน วัตกรทางการศึกษา เพื่อเท่าทันการเปลี่ยนแปลงและตอบสนอง การพัฒนา	1. ต้องการให้หลักสูตรผลิตบัณฑิตที่มีความรู้ที่เป็นเลิศใน AI และวิทยาการคำนวณ เพื่อตอบโจทย์ความต้องการของตลาดแรงงานและการพัฒนาสังคม 2. ต้องการให้บัณฑิตมีความสามารถในการวิจัยเชิงบูรณาการและสร้างองค์ความรู้ใหม่ที่	PLO1: พัฒนานวัตกรรมใหม่ในองค์กรหรือการวิจัยเพื่อพัฒนาองค์ความรู้ใหม่ผ่านการบูรณาการศาสตร์หลากหลายกับทฤษฎีและเครื่องมือที่มีอยู่แล้ว เพื่อตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสังคมและท้องถิ่น (K6)	AICS9101 วิทยาการคำนวณ AICS9102 การเขียนโปรแกรมและหลักการอัลกอริทึม AICS9103 ทฤษฎีและการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ AICS9201 การเรียนรู้ของเครื่อง

ที่	ผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (Stakeholders)	ความต้องการ (Needs/ Requirements)	สรุปความต้องการ (Sum up Needs/ Requirements)	ผลลัพธ์การเรียนรู้ที่ตอบสนองต่อความต้องการ (PLOs)	รายวิชาที่ตอบสนองต่อ PLOs & YLOs
		ท้องถิ่นสู่สากลอย่างยั่งยืน	มีผลกระทบเชิงบวกต่อสังคมและเศรษฐกิจ 3. ต้องการให้บัณฑิตสามารถสร้างชื่อเสียงให้มหาวิทยาลัยผ่านการเผยแพร่ผลงานวิชาการระดับนานาชาติ		AICS9202 การเรียนรู้เชิงลึก AICS9203 ปัญญาประดิษฐ์ในเทคโนโลยีอัจฉริยะ AICS9204 การเข้าใจภาษาของปัญญาประดิษฐ์ AICS9205 เหมืองข้อมูล AICS9206 ข้อมูลขนาดใหญ่ AICS9207 การวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ AICS9208 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ AICS9209 การคำนวณเชิงสถิติสมัยใหม่ AICS9210 วิทยาศาสตร์เชิงคำนวณ AICS9211 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ AICS9212 คณิตศาสตร์สำหรับปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ AICS9213 การพัฒนาองค์กรด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ

ที่	ผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (Stakeholders)	ความต้องการ (Needs/ Requirements)	สรุปความต้องการ (Sum up Needs/ Requirements)	ผลลัพธ์การเรียนรู้ที่ตอบสนองต่อความต้องการ (PLOs)	รายวิชาที่ตอบสนองต่อ PLOs & YLOs
					AICS9214 หัวข้อพิเศษทางปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ AICS9402 ดุษฎีนิพนธ์ 2.1
				PLO2: ถ่ายทอดผลงานทางวิชาการ นวัตกรรมด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ ได้อย่างเชี่ยวชาญและสามารถเผยแพร่ผลงานทางวิชาการให้เป็นที่ยอมรับในระดับสากล (S3)	AICS9301 สัมมนาด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ AICS9302 สัมมนาด้าน การใช้ปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณสำหรับงานด้านการศึกษา AICS9303 สัมมนาด้าน การใช้ปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณสำหรับงานด้านสาธารณสุข AICS9304 สัมมนาด้าน การใช้ปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณสำหรับงานด้านสิ่งแวดล้อม AICS9402 ดุษฎีนิพนธ์ 2.1

2. หลักสูตรและแผนการศึกษา

2.1 จำนวนหน่วยกิตรวมตลอดหลักสูตร

- แผน 1.1 ผู้เข้าศึกษาที่สำเร็จปริญญาโท รวมตลอดหลักสูตรไม่น้อยกว่า 48 หน่วยกิต
- แผน 2.1 ผู้เข้าศึกษาที่สำเร็จปริญญาโท รวมตลอดหลักสูตรไม่น้อยกว่า 48 หน่วยกิต

2.2 โครงสร้างหลักสูตร

หมวดวิชา	**โครงสร้างหลักสูตร**	
	แผน 1.1	**แผน 2.1**
วิชาเฉพาะ		
- วิชาบังคับ	-	9
- วิชาเลือก	-	3
ดุษฎีนิพนธ์	48	36
วิชาไม่นับหน่วยกิต	(6*)	(6*)
รวมตลอดหลักสูตรไม่น้อยกว่า	**48**	**48**

* หมายเหตุ ให้เรียนโดยไม่นับหน่วยกิตและวัดผลการศึกษาเป็น S หรือ U

2.3 รายวิชา

ความหมายของเลขรหัสที่ใช้ในหลักสูตร

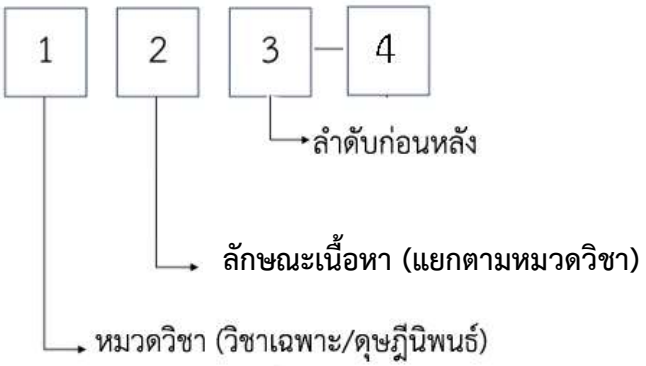
รหัสวิชาตามหลักสูตรมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

ตัวอักษร AICS ย่อมาจากคำว่า Artificial Intelligence and Computing Science
หมายถึง สาขาวิชาปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ

เลขตัวที่ 1 บ่งบอกถึงหมวดวิชา
9 หมายถึง ระดับปริญญาเอก

เลขตัวที่ 2 บ่งบอกถึงวิชาเฉพาะ
1 หมายถึง วิชาบังคับ
2 หมายถึง วิชาเลือก
3 หมายถึง วิชาไม่นับหน่วยกิต
4 หมายถึง ดุษฎีนิพนธ์

เลขตัวที่ 3 และ 4 บ่งบอกถึงลำดับก่อนหลัง



วิชาบังคับ รวม 9 หน่วยกิต (แผน 2.1 เรียน 9 หน่วยกิต)

รหัส	ชื่อวิชา	หน่วยกิต
AICS9101	วิทยาการคำนวณ (Computing Science)	3(2-2-5)
AICS9102	การเขียนโปรแกรมและหลักการอัลกอริทึม (Programming Languages and Algorithm Concepts)	3(2-2-5)
AICS9103	ทฤษฎีและการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ (Theory and Application of Artificial Intelligence)	3(2-2-5)

วิชาเลือก รวม 42 หน่วยกิต (แผน 2.1 เรียน 3 หน่วยกิต)

รหัส	ชื่อวิชา	น(ท-ป-อ)
AICS9201	การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning)	3(2-2-5)
AICS9202	การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning)	3(2-2-5)
AICS9203	ปัญญาประดิษฐ์ในเทคโนโลยีอัจฉริยะ (Artificial Intelligence in Smart Technology)	3(2-2-5)
AICS9204	การเข้าใจภาษาของปัญญาประดิษฐ์ (Natural Language Understanding in Artificial Intelligence)	3(2-2-5)
AICS9205	เหมืองข้อมูล (Introduction to Data Mining)	3(2-2-5)
AICS9206	ข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data)	3(2-2-5)
AICS9207	การวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data Analytics)	3(2-2-5)
AICS9208	การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ (Statistical Analysis)	3(2-2-5)
AICS9209	การคำนวณเชิงสถิติสมัยใหม่ (Modern Statistical Computing)	3(2-2-5)
AICS9210	วิทยาศาสตร์เชิงคำนวณ	3(2-2-5)

รหัส	ชื่อวิชา	น(ท-ป-อ)
	(Computational Science)	
AICS9211	การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Analysis)	3(2-2-5)
AICS9212	คณิตศาสตร์สำหรับปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ (Mathematics for Artificial Intelligence and Computing Science)	3(2-2-5)
AICS9213	การพัฒนาองค์กรด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ (Organization Development by using Artificial Intelligence and Computing Science)	3(2-2-5)
AICS9214	หัวข้อพิเศษทางปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ (Special Topic on Artificial Intelligence and Computing Science)	3(2-2-5)

วิชาไม่นับหน่วยกิต รวม 21 หน่วยกิต (แผน 1.1 และ 2.1 เรียน 6 หน่วยกิต)

รหัส	ชื่อวิชา	น(ท-ป-อ)
AICS9301	สัมมนาด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ (Seminar in AI and Computing Science)	3(2-2-5)
AICS9302	สัมมนาด้านการใช้ปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณสำหรับงานด้านการศึกษา (Seminar in Artificial Intelligence and Computing Science for Education)	3(2-2-5)
AICS9303	สัมมนาด้านการใช้ปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณสำหรับงานด้านวิทยาศาสตร์และสาธารณสุขศาสตร์ (Seminar in Artificial Intelligence and Computing Science for Science and Health Care)	3(2-2-5)
AICS9304	สัมมนาด้านการใช้ปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณสำหรับงานด้านสังคม ธุรกิจ การเกษตร และสิ่งแวดล้อม (Seminar in Artificial Intelligence and Computing Science for Social Sience, Bussiness, Agriculture and Environmental Subject)	3(2-2-5)

ดุษฎีนิพนธ์

รหัส	ชื่อวิชา	น(ท-ป-อ)
AICS9401	ดุษฎีนิพนธ์ 1.1 (Dissertation 1.1)	48
AICS9402	ดุษฎีนิพนธ์ 2.1 (Dissertation 2.1)	36

2.4 แผนการศึกษา

* หมายเหตุ ให้เรียนโดยไม่นับหน่วยกิตและวัดผลการศึกษาเป็น S หรือ U

2.4.1 แผน 1.1

ปีการศึกษาที่ 1 ภาคการศึกษาที่ 1						
หมวดวิชา	**รหัสวิชา**	**ชื่อวิชา**	**หน่วยกิต**	**ทฤษฎี**	**ปฏิบัติ**	**ศึกษาด้วยตนเอง**
ไม่นับหน่วยกิต	AICSxxxx	รายวิชาไม่นับหน่วยกิต	3*	2	2	5
รวม			3	2	2	5
จำนวนชั่วโมง/สัปดาห์			9			

ปีการศึกษาที่ 1 ภาคการศึกษาที่ 2						
หมวดวิชา	**รหัสวิชา**	**ชื่อวิชา**	**หน่วยกิต**	**ทฤษฎี**	**ปฏิบัติ**	**ศึกษาด้วยตนเอง**
ไม่นับหน่วยกิต	AICSxxxx	รายวิชาไม่นับหน่วยกิต	3*	2	2	5
ดุษฎีนิพนธ์	AICS9401	ดุษฎีนิพนธ์ 1.1 (Dissertation 1.1)	9	0	18	ศึกษาด้วยตนเองและ/หรือปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษารวมไม่น้อยกว่า 387 ชั่วโมง
รวม			12	2	20	5
จำนวนชั่วโมง/สัปดาห์			27			

ปีการศึกษาที่ 2 ภาคการศึกษาที่ 1						
หมวดวิชา	**รหัสวิชา**	**ชื่อวิชา**	**หน่วยกิต**	**ทฤษฎี**	**ปฏิบัติ**	**ศึกษาด้วยตนเอง**
ดุษฎีนิพนธ์	AICS9401	ดุษฎีนิพนธ์ 1.1 (Dissertation 1.1)	9	0	18	ศึกษาด้วยตนเองและ/หรือปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษารวมไม่น้อยกว่า 387 ชั่วโมง
รวม			9	0	18	
จำนวนชั่วโมง/สัปดาห์			18			

ปีการศึกษาที่ 2 ภาคการศึกษาที่ 2						
หมวดวิชา	**รหัสวิชา**	**ชื่อวิชา**	**หน่วยกิต**	**ทฤษฎี**	**ปฏิบัติ**	**ศึกษาด้วยตนเอง**
ดุษฎีนิพนธ์	AICS9401	ดุษฎีนิพนธ์ 1.1 (Dissertation 1.1)	9	0	18	ศึกษาด้วยตนเองและ/หรือปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษารวมไม่น้อยกว่า 387 ชั่วโมง
รวม			9	0	18	
จำนวนชั่วโมง/สัปดาห์			18			

ปีการศึกษาที่ 3 ภาคการศึกษาที่ 1						
หมวดวิชา	**รหัสวิชา**	**ชื่อวิชา**	**หน่วยกิต**	**ทฤษฎี**	**ปฏิบัติ**	**ศึกษาด้วยตนเอง**
ดุษฎีนิพนธ์	AICS9401	ดุษฎีนิพนธ์ 1.1 (Dissertation 1.1)	9	0	18	ศึกษาด้วยตนเอง และ/หรือปรึกษา อาจารย์ที่ปรึกษา รวมไม่น้อยกว่า 387 ชั่วโมง
รวม			9	0	18	
จำนวนชั่วโมง/สัปดาห์			18			

ปีการศึกษาที่ 3 ภาคการศึกษาที่ 2						
หมวดวิชา	**รหัสวิชา**	**ชื่อวิชา**	**หน่วยกิต**	**ทฤษฎี**	**ปฏิบัติ**	**ศึกษาด้วยตนเอง**
ดุษฎีนิพนธ์	AICS9401	ดุษฎีนิพนธ์ 1.1 (Dissertation 1.1)	12	0	18	ศึกษาด้วยตนเอง และ/หรือปรึกษา อาจารย์ที่ปรึกษา รวมไม่น้อยกว่า 532 ชั่วโมง
รวม			12	0	18	
จำนวนชั่วโมง/สัปดาห์			18			

2.4.2 แผน 2.1

ปีการศึกษาที่ 1 ภาคการศึกษาที่ 1						
หมวดวิชา	**รหัสวิชา**	**ชื่อวิชา**	**หน่วยกิต**	**ทฤษฎี**	**ปฏิบัติ**	**ศึกษาด้วยตนเอง**
บังคับ	AICS9101	วิทยาการคำนวณ (Computing Science)	3	2	2	5
บังคับ	AICS9102	การเขียนโปรแกรมและหลักการอัลกอริทึม (Programming Languages and Algorithm Concepts)	3	2	2	5
ไม่นับหน่วยกิต	AICSxxxx	รายวิชาไม่นับหน่วยกิต	3*	2	2	5
รวม			9	6	6	15
จำนวนชั่วโมง/สัปดาห์			27			

ปีการศึกษาที่ 1 ภาคการศึกษาที่ 2						
หมวดวิชา	**รหัสวิชา**	**ชื่อวิชา**	**หน่วยกิต**	**ทฤษฎี**	**ปฏิบัติ**	**ศึกษาด้วยตนเอง**
บังคับ	AICS9103	ทฤษฎีและการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ (Theory and Application of Artificial Intelligence)	3	2	2	5
เลือก	AICSxxxx	วิชาเลือก 1	3	2	2	5
ไม่นับหน่วยกิต	AICSxxxx	รายวิชาไม่นับหน่วยกิต	3*	2	2	5
รวม			9	6	6	15
จำนวนชั่วโมง/สัปดาห์			27			

ปีการศึกษาที่ 2 ภาคการศึกษาที่ 1						
หมวดวิชา	**รหัสวิชา**	**ชื่อวิชา**	**หน่วยกิต**	**ทฤษฎี**	**ปฏิบัติ**	**ศึกษาด้วยตนเอง**
ดุษฎีนิพนธ์	AICS9402	ดุษฎีนิพนธ์ 2.1 (Dissertation 2.1)	9	0	18	ศึกษาด้วยตนเองและ/หรือปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษารวมไม่น้อยกว่า 387 ชั่วโมง
รวม			9	0	18	
จำนวนชั่วโมง/สัปดาห์			18			

ปีการศึกษาที่ 2 ภาคการศึกษาที่ 2						
หมวดวิชา	**รหัสวิชา**	**ชื่อวิชา**	**หน่วยกิต**	**ทฤษฎี**	**ปฏิบัติ**	**ศึกษาด้วยตนเอง**
ดุษฎีนิพนธ์	AICS9402	ดุษฎีนิพนธ์ 2.1 (Dissertation 2.1)	9	0	18	ศึกษาด้วยตนเอง และ/หรือปรึกษา อาจารย์ที่ปรึกษา รวมไม่น้อยกว่า 387 ชั่วโมง
รวม			9	0	18	
จำนวนชั่วโมง/สัปดาห์			18			

ปีการศึกษาที่ 3 ภาคการศึกษาที่ 1						
หมวดวิชา	**รหัสวิชา**	**ชื่อวิชา**	**หน่วยกิต**	**ทฤษฎี**	**ปฏิบัติ**	**ศึกษาด้วยตนเอง**
ดุษฎีนิพนธ์	AICS9402	ดุษฎีนิพนธ์ 2.1 (Dissertation 2.1)	9	0	18	ศึกษาด้วยตนเอง และ/หรือปรึกษา อาจารย์ที่ปรึกษา รวมไม่น้อยกว่า 387 ชั่วโมง
รวม			9	0	18	
จำนวนชั่วโมง/สัปดาห์			18			

ปีการศึกษาที่ 3 ภาคการศึกษาที่ 2						
หมวดวิชา	**รหัสวิชา**	**ชื่อวิชา**	**หน่วยกิต**	**ทฤษฎี**	**ปฏิบัติ**	**ศึกษาด้วยตนเอง**
ดุษฎีนิพนธ์	AICS9402	ดุษฎีนิพนธ์ 2.1 (Dissertation 2.1)	9	0	18	ศึกษาด้วยตนเอง และ/หรือปรึกษา อาจารย์ที่ปรึกษา รวมไม่น้อยกว่า 387 ชั่วโมง
รวม			9	0	18	
จำนวนชั่วโมง/สัปดาห์			18			

3. คำอธิบายรายวิชา

1. หมวดวิชาบังคับ

รหัสวิชา	**ชื่อและคำอธิบายรายวิชา**	**น(ท-ป-อ)**
AICS9101	**วิทยาการคำนวณ**	**3(2-2-5)**
	Computing Science	

บูรณาการหลักการคำนวณทางคณิตศาสตร์ สถิติ และคอมพิวเตอร์ เพื่อการสร้างอัลกอริทึม การเขียนโปรแกรมในการคำนวณ และสถาปัตยกรรมคอมพิวเตอร์ และการประมวลผล สำหรับแก้ปัญหาผ่านการเขียนโปรแกรม เพื่อประเมินการนำไปใช้สำหรับการแก้ไขปัญหา

Integrate mathematical, statistical and computer principles for algorithm creation, computational programming and computer architecture and processing for problem solving through programming to evaluate the applicability for problem solving.

AICS9102	**การเขียนโปรแกรมและหลักการอัลกอริทึม**	**3(2-2-5)**
	Programming Languages and Algorithm Concepts	

ออกแบบโปรแกรมที่มีประสิทธิภาพด้วยหลักการของภาษาการเขียนโปรแกรมสมัยใหม่ โดยเน้นที่ภาษาที่จำเป็น เช่น Python, C, R, Java, C++ และ JavaScript ออกแบบและวิเคราะห์อัลกอริทึมโดยใช้วิธีการต่าง ๆ เช่น แบ่งและเอาชนะ ขั้นตอนวิธีแบบละโมบ กำหนดการพลวัต และเทคนิคการค้นหาพื้นฐาน

Design efficient programs using the principles of modern programming languages, focusing on imperative languages like Python, C, R, Java, C++, and JavaScript. Design and analyze algorithms using methods such as divide-and-conquer, greedy strategies, dynamic programming, and basic search techniques.

AICS9103	**ทฤษฎีและการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์**	**3(2-2-5)**
	Theory and Application of Artificial Intelligence	

บูรณาการ การออกแบบตัวแทนชาญฉลาด (Intelligent Agents) การแทนความรู้ (Knowledge Representation) และการแก้ปัญหาโดยใช้อัลกอริธึมการค้นหา (Search Algorithms) รวมถึงการอนุมานเชิงตรรกะ (Logical Reasoning) การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) ทั้งแบบมีผู้กำกับและไม่มีผู้กำกับ ระบบหลายตัวแทน (Multiagent Systems) การวางแผนในสภาพแวดล้อมที่แน่นอนและไม่แน่นอน (Planning) และการประมวลผลภาษาธรรมชาติ (Natural Language Processing) เพื่อประเมินการนำไปใช้สำหรับการแก้ไขปัญหา

Integrates principles of the design of intelligent agents, knowledge representation, and problem-solving using search algorithms. Explores logical reasoning, machine learning, multiagent systems, planning in both deterministic and uncertain environments, and natural language processing. in order to evaluate the applicability for problem solving.

2. หมวดวิชาเลือก

รหัสวิชา	**ชื่อและคำอธิบายรายวิชา**	**น(ท-ป-อ)**

AICS9201 การเรียนรู้ของเครื่อง 3(2-2-5)

Machine Learning

สร้างการเรียนรู้แบบมีผู้สอนโดยใช้เครื่องมือต่าง ๆ เช่น การถดถอยเชิงเส้น การถดถอยโลจิสติก โครงข่ายประสาทเทียม อัลกอริทึมเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด และซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชชีน ประยุกต์การใช้การเรียนรู้แบบมีผู้สอนในงานด้านต่าง ๆ สร้างการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอนโดยใช้เครื่องมือต่าง ๆ เช่น การจัดกลุ่มโดยอาศัยระยะทาง การจัดกลุ่มแบบมีลำดับชั้น การจัดกลุ่มโดยอาศัยความหนาแน่นของข้อมูล กฎความสัมพันธ์ การลดมิติข้อมูล และการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก อธิบายหลักการของการตรวจสอบไขว้ และการประเมินผลของการทำนาย ประยุกต์การเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอนในงานด้านต่าง ๆ

Create supervised learning using tools such as linear regression, logistic regression, artificial neural networks, the nearest neighbor algorithm, and support vector machines. Apply supervised learning to various fields of work. Create unsupervised learning using tools such as clustering based on distance, hierarchical clustering, clustering based on data density, relationship rules, dimension reduction, and principal component analysis. Explain the principles of cross-validation and evaluation of predictions. Apply unsupervised learning to various fields of work.

AICS9202 การเรียนรู้เชิงลึก 3(2-2-5)

Deep Learning

สร้างโครงข่ายประสาทเทียม โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ การฝึกอบรมหรือการปรับให้เหมาะสม การปรับจูนไฮเปอร์พารามิเตอร์ อัลกอริทึมสำหรับหาค่าที่เหมาะสมที่สุด โครงข่ายประสาทแบบคอนโวลูชัน โครงข่ายประสาทแบบเกิดซ้ำ หน่วยความจำระยะสั้นแบบยาว และโครงข่ายเจนเนอเรทีฟแอดเวอร์ซาเรียล อธิบายหลักการและสถาปัตยกรรมของข้อมูลขนาดใหญ่ อธิบายและยกตัวอย่างการวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่สำหรับการเรียนรู้เชิงลึก

Create a neural networks, backpropagation, regularization, hyperparameter tuning, optimization algorithms, convolutional neural networks, recurrent neural networks, long short-term memory and generative adversarial networks. Explain principles and architecture of big data. Explain and shows the examples of big data analytics for deep learning.

รหัสวิชา	ชื่อและคำอธิบายรายวิชา	น(ท-ป-อ)

AICS9203 ปัญญาประดิษฐ์ในเทคโนโลยีอัจฉริยะ 3(2-2-5)

Artificial Intelligence in Smart Technology

พัฒนาปัญญาประดิษฐ์ในเทคโนโลยีอัจฉริยะ การใช้ปัญญาประดิษฐ์ในด้านวิทยาการปัญญา ระบบผู้เชี่ยวชาญ ระบบโครงข่ายประสาท หุ่นยนต์และระบบควบคุมอัตโนมัติ อภิปรายและยกตัวอย่างการใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการสร้างนวัตกรรมเทคโนโลยีต่าง ๆ เช่น การแพทย์อัจฉริยะ เกษตรอัจฉริยะ บ้านอัจฉริยะ หุ่นยนต์และอุปกรณ์อัจฉริยะต่าง ๆ

Development artificial intelligence in smart technology, the use of artificial intelligence in cognitive science, expert systems, neural networks, robots and automatic control systems. Discuss and shows examples of artificial intelligence in creating innovative technologies such as smart medicine, smart farming, smart home, robots and various smart devices.

AICS9204 การเข้าใจภาษาของปัญญาประดิษฐ์ 3(2-2-5)

Natural Language Understanding in Artificial Intelligence

พัฒนาโมเดลที่สามารถทำงานกับข้อมูลภาษามนุษย์ ด้วยเทคนิคของปัญญาประดิษฐ์ในด้านความเข้าใจภาษาธรรมชาติ (Natural Language Understanding: NLU) รวมถึงการประมวลผลภาษาธรรมชาติ การวิเคราะห์ข้อความ การแปลงข้อความเป็นความหมายเชิงโครงสร้าง

Develop models that can work with human language data using artificial intelligence techniques in Natural Language Understanding (NLU), including natural language processing, text analysis, and text-to-structure semantics.

AICS9205 เหมืองข้อมูล 3(2-2-5)

Introduction to Data Mining

สร้างเหมืองข้อมูลโดยใช้แนวคิด เทคนิค และการประยุกต์ใช้การขุดข้อมูล ได้แก่ การประมวลผลข้อมูลเบื้องต้น การจัดกลุ่ม คลังข้อมูลและเทคโนโลยี Online Analytical Processing (OLAP) การวิเคราะห์คลัสเตอร์และเครือข่ายสังคม การจำแนกและการคาดการณ์ข้อมูล การการทำเหมืองเว็บ

Create data mining using data mining concepts, techniques and applications, including preliminary data processing, clustering, data warehouse and Online Analytical Processing (OLAP) technology, cluster and social network analysis, data classification and prediction, multimedia and web mining.

รหัสวิชา	ชื่อและคำอธิบายรายวิชา	น(ท-ป-อ)

AICS9206 ข้อมูลขนาดใหญ่ 3(2-2-5)

Big Data

บูรณาการทำงานของโซลูชันข้อมูลขนาดใหญ่ที่เกิดขึ้นใหม่ในมิติต่าง ๆ อธิบายภาพรวมของแอปพลิเคชันข้อมูลขนาดใหญ่ ตั้งแต่การรวบรวม การจัดเก็บ การจัดการ และการถ่ายโอน โดยเน้นที่เทคโนโลยี เครื่องมือ และแพลตฟอร์มที่ล้ำสมัย ที่ประกอบเป็นโซลูชันการประมวลผลของข้อมูลขนาดใหญ่

Integrating the operation of emerging Big Data solutions in various dimensions. It explains the overview of Big Data applications, from data acquisition, storage, management and transfer. It emphasizes cutting-edge technologies, tools, and platforms that make up Big Data processing solutions.

AICS9207 การวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ 3(2-2-5)

Big Data Analysis

บูรณาการการใช้เหมืองข้อมูลเพื่ออธิบายลักษณะและความสัมพันธ์ในข้อมูล การใช้เครื่องมือและเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ การใช้ซอฟต์แวร์วิเคราะห์ การเขียนโปรแกรมและการปรับแต่งอัลกอริทึมเพื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลในรูปแบบที่เหมาะสม

Integrating the use of data mining to explain the characteristics and relationships within the data. Show the use of tools and related technologies in big data analysis, using analytical software, programming, and tuning algorithms to analyze data in appropriate ways.

AICS9208 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ 3(2-2-5)

Statistical Analysis

บูรณาการการใช้เทคนิคทางสถิติที่ครอบคลุมสถิติเชิงพรรณนา สถิติเชิงอนุมาน การวิเคราะห์ความสัมพันธ์และการถดถอย เทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูลหลายตัวแปร และวิธีการทางสถิติขั้นสูงที่เกี่ยวข้องในการประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูลในปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ บูรณาการและประยุกต์ใช้ซอฟต์แวร์ทางสถิติและความรู้ทางสถิติร่วมกับศาสตร์อื่นเพื่อพัฒนานวัตกรรมหรือแก้ปัญหาวิจัยที่ซับซ้อนอย่างเป็นระบบ และสื่อสารผลการวิเคราะห์อย่างมีประสิทธิภาพ

Integrating s the use of statistical techniques, covering descriptive statistics, inferential statistics, correlation and regression analysis, multivariate data analysis, and advanced statistical methods relevant to data processing and analysis in artificial intelligence (AI) and computing science. Integrate and apply statistical software tools and statistical knowledge across disciplines to develop innovations or systematically solve complex research problems and effectively communicate statistical analysis results.

รหัสวิชา	ชื่อและคำอธิบายรายวิชา	น(ท-ป-อ)

AICS9209 การคำนวณเชิงสถิติสมัยใหม่ 3(2-2-5)

Modern Statistical Computing

บูรณาการการใช้เทคนิคการคำนวณเชิงสถิติที่ทันสมัยสำหรับ การจัดการข้อมูลขนาดใหญ่และการคำนวณทางสถิติที่มีประสิทธิภาพในบริบทของปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ ครอบคลุมหัวข้อสำคัญ ได้แก่ทฤษฎีความน่าจะเป็น, กระบวนการสุ่ม, วิธีมอนติคาร์โล, การอนุมานแบบเบย์, เทคนิค Resampling , การวิเคราะห์ข้อมูลมิติสูงและวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงคำนวณ บูรณาการและพัฒนาอัลกอริธึมทางสถิติผ่านเครื่องมือคำนวณเชิงตัวเลข เช่น R, Python และซอฟต์แวร์เฉพาะทาง เพื่อให้สามารถออกแบบและดำเนินการ การคำนวณทางสถิติที่ซับซ้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Integrating the use of modern statistical computing techniques for big data management and efficient statistical computation in the context of artificial intelligence and computing science. The course covers key topics such as probability theory, stochastic processes, Monte Carlo methods, Bayesian inference, resampling techniques, high-dimensional data analysis, and optimization methods. Integrate and develop statistical algorithms using computational tools such as R, Python, and specialized statistical software to design and implement complex statistical computations effectively.

AICS9210 วิทยาศาสตร์เชิงคำนวณ 3(2-2-5)

Computational Science

สร้างองค์ความรู้ทางด้านคณิตศาสตร์ สถิติ เทคโนโลยีสารสนเทศและวิทยาการคอมพิวเตอร์เพื่อแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ ปัญหาทางฟิสิกส์เชิงคำนวณ ปัญหาทางเคมีเชิงคำนวณ หรือปัญหาทางชีววิทยาเชิงคำนวณ ได้อย่างชำนาญ

Create knowledge in mathematics, statistics, information technology and computer science to solve scientific problems, computational physics problems, computational chemistry problems or computational biology problems skillfully.

AICS9211 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ 3(2-2-5)

Spatial Analysis

สร้างและวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) เช่น การกระจายตัวของปรากฏการณ์ การวิเคราะห์กลุ่ม (Clustering) และรูปแบบเชิงพื้นที่ รวมถึงการสร้างและวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ การสร้างแบบจำลองเชิงพื้นที่ (Spatial Modeling) และการวิเคราะห์ข้อมูลหลายตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่ (Multivariate Spatial Analysis) เน้นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ เช่น การวิเคราะห์ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม (Remote Sensing)

Create and analyze spatial data using geographic information systems (GIS), such as phenomena distribution, clustering analysis and spatial patterns, as well as spatial data creation and analysis, spatial modeling and multivariate spatial analysis. Emphasis is placed on the application of geographic information technology, such as analysis of data from satellite images (Remote Sensing).

รหัสวิชา	ชื่อและคำอธิบายรายวิชา	น(ท-ป-อ)

AICS9212 คณิตศาสตร์สำหรับปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ 3(2-2-5)
Mathematics for Artificial Intelligence and Computing Science

ประเมินการใช้ พีชคณิตเชิงเส้น แคลคูลัส สถิติและความน่าจะเป็น ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข การหาค่าที่เหมาะสมที่สุด และตรรกศาสตร์เชิงคำนวณ และประยุกต์ใช้แนวคิดเหล่านี้ในอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่อง ระบบเครือข่ายประสาทเทียมและเทคนิคการคำนวณขั้นสูงอื่น ๆ พร้อมทั้งฝึกปฏิบัติผ่านการแก้ปัญหาจริงในอุตสาหกรรมและงานวิจัย

Evaluate the use linear algebra, calculus, statistics and probability, numerical methods, optimization and computational logic, and application of these concepts in machine learning algorithms, neural networks and other advanced computational techniques, with practical training through solving real problems in industry and research.

AICS9213 การพัฒนาองค์กรด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ 3(2-2-5)
Digital Transformation using Artificial Intelligence and Computing Science

สร้างกลยุทธ์ในการปรับเปลี่ยนองค์กรเข้าสู่ยุคดิจิทัล เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความสามารถในการแข่งขันโดยนำเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ มาประยุกต์ใช้ในกระบวนการธุรกิจ การพัฒนาวัฒนธรรมองค์กรที่ขับเคลื่อนด้วยดิจิทัล และการจัดการการเปลี่ยนแปลง ฝึกทักษะการวางแผนกลยุทธ์ดิจิทัล การประเมินผลกระทบของเทคโนโลยีที่มีต่อองค์กร และการสร้างนวัตกรรมเพื่อความยั่งยืนในยุคเศรษฐกิจดิจิทัล

Create strategies to transform organizations into the digital age to increase efficiency and competitiveness by applying artificial intelligence and computing technologies to business processes, the development of a digitally driven organizational culture, and change management. Practice digital strategic planning skills assess the impact of technology on the organization, and create innovations for sustainability in digital economy era.

AICS9214 หัวข้อพิเศษทางปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ 3(2-2-5)
Special Topic on Artificial Intelligence and Computing Science

บูรณาการองค์ความรู้ทางด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ เพื่อแก้ไขปัญหาในหัวข้อที่น่าสนใจในปัจจุบันโดยการประยุกต์ทางด้านวิทยาศาสตร์ วิศวกรรม ธุรกิจ หรือสุขภาพ อภิปราย จัดทำรายงานและเสนอแนวทางการพัฒนางานวิจัยเกี่ยวกับหัวข้อที่เลือกศึกษาภายใต้คำแนะนำของอาจารย์ที่ปรึกษา

Integrate knowledge in artificial intelligence and computational science to solve problems in current topics of interest through applications in science, engineering, business or health. Discuss, prepare reports and propose research development guidelines on selected study topics under the guidance of an advisor.

3. หมวดวิชาไม่นับหน่วยกิต

รหัสวิชา	**ชื่อและคำอธิบายรายวิชา**	**น(ท-ป-อ)**
AICS9301	**สัมมนาด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ** **Seminar on Artificial Intelligence and Computing Science**	**3(2-2-5)**

ถ่ายทอดนวัตกรรมหรืองานวิจัยทางปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณในบริบทต่าง ๆ เช่น การแก้ปัญหาทางธุรกิจ การพัฒนานวัตกรรม และการสนับสนุนการวิจัยเชิงลึก พร้อมทั้งพัฒนาความสามารถในการวิเคราะห์ ประเมินผล และนำเสนอแนวคิดเชิงสร้างสรรค์ในรูปแบบสัมมนา ได้อย่างสมบูรณ์ ตลอดจนแสดงออกถึงการยึดมั่นในหลักคุณธรรม จริยธรรม และจรรยาบรรณที่เหมาะสมสำหรับนักวิจัย

Convey innovations or research in artificial intelligence and computer science in various contexts, such as solving business problems, developing innovations, and supporting in-depth research, while also developing the ability to analyze, evaluate, and present creative ideas in seminar formats comprehensively, as well as demonstrating adherence to the principles of morality, ethics, and appropriate conduct for researchers.

AICS9302	**สัมมนาด้านการใช้ปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณสำหรับงานด้านการศึกษา** **Seminar in Artificial Intelligence and Computing Science for Education**	**3(2-2-5)**

ถ่ายทอดนวัตกรรมหรืองานวิจัยทางปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณในบริบทด้านการศึกษา และนำเสนอแนวคิดเชิงสร้างสรรค์ในรูปแบบสัมมนาได้อย่างสมบูรณ์ ส่งเสริมการแสดงออกถึงสภาวะผู้นำในงานวิจัยและวิชาชีพโดยเน้นการยึดมั่นในหลักคุณธรรม จริยธรรม และจรรยาบรรณที่เหมาะสมสำหรับนักวิจัย

Convey innovations or research in artificial intelligence and computer science in the educational context and present creative ideas in the form of seminars effectively. Promote the demonstration of leadership in research and profession by emphasizing adherence to appropriate principles of morality, ethics, and professional conduct for researchers.

รหัสวิชา	ชื่อและคำอธิบายรายวิชา	น(ท-ป-อ)

AICS9303 **สัมมนาด้านการใช้ปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณสำหรับงานด้านวิทยาศาสตร์และสาธารณสุขศาสตร์** **3(2-2-5)**

Seminar in Artificial Intelligence and Computing Science for Science and Health Care

ถ่ายทอดนวัตกรรมหรืองานวิจัยทางปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณในบริบทด้านด้านวิทยาศาสตร์และสาธารณสุขศาสตร์ นำเสนอแนวคิดเชิงสร้างสรรค์ในรูปแบบสัมมนาได้อย่างสมบูรณ์ ส่งเสริมการแสดงออกถึงสภาวะผู้นำในงานวิจัยและวิชาชีพโดยเน้นการยึดมั่นในหลักคุณธรรม จริยธรรม และจรรยาบรรณที่เหมาะสมสำหรับนักวิจัย

Convey innovations or research in artificial intelligence and computer science within the context of science and public health. Present creative ideas in a seminar format effectively. Promote the demonstration of leadership in research and profession by emphasizing adherence to appropriate principles of morality, ethics, and professional conduct for researchers.

AICS9304 **สัมมนาด้านการใช้ปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณสำหรับงานด้านสังคม ธุรกิจ การเกษตร และสิ่งแวดล้อม** **3(2-2-5)**

Seminar in Artificial Intelligence and Computing Science for Social Sience, Bussiness, Agriculture and Environmental Subject

ถ่ายทอดนวัตกรรมหรืองานวิจัยทางปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณในบริบทด้านสังคม ธุรกิจ การเกษตร และสิ่งแวดล้อม นำเสนอแนวคิดเชิงสร้างสรรค์ในรูปแบบสัมมนาได้อย่างสมบูรณ์ ส่งเสริมการแสดงออกถึงสภาวะผู้นำในงานวิจัยและวิชาชีพโดยเน้นการยึดมั่นในหลักคุณธรรม จริยธรรม และจรรยาบรรณที่เหมาะสมสำหรับนักวิจัย

Convey innovations or research in artificial intelligence and computer science in the contexts of society, business, agriculture, and the environment. Present creative ideas in a seminar format effectively. Promote the demonstration of leadership in research and profession by emphasizing adherence to appropriate principles of morality, ethics, and professional conduct for researchers.

4. หมวดวิชาดุษฎีนิพนธ์

รหัสวิชา	**ชื่อและคำอธิบายรายวิชา**	**น(ท-ป-อ)**
AICS9401	**ดุษฎีนิพนธ์ 1.1** **Dissertation 1.1**	**48 หน่วยกิต**

สร้างองค์ความรู้ใหม่ หรือกระบวนการใหม่ หรือนวัตกรรมใหม่ในองค์กร ที่สามารถแก้ปัญหาที่ยังไม่มีคำตอบหรือสามารถขยายผลต่อไปในอนาคต ผ่านกระบวนการศึกษาองค์ประกอบดุษฎีนิพนธ์ ค้นคว้า ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง กำหนดประเด็นโจทย์/หัวข้อดุษฎีนิพนธ์ พัฒนาเอกสารแสดงความคิดรวบยอดเกี่ยวกับดุษฎีนิพนธ์ และจัดทำผลการสังเคราะห์เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พัฒนาเครื่องมือและวิธีการวิจัย จัดทำโครงร่างดุษฎีนิพนธ์ เพื่อนำเสนอต่อที่ปรึกษา เก็บรวบรวมข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูล รายงานความก้าวหน้าดุษฎีนิพนธ์ต่ออาจารย์ที่ปรึกษาดุษฎีนิพนธ์ จัดทำดุษฎีนิพนธ์สมบูรณ์และบทความวิจัยเพื่อเผยแพร่ผลงานทางวิชาการให้เป็นที่ยอมรับในระดับสากล ตามเกณฑ์สำเร็จการศึกษา

Create new knowledge, new processes, or new innovations that can solve unresolved problems in organization or be further expanded in the future. This is achieved through the study of dissertation components, research, literature review, and related studies. It involves identifying research problems/topics, developing a concept paper related to the dissertation, and synthesizing relevant documents and research. Additionally, it includes developing research tools and methodologies, preparing a dissertation proposal for presentation to the advisor, collecting and analyzing data, reporting dissertation progress to the advisor, refining data analysis, and ultimately producing a complete dissertation and a research article for publication in accordance with graduation requirements.

รหัสวิชา	ชื่อและคำอธิบายรายวิชา	น(ท-ป-อ)
AICS9402	ดุษฎีนิพนธ์ 2.1 Dissertation 2.1	36 หน่วยกิต

สร้างองค์ความรู้ หรือกระบวนการ หรือนวัตกรรม โดยประยุกต์ใช้ทฤษฎีและเครื่องมือที่มีอยู่แล้วเพื่อแก้ปัญหาที่ยังไม่มีคำตอบหรือสามารถขยายผลต่อไปในอนาคต ผ่านกระบวนการศึกษาองค์ประกอบวิทยานิพนธ์ ค้นคว้า ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง กำหนดประเด็นโจทย์/หัวข้อวิทยานิพนธ์ พัฒนาเอกสารแสดงความคิดรวบยอดเกี่ยวกับวิทยานิพนธ์ และจัดทำผลการสังเคราะห์เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พัฒนาเครื่องมือและวิธีการวิจัย จัดทำโครงร่างวิทยานิพนธ์ เพื่อนำเสนอต่อที่ปรึกษา เก็บรวบรวมข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูล รายงานความก้าวหน้าวิทยานิพนธ์ต่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ จัดทำวิทยานิพนธ์สมบูรณ์ และบทความวิจัยเพื่อเผยแพร่ผลงานทางวิชาการให้เป็นที่ยอมรับในระดับสากล ตามเกณฑ์สำเร็จการศึกษา

Apply existing theories and tools to create knowledge, processes, or innovations to solve unresolved problems or expand their applications in the future. This is achieved through the study of dissertation components, research, literature review, and related studies. It involves identifying research problems/topics, developing a concept paper related to the dissertation, and synthesizing relevant documents and research. Additionally, it includes developing research tools and methodologies, preparing a dissertation proposal for presentation to the advisor, collecting and analyzing data, reporting dissertation progress to the advisor, refining data analysis, and ultimately producing a complete dissertation and a research article for publication in accordance with graduation requirements.

4. การพัฒนาผลการเรียนรู้ในแต่ละด้าน

4.1 การพัฒนาผลลัพธ์การเรียนรู้ตามมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษา พุทธศักราช 2565

การพัฒนาผลการเรียนรู้แต่ละด้านในรายวิชาหมวดวิชาศึกษาทั่วไป กำหนดผลการเรียนรู้ (Learning Outcomes) 4 ด้าน ดังนี้

ด้าน	มาตรฐานผลการเรียนรู้	กลยุทธ์การสอน	กลยุทธ์การประเมินผลการเรียนรู้
ความรู้	1) อธิบายแนวคิดพื้นฐานของปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณในเชิงทฤษฎีและการประยุกต์ใช้งานจริงในหลากหลายบริบทได้ 2) วิเคราะห์กรอบแนวคิดและวิธีการเชิงวิทยาศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาหัวข้อวิจัยในปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณได้อย่างชัดเจน 3) เชื่อมโยงและบูรณาการความรู้ในปัญญาประดิษฐ์กับศาสตร์อื่น ๆ เพื่อสร้างองค์ความรู้ใหม่ที่มีคุณค่าในระดับสากล	1) การบรรยายเชิงลึก (In-Depth Lectures) 2) การเรียนรู้จากกรณีศึกษา (Case Studies) 3) การเรียนรู้ผ่านการวิจัย (Research-Based Learning) 4) การเชิญผู้เชี่ยวชาญ (Guest Lectures) 5) การอภิปรายกลุ่ม (Group Discussion)	1) การสอบข้อเขียน (Written Exams) 2) การประเมินการทบทวนวรรณกรรม (Literature Review) 3) การประเมินจากการนำเสนอ (Presentations) 4) การพัฒนาโครงร่างงานวิจัย (Research Proposal)
ทักษะ	1) สามารถบูรณาการความรู้ในสาขาปัญญาประดิษฐ์ วิทยาการคำนวณและศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำไปสู่การออกแบบงานวิจัย การสร้างแบบจำลอง และการแก้ปัญหาซับซ้อนหรือพัฒนานวัตกรรมที่มีผลกระทบเชิงบวกในระดับสากลได้อย่างมีประสิทธิภาพ 2) สื่อสารผลการวิจัยและแนวคิดทางวิชาการในรูปแบบที่หลากหลาย เช่น การนำเสนอในที่ประชุม การเขียนบทความเชิงวิชาการ และการตีพิมพ์ในวารสารวิชาการที่ได้รับการยอมรับในระดับสากลได้อย่างมีประสิทธิภาพ	1) การบรรยายเชิงลึก (In-Depth Lectures) 2) การเรียนรู้จากกรณีศึกษา (Case Studies) 3) การเรียนรู้ผ่านการวิจัย (Research-Based Learning) 4) การเชิญผู้เชี่ยวชาญ (Guest Lectures) 5) การฝึกเขียนบทความวิชาการ (Academic Writing Workshops) 6) การฝึกนำเสนอและอภิปราย (Presentation and Discussion)	1) การสอบข้อเขียน (Written Exams) 2) การพัฒนาโครงร่างงานวิจัย (Research Proposal

ด้าน	มาตรฐานผลการเรียนรู้	กลยุทธ์การสอน	กลยุทธ์การประเมินผลการเรียนรู้
จริยธรรม	1) แสดงออกถึงความเป็นผู้นำในด้านจริยธรรมโดยการปฏิบัติตนเป็นแบบอย่างในฐานะนักวิจัยที่ยึดมั่นในจรรยาบรรณวิชาชีพ มีความรับผิดชอบต่อสังคม และสามารถส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์อย่างมีจริยธรรมเพื่อประโยชน์ต่อส่วนรวมและการพัฒนาสังคม	1) การอภิปรายกลุ่มและสัมมนา (Group Discussion and Seminar) การเรียนรู้จากกรณีศึกษา (Case Studies) 2) การเรียนรู้ผ่านการวิจัย (Research-Based Learning) 3) บูรณาการจริยธรรมกับการปฏิบัติจริง (Ethics in Practice)	1) การประเมินโครงการด้านจริยธรรม (Ethical Project Evaluation) 2) การประเมินพฤติกรรมเชิงจริยธรรม (Ethics-Based Behavioral Assessment)
ลักษณะบุคคล	1) มีความใฝ่รู้และกระตือรือร้นในการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณร่วมกับศาสตร์อื่น ๆ เพื่อพัฒนานวัตกรรมและสร้างความรู้ใหม่ด้วยความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ 2) มีความมุ่งมั่นและความรับผิดชอบต่อการบูรณาการความรู้ด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ เพื่อนำไปสู่การพัฒนานวัตกรรมหรือการแก้ปัญหาซับซ้อนในงานวิจัย 3) มีความมั่นใจในการสื่อสารผลงานทางวิชาการ และมีความมุ่งมั่นในการสร้างมาตรฐานผลงานที่สามารถตีพิมพ์หรือเผยแพร่ในระดับสากล 4) แสดงความเป็นผู้นำที่มีคุณธรรมและมีความรับผิดชอบต่อสังคม โดยส่งเสริมการปฏิบัติตามจรรยาบรรณวิชาชีพด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ	1) การเรียนรู้จากกรณีศึกษา (Case Studies) 2) การเรียนรู้ผ่านการวิจัย (Research-Based Learning) 3) การกระตุ้นความคิดสร้างสรรค์ (Creative Thinking Exercises) 4) การทำงานกลุ่มแบบข้ามสาขา (Interdisciplinary Teamwork) 5) การฝึกสื่อสารวิชาการ (Academic Communication Training) 6) การเรียนรู้เชิงจริยธรรม (Ethics-Based Learning)	1) การประเมินการนำเสนอ (Presentation Assessment) 2) การประเมินการทำงานกลุ่ม (Teamwork Assessment) 3) การประเมินงานวิจัย (Research Evaluation) 4) การประเมินบทความวิชาการ (Academic Article Assessment) 5) การประเมินพฤติกรรมเชิงจริยธรรม (Ethics-Based Behavioral Assessment)

4.2 กลยุทธ์การสอนและกลยุทธ์การประเมินผลลัพธ์การเรียนรู้ (PLOs)

แผน 1.1

PLOs	รายละเอียด	กลยุทธ์การสอน	กลยุทธ์การประเมิน
PLO1	สร้างนวัตกรรมใหม่ในองค์กร หรือการวิจัยเพื่อพัฒนาองค์ความรู้ใหม่ที่เชื่อมโยงความรู้จากหลากหลายศาสตร์ ในงานวิจัยปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณได้ (K6)	1) การเรียนรู้จากกรณีศึกษา (Case Studies) 2) การเรียนรู้ผ่านการวิจัย (Research-Based Learning) 3) การเชิญผู้เชี่ยวชาญ (Guest Lectures) 4) การอภิปรายกลุ่ม (Group Discussion)	1) ประเมินการพัฒนาและเสนอโครงร่างงานวิจัย (Research Proposal) 2) ประเมินการพัฒนาและสอบปกป้องดุษฎีนิพนธ์
PLO2	ถ่ายทอดผลงานทางวิชาการ นวัตกรรม ด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ ได้อย่างเชี่ยวชาญและสามารถเผยแพร่ผลงานทางวิชาการให้เป็นที่ยอมรับในระดับสากล (S3)	1) การเชิญผู้เชี่ยวชาญ (Guest Lectures) 2) การฝึกเขียนบทความวิชาการ (Academic Writing Workshops) 3) การฝึกนำเสนอและอภิปราย (Presentation and Discussion)	1) การประเมินจากการนำเสนอ (Presentations) 2) การประเมินผลการตีพิมพ์ (Publication Success)
PLO3	แสดงออกถึงภาวะผู้นำด้านคุณธรรม จริยธรรม และจรรยาบรรณของนักวิจัยด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ (A5)	1) การอภิปรายกลุ่มและสัมมนา (Group Discussion and Seminar) การเรียนรู้จากกรณีศึกษา (Case Studies) 2) การเรียนรู้ผ่านการวิจัย (Research-Based Learning) 3) บูรณาการจริยธรรมกับการปฏิบัติจริง (Ethics in Practice)	1) การประเมินโครงการด้านจริยธรรม (Ethical Project Evaluation) 2) การประเมินพฤติกรรมเชิงจริยธรรม (Ethics-Based Behavioral Assessment)

แผน 2.1

PLOs	รายละเอียด	กลยุทธ์การสอน	กลยุทธ์การประเมิน
PLO1	พัฒนานวัตกรรมใหม่ในองค์กร หรือการวิจัยเพื่อพัฒนาองค์ความรู้ใหม่ผ่านการ บูรณาการศาสตร์หลากหลายกับองค์ความรู้ด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณเพื่อตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสังคมและท้องถิ่น (K6)	1) การบรรยายเชิงลึก (In-Depth Lectures) 2) การเรียนรู้จากกรณีศึกษา (Case Studies) 3) การเรียนรู้ผ่านการวิจัย (Research-Based Learning) 4) การเชิญผู้เชี่ยวชาญ (Guest Lectures) 5) การอภิปรายกลุ่ม (Group Discussion)	1) การสอบข้อเขียน (Written Exams) 2) ประเมินการพัฒนาและเสนอโครงร่างงานวิจัย (Research Proposal) 3) ประเมินการพัฒนาและสอบปกป้องดุษฎีนิพนธ์
PLO2	ถ่ายทอดผลงานทางวิชาการ นวัตกรรม ด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ ได้อย่างเชี่ยวชาญและสามารถเผยแพร่ผลงานทางวิชาการให้เป็นที่ยอมรับในระดับสากล (S3)	1) การเชิญผู้เชี่ยวชาญ (Guest Lectures) 2) การฝึกเขียนบทความวิชาการ (Academic Writing Workshops) 3) การฝึกนำเสนอและอภิปราย (Presentation and Discussion)	1) การประเมินจากการนำเสนอ (Presentations) 2) การประเมินผลการตีพิมพ์ (Publication Success)
PLO3	แสดงออกถึงภาวะผู้นำด้านคุณธรรม จริยธรรม และจรรยาบรรณของนักวิจัยด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ (A5)	1) การอภิปรายกลุ่มและสัมมนา (Group Discussion and Seminar) การเรียนรู้จากกรณีศึกษา (Case Studies) 2) การเรียนรู้ผ่านการวิจัย (Research-Based Learning) 3) บูรณาการจริยธรรมกับการปฏิบัติจริง (Ethics in Practice)	1) การประเมินโครงการด้านจริยธรรม (Ethical Project Evaluation) 2) การประเมินพฤติกรรมเชิงจริยธรรม (Ethics-Based Behavioral Assessment)

4.3 แผนที่แสดงการกระจายความรับผิดชอบผลลัพธ์การเรียนรู้จากหลักสูตรสู่รายวิชา (Curriculum Mapping)

แผน 1.1

รหัสวิชา	ชื่อวิชา	ผลลัพธ์การเรียนรู้เชิงสมรรถนะที่คาดหวัง (Program Learning Outcomes (PLOs))		
		PLO1	PLO2	PLO3
กลุ่มวิชาบังคับ				
AICS9101	วิทยาการคำนวณ (Computing Science)	K5		
AICS9102	การเขียนโปรแกรมและหลักการอัลกอริทึม (Programming Languages and Algorithm Concepts)	K4		
AICS9103	ทฤษฎีและการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ (Theory and Application of Artificial Intelligence)	K5		
กลุ่มวิชาเลือกเรียน				
AICS9201	การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning)	K4		
AICS9202	การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning)	K4		
AICS9203	ปัญญาประดิษฐ์ในเทคโนโลยีอัจฉริยะ (Artificial Intelligence in Smart Technology)	K4		
AICS9204	การเข้าใจภาษาของปัญญาประดิษฐ์ (Natural Language Understanding in Artificial Intelligence)	K4		
AICS9205	เหมืองข้อมูล (Introduction to Data Mining)	K4		
AICS9206	ข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data)	K4		
AICS9207	การวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data Analytics)	K4		
AICS9208	การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ (Statistical Analysis)	K6		
AICS9209	การคำนวณเชิงสถิติสมัยใหม่ (ต้องใน popability and stocastic process) (Modern Statistical Computing)	K6		
AICS9210	วิทยาศาสตร์เชิงคำนวณ (Computational Science)	K6		
AICS9211	การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่	K6		

รหัสวิชา	ชื่อวิชา	ผลลัพธ์การเรียนรู้เชิงสมรรถนะที่คาดหวัง (Program Learning Outcomes (PLOs))		
		PLO1	PLO2	PLO3
	(Spatial Analysis)			
AICS9212	คณิตศาสตร์สำหรับปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ (Mathematics for Artificial Intelligence and Computing Science)	K5		
AICS9213	การพัฒนาองค์กรด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ (Organization Development by using Artificial Intelligence and Computing Science)	K6		
AICS9214	หัวข้อพิเศษทางปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ (Special Topic on Artificial Intelligence and Computing Science)	K4		
หมวดวิชาไม่นับหน่วยกิต				
AICS9301	สัมมนาด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ (Seminar in Artificial Intelligence and Computing Science)		S3	A5
AICS9302	สัมมนาด้านการใช้ปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณสำหรับงานด้านการศึกษา (Seminar in Artificial Intelligence and Computing Science for Education)		S3	A5
AICS9303	สัมมนาด้านการใช้ปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณสำหรับงานด้านวิทยาศาสตร์และสาธารณสุขศาสตร์ (Seminar in Artificial Intelligence and Computing Science for Science and Health Care)		S3	A5
AICS9304	สัมมนาด้านการใช้ปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณสำหรับงานด้านสังคม ธุรกิจ การเกษตร และสิ่งแวดล้อม (Seminar in Artificial Intelligence and Computing Science for Social Sience, Bussiness, Agriculture and Environmental Subject)		S3	A5
หมวดวิชาดุษฎีนิพนธ์				
AICS9401	ดุษฎีนิพนธ์ 1.1 (Dissertation 1.1)	K6	S3	A5
AICS9402	ดุษฎีนิพนธ์ 2.1 (Dissertation 2.1)	K6	S3	A5

แผน 2.1

รหัสวิชา	ชื่อวิชา	ผลลัพธ์การเรียนรู้เชิงสมรรถนะที่คาดหวัง (Program Learning Outcomes (PLOs))		
		PLO1	PLO2	PLO3
กลุ่มวิชาเลือกเรียน				
AICS9101	วิทยาการคำนวณ (Computing Science)	K5		
AICS9102	การเขียนโปรแกรมและหลักการอัลกอริทึม (Programming Languages and Algorithm Concepts)	K4		
AICS9103	ทฤษฎีและการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ (Theory and Application of Artificial Intelligence)	K5		
AICS9201	การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning)	K4		
AICS9202	การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning)	K4		
AICS9203	ปัญญาประดิษฐ์ในเทคโนโลยีอัจฉริยะ (Artificial Intelligence in Smart Technology)	K4		
AICS9204	การเข้าใจภาษาของปัญญาประดิษฐ์ (Natural Language Understanding in Artificial Intelligence)	K4		
AICS9205	เหมืองข้อมูล (Introduction to Data Mining)	K4		
AICS9206	ข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data)	K4		
AICS9207	การวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data Analytics)	K4		
AICS9208	การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ (Statistical Analysis)	K6		
AICS9209	การคำนวณเชิงสถิติสมัยใหม่ (ต้องใน popability and stocastic process) (Modern Statistical Computing)	K6		
AICS9210	วิทยาศาสตร์เชิงคำนวณ (Computational Science)	K6		
AICS9211	การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Analysis)	K6		
AICS9212	คณิตศาสตร์สำหรับปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ (Mathematics for Artificial Intelligence and Computing	K5		

รหัสวิชา	ชื่อวิชา	ผลลัพธ์การเรียนรู้เชิงสมรรถนะที่คาดหวัง (Program Learning Outcomes (PLOs))		
		PLO1	PLO2	PLO3
	Science)			
AICS9213	การพัฒนาองค์กรด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ (Organization Development by using Artificial Intelligence and Computing Science)	K6		
AICS9214	หัวข้อพิเศษทางปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ (Special Topic on Artificial Intelligence and Computing Science)	K4		
หมวดวิชาไม่นับหน่วยกิต				
AICS9301	สัมมนาด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ (Seminar in Artificial Intelligence and Computing Science)		S3	A5
AICS9302	สัมมนาด้านการใช้ปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณสำหรับงานด้านการศึกษา (Seminar in Artificial Intelligence and Computing Science for Education)		S3	A5
AICS9303	สัมมนาด้านการใช้ปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณสำหรับงานด้านวิทยาศาสตร์และสาธารณสุขศาสตร์ (Seminar in Artificial Intelligence and Computing Science for Science and Health Care)		S3	A5
AICS9304	สัมมนาด้านการใช้ปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณสำหรับงานด้านสังคม ธุรกิจ การเกษตร และสิ่งแวดล้อม (Seminar in Artificial Intelligence and Computing Science for Social Sience, Bussiness, Agriculture and Environmental Subject)		S3	A5
หมวดวิชาดุษฎีนิพนธ์				
AICS9401	ดุษฎีนิพนธ์ 1.1 (Dissertation 1.1)	K6	S3	A5
AICS9402	ดุษฎีนิพนธ์ 2.1 (Dissertation 2.1)	K6	S3	A5

5. การพัฒนาคุณลักษณะพิเศษของนักศึกษา

คุณลักษณะพิเศษ	กลยุทธ์	กิจกรรม	หลักฐานและตัวบ่งชี้
แก้ไขปัญหาอย่างสร้างสรรค์ มีความเป็นผู้นำเชิงนวัตกรรม และเชี่ยวชาญทักษะ IT ในระดับสูง โดยเน้นการประยุกต์ใช้องค์ความรู้	**- การเรียนรู้เชิงรุก (Active Learning)** แนวทางที่มุ่งให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในกระบวนการเรียนรู้ผ่านกิจกรรมที่กระตุ้นการคิดวิเคราะห์และแก้ปัญหา แทนที่จะเป็นการรับข้อมูลแบบทางเดียว ผู้เรียนจะต้องลงมือปฏิบัติ เช่น การแก้โจทย์ปัญหา การอภิปราย หรือการทดลองปฏิบัติจริง วิธีนี้ช่วยพัฒนาทักษะการคิดเชิงวิเคราะห์และกาประยุกต์ใช้ความรู้ในสถานการณ์จริง **- การเรียนรู้ร่วมกัน (Collaborative Learning)** ผู้เรียนทำงานร่วมกันเพื่อแลกเปลี่ยนความคิดเห็นและแก้ปัญหาไปพร้อมกัน กิจกรรมมักอยู่ในรูปแบบของการทำโครงการกลุ่ม การเรียนแบบเพื่อนช่วยเพื่อน (Peer Learning) หรือการอภิปรายเป็นทีม การเรียนรู้ลักษณะนี้ช่วยพัฒนาทักษะการสื่อสาร ความเป็นผู้นำ และความสามารถในการทำงานร่วมกับผู้อื่น **- การเรียนรู้แบบบูรณาการ (Integrated**	**- Hackathon หรือ Coding Camp** เวิร์กชอปที่ให้ผู้เรียนทำงานพัฒนาซอฟต์แวร์หรือระบบ AI ภายในระยะเวลาที่กำหนด เช่น 24-48 ชั่วโมง ผู้เรียนจะต้องร่วมมือกันในทีมเพื่อคิดค้นไอเดีย พัฒนาโค้ด และนำเสนอผลงาน ซึ่งช่วยเสริมสร้างทักษะการทำงานเป็นทีม การแก้ปัญหาอย่างรวดเร็ว และการคิดสร้างสรรค์ **- การเรียนรู้ร่วมกัน (Collaborative Learning)** ผู้เรียนทำงานร่วมกันในรูปแบบของการออกแบบและพัฒนาโซลูชันทางเทคโนโลยี ตัวอย่างเช่น การทำโปรเจ็กต์กลุ่มที่ต้องพัฒนาแอปพลิเคชันโดยแบ่งหน้าที่กัน หรือการรีวิวโค้ดของเพื่อนร่วมทีมเพื่อให้เกิดการเรียนรู้ร่วมกัน **- การเรียนรู้แบบบูรณาการ (Integrated Learning)** พัฒนาโครงการที่ต้องอาศัยความรู้จากหลายสาขา เช่น การพัฒนาแอปพลิเคชันที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลทางการแพทย์	**- ผลงานนวัตกรรม เช่น** แอปพลิเคชัน ซอฟต์แวร์ หรือระบบอัจฉริยะที่ใช้งานได้จริง **- ผลกระทบต่อสังคม เช่น** โครงการที่ช่วยแก้ปัญหาสังคมหรือพัฒนาเศรษฐกิจ

คุณลักษณะพิเศษ	กลยุทธ์	กิจกรรม	หลักฐานและตัวบ่งชี้
	Learning) การนำความรู้จากหลายศาสตร์มาประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหาจริง ซึ่งช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจเนื้อหาในเชิงลึกและสามารถเชื่อมโยงความรู้จากหลายแหล่งได้ กิจกรรมที่ใช้มักเป็นโครงงานที่ต้องใช้ความรู้จากหลายวิชา เช่น การพัฒนาระบบ AI ที่ต้องอาศัยความรู้ด้านการเขียนโปรแกรม คณิตศาสตร์ และการออกแบบอินเทอร์เฟซ **- การเรียนรู้จากประสบการณ์จริง (Experiential Learning)** ผู้เรียนได้รับประสบการณ์ตรงจากสถานการณ์จริง ผ่านการฝึกปฏิบัติหรือการทำงานกับโครงการจริง วิธีนี้ช่วยให้ผู้เรียนสามารถเข้าใจแนวคิดได้ลึกซึ้งขึ้น รวมถึงพัฒนาทักษะในการแก้ปัญหาในโลกแห่งความเป็นจริง ตัวอย่างเช่น การทำโครงการพัฒนาซอฟต์แวร์ที่สามารถนำไปใช้งานได้จริง หรือการฝึกงานในองค์กรที่เกี่ยวข้อง	ซึ่งต้องใช้ทั้งความรู้ด้านโปรแกรมมิ่ง การวิเคราะห์ข้อมูล และความเข้าใจเกี่ยวกับสุขภาพ **- การเรียนรู้จากประสบการณ์จริง (Experiential Learning)** การทำโปรเจ็กต์ที่สามารถใช้งานได้จริง หรือการพัฒนาโซลูชันที่มีผลกระทบต่อสังคม ตัวอย่างเช่น การสร้างระบบ Chatbot สำหรับบริการลูกค้า หรือการทำโปรเจ็กต์ AI เพื่อช่วยวิเคราะห์ข้อมูลสิ่งแวดล้อม	

คุณลักษณะพิเศษ	กลยุทธ์	กิจกรรม	หลักฐานและตัวบ่งชี้
บัณฑิตที่มีความสามารถในการสร้างนวัตกรรมที่ยั่งยืนและส่งเสริมความรับผิดชอบต่อสังคม	**- การเรียนรู้แบบเน้นปัญหา (Problem-Based Learning** เน้นปัญหาเป็นแนวทางที่ให้ผู้เรียนเผชิญกับปัญหาที่ซับซ้อนและต้องหาทางแก้ไขผ่านการค้นคว้า วิเคราะห์ และอภิปรายร่วมกัน ผู้เรียนจะต้องพัฒนา ความสามารถในการคิดเชิงวิพากษ์และแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบ วิธีการนี้ช่วยให้ผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงความรู้จากหลายศาสตร์ และพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ในการออกแบบนวัตกรรมที่ตอบโจทย์ความยั่งยืนและความรับผิดชอบต่อสังคม	**- เวทีอภิปรายเกี่ยวกับความยั่งยืน** ผู้เรียนได้มีส่วนร่วมในการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นเกี่ยวกับแนวทางการพัฒนานวัตกรรมที่คำนึงถึงความยั่งยืนและผลกระทบต่อสังคม รูปแบบของกิจกรรมอาจเป็นการอภิปรายกลุ่ม การนำเสนอแนวคิด หรือการระดมสมองเพื่อพัฒนาแนวทางแก้ปัญหาที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและมีประโยชน์ต่อสังคม โดยอาจมีการเชิญผู้เชี่ยวชาญหรือผู้ประกอบการที่เน้นการพัฒนาที่ยั่งยืนมาเป็นวิทยากรเพื่อให้มุมมองที่เป็นประโยชน์ต่อผู้เรียน	**- ผลกระทบต่อสังคม** การสร้างแนวคิดนวัตกรรมที่ยั่งยืนซึ่งช่วยให้เกิดนวัตกรรมที่สามารถนำไปใช้ได้จริงและมีผลกระทบในวงกว้าง

6. ความคาดหวังของผลลัพธ์การเรียนรู้ของนักศึกษาในแต่ละชั้นปี

ชั้นปี	สมรรถนะที่คาดหวัง	คุณลักษณะที่คาดหวัง	ระบบ กลไก กลยุทธ์ และวิธีการ จัดการเรียนการสอนเพื่อ พัฒนาสมรรถนะที่คาดหวังอย่างเป็นระบบ และชัดเจน
ชั้นปีที่ 1	แก้ไขปัญหาด้วยปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณอย่างเหมาะสม	สามารถประยุกต์ใช้ความรู้ด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณในการวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาจริงอย่างมีเหตุผลและเหมาะสม - มีความเป็นผู้นำทางวิชาการ เริ่มต้นแสดงออกถึงความรับผิดชอบต่อ	ระบบและกลไกในการจัดการเรียนการสอนเพื่อพัฒนาสมรรถนะที่คาดหวังของนักศึกษาชั้นปีที่ 1 จะเริ่มจากการออกแบบหลักสูตรที่เน้นการบูรณาการระหว่างความรู้พื้นฐานและการปฏิบัติจริง โดยใช้กลยุทธ์การสอนที่หลากหลาย เช่น การระดมความคิด การแก้ปัญหาจากกรณีศึกษา การฝึกปฏิบัติในห้องปฏิบัติการ และการทำโครงงานกลุ่ม เพื่อให้นักศึกษาได้ฝึกคิด วิเคราะห์ และประยุกต์ใช้ความรู้ในสถานการณ์จริง

ชั้นปี	สมรรถนะที่คาดหวัง	คุณลักษณะที่คาดหวัง	ระบบ กลไก กลยุทธ์ และวิธีการ จัดการเรียนการสอนเพื่อ พัฒนาสมรรถนะที่คาดหวังอย่างเป็นระบบ และชัดเจน
		งานวิจัยและการทำงานร่วมกับผู้อื่น - มีความตระหนักในจริยธรรมการวิจัยและแนวปฏิบัติที่ถูกต้องของนักวิทยาศาสตร์ข้อมูลเหมาะสม	นอกจากนี้ยังส่งเสริมการสื่อสารและการทำ งานเป็นทีมผ่านการนำเสนอผลงานและการอภิปรายในชั้นเรียน รวมถึงการบ่มเพาะคุณธรรมและจริยธรรมผ่านการจัดกิจกรรมที่เน้นจรรยาบรรณการใช้ AI และวิทยาการคำนวณ การประเมินผลจะใช้วิธีการที่หลากหลาย เช่น การทดสอบ การประเมินรายงาน การสังเกตพฤติกรรม และการประเมินโครงงาน เพื่อวัดผลลัพธ์การเรียนรู้และพัฒนาสมรรถนะอย่างรอบด้าน
ชั้นปีที่ 2	เป็นผู้นำทางด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ	- สามารถออกแบบและพัฒนานวัตกรรมหรือแนวทางวิจัยที่สร้างสรรค์ด้วยกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ - มีทักษะในการเขียนบทความวิชาการและการนำเสนอผลงานในที่ประชุมวิชาการ - แสดงความรับผิดชอบต่อผลกระทบทางสังคมของผลงานวิจัย	ระบบและกลไกการจัดการเรียนการสอนเพื่อพัฒนาสมรรถนะที่คาดหวังของนักศึกษาชั้นปีที่ 2 ถูกออกแบบให้เน้นกระบวนการเรียนรู้เชิงลึกและการปฏิบัติจริง โดยใช้กลยุทธ์การเรียนการสอนที่บูรณาการระหว่างการบรรยายเชิงลึก การสัมมนา และการทำโครงงานวิจัยอย่างเข้มข้น ผู้เรียนจะได้รับการฝึกฝนในการวิเคราะห์และสร้างแบบจำลอง AI ผ่านการใช้กรณีศึกษาที่ซับซ้อนและเครื่องมือวิจัยที่ทันสมัย พร้อมทั้งการเรียนรู้จากการทำงานร่วมกับทีมวิจัยในสถานการณ์จริง นอกจากนี้ ยังส่งเสริมการนำเสนอผลงานวิจัยในรูปแบบบทความวิชาการและการประชุมวิชาการ ผ่านกิจกรรมฝึกปฏิบัติ เช่น การเขียนบทความ การจัดเวิร์กชอปการนำเสนอ และการตอบคำถามจากผู้เชี่ยวชาญ การประเมินผลจะครอบคลุมทั้งการประเมินความรู้ ทักษะ และจริยธรรม เช่น การตรวจสอบคุณภาพบทความ การสังเกตพฤติกรรมในงานวิจัยกลุ่ม และการประเมินผลการนำเสนอ เพื่อให้มั่นใจว่านักศึกษามีความเชี่ยวชาญด้าน AI และวิทยาการคำนวณพร้อมก้าวสู่ความเป็นผู้นำ

ชั้นปี	สมรรถนะที่คาดหวัง	คุณลักษณะที่คาดหวัง	ระบบ กลไก กลยุทธ์ และวิธีการ จัดการเรียนการสอนเพื่อ พัฒนาสมรรถนะที่คาดหวังอย่างเป็นระบบ และชัดเจน
ชั้นปีที่ 3	เป็นนักวิจัยทางด้านปัญญาประดิษฐ์ และวิทยาการคำนวณ	- ผลิตผลงานวิจัยคุณภาพสูงที่สามารถเผยแพร่ผลงานทางวิชาการให้เป็นที่ยอมรับในระดับสากล - เป็นผู้นำในการขับเคลื่อนองค์ความรู้หรือเทคโนโลยีที่มีผลกระทบต่อองค์กร - ปฏิบัติงานวิจัยโดยยึดหลักคุณธรรมและจริยธรรมอย่างเคร่งครัด	ระบบ กลไก และกลยุทธ์การจัดการเรียนการสอนเพื่อพัฒนาสมรรถนะที่คาดหวังของนักศึกษาชั้นปีที่ 3 มุ่งเน้นการพัฒนาความเชี่ยวชาญเชิงลึกผ่านการวิจัยและกาประยุกต์ความรู้ โดยจัดการเรียนการสอนแบบบูรณาการที่ประกอบด้วยการทำวิจัยเชิงลึก การเรียนรู้แบบรายบุคคลกับที่ปรึกษา และการสัมมนาวิชาการในหัวข้อเฉพาะทาง นอกจากนี้ ยังสนับสนุนให้นักศึกษาเผยแพร่งานวิจัยในวารสารที่ได้รับการยอมรับ พร้อมจัดอบรมเสริมทักษะ เช่น การเขียนบทความวิจัย การปรับปรุงแบบจำลอง AI และการจัดการข้อมูลวิจัยอย่างมีจริยธรรม วิธีการประเมินจะประกอบด้วยการตรวจสอบคุณภาพของงานวิจัยที่ตีพิมพ์ การสังเกตพฤติกรรมในกระบวนการทำงานวิจัย และการประเมินผลการนำเสนอทั้งจากผู้เชี่ยวชาญและที่ปรึกษา

7. ผลลัพธ์การเรียนรู้ตามมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษา พ.ศ. 2565 ระดับบัณฑิตศึกษา

ด้าน	รายละเอียด	จุดเน้นสำหรับหลักสูตรระดับบัณฑิตศึกษา	ผลลัพธ์การเรียนรู้ที่พึงประสงค์*
ความรู้ (Knowledge)	1) อธิบายแนวคิดพื้นฐานของปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณในเชิงทฤษฎีและการประยุกต์ใช้งานจริงในหลากหลายบริบทได้ 2) วิเคราะห์กรอบแนวคิดและวิธีการเชิงวิทยาศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาหัวข้อวิจัยในปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณได้อย่างชัดเจน 3) เชื่อมโยงและบูรณาการ	ความเข้าใจเชิงลึกในปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ ทั้งในเชิงทฤษฎีและการประยุกต์ใช้งาน วิเคราะห์และพัฒนาหัวข้อวิจัยด้วยวิธีการเชิงวิทยาศาสตร์ และบูรณาการความรู้ข้ามศาสตร์เพื่อสร้างองค์ความรู้ใหม่	อธิบายแนวคิดเชิงลึกด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ ทั้งในเชิงทฤษฎีและการประยุกต์ใช้งาน วิเคราะห์และออกแบบการวิจัยอย่างเป็นระบบ พร้อมทั้งบูรณาการความรู้ข้ามศาสตร์เพื่อสร้างองค์ความรู้และนวัตกรรมที่ตอบโจทย์ความท้าทายทางวิทยาศาสตร์และ

ด้าน	รายละเอียด	จุดเน้นสำหรับหลักสูตรระดับบัณฑิตศึกษา	ผลลัพธ์การเรียนรู้ที่พึงประสงค์*
	ความรู้ในปัญญาประดิษฐ์กับศาสตร์อื่นๆ เพื่อสร้างองค์ความรู้ใหม่ที่มีคุณค่าในระดับสากล		สังคมได้
ทักษะ (Skills)	1) สามารถบูรณาการความรู้ในสาขาปัญญาประดิษฐ์ วิทยาการคำนวณ และศาสตร์ที่เกี่ยวข้องเพื่อนำไปสู่การออกแบบงานวิจัย การสร้างแบบจำลอง และการแก้ปัญหาซับซ้อนหรือพัฒนานวัตกรรมที่มีผลกระทบเชิงบวกในระดับสากลได้อย่างมีประสิทธิภาพ 2) สื่อสารผลการวิจัยและแนวคิดทางวิชาการในรูปแบบที่หลากหลาย เช่น การนำเสนอในที่ประชุม การเขียนบทความเชิงวิชาการ และการตีพิมพ์ในวารสารวิชาการที่ได้รับการยอมรับ	บูรณาการความรู้ด้านปัญญาประดิษฐ์และศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง เพื่อแก้ปัญหาซับซ้อนหรือพัฒนานวัตกรรมที่มีผลกระทบในระดับสากล พร้อมทั้งสื่อสารผลงานวิจัยและแนวคิดทางวิชาการในรูปแบบที่หลากหลายอย่างมีประสิทธิภาพ	บูรณาการความรู้ด้านปัญญาประดิษฐ์และศาสตร์ที่เกี่ยวข้องเพื่อแก้ปัญหาที่ซับซ้อน หรือพัฒนานวัตกรรมที่สร้างผลกระทบในระดับสากล พร้อมทั้งสื่อสารผลการวิจัยและแนวคิดทางวิชาการในรูปแบบที่หลากหลายอย่างชัดเจนและมีประสิทธิภาพ
จริยธรรม (Ethics)	1) แสดงออกถึงความเป็นผู้นำในด้านจริยธรรมโดยการปฏิบัติตนเป็นแบบอย่างในฐานะนักวิจัยที่ยึดมั่นในจรรยาบรรณวิชาชีพ มีความรับผิดชอบต่อสังคม และสามารถส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์อย่างมีจริยธรรมเพื่อประโยชน์ต่อส่วนรวมและการพัฒนาสังคม	ปฏิบัติตนเป็นแบบอย่างในฐานะนักวิจัยที่มีความยึดมั่นในจรรยาบรรณวิชาชีพ มีความรับผิดชอบต่อสังคม และมีบทบาทสำคัญในการส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์อย่างมีจริยธรรม	ปฏิบัติตนเป็นแบบอย่างที่ดีในฐานะนักวิจัยที่ยึดมั่นในจรรยาบรรณวิชาชีพ แสดงความรับผิดชอบต่อสังคม และส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์อย่างมีจริยธรรม
ลักษณะบุคคล (Character)	1) มีความใฝ่รู้และกระตือรือร้นในการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณร่วมกับศาสตร์อื่น ๆ เพื่อพัฒนานวัตกรรมและสร้างความรู้ใหม่ด้วยความคิดริเริ่ม	มีความใฝ่รู้ กระตือรือร้น และมีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ในการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณเพื่อ	มีความใฝ่รู้ กระตือรือร้น และแสดงความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ในการพัฒนานวัตกรรมและองค์ความรู้ใหม่ มีความมุ่งมั่นและความรับผิดชอบต่อ

ด้าน	รายละเอียด	จุดเน้นสำหรับหลักสูตรระดับบัณฑิตศึกษา	ผลลัพธ์การเรียนรู้ที่พึงประสงค์*
	สร้างสรรค์ 2) มีความมุ่งมั่นและความรับผิดชอบต่อการบูรณาการความรู้ด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ เพื่อนำไปสู่การพัฒนานวัตกรรมหรือการแก้ปัญหาซับซ้อนในงานวิจัย 3) มีความมั่นใจในการสื่อสารผลงานทางวิชาการ และมีความมุ่งมั่นในการสร้างมาตรฐานผลงานที่สามารถตีพิมพ์หรือเผยแพร่ 4) แสดงความเป็นผู้นำที่มีคุณธรรม และมีความรับผิดชอบต่อสังคม โดยส่งเสริมการปฏิบัติตามจรรยาบรรณวิชาชีพด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ	พัฒนานวัตกรรมและความรู้ใหม่ มีความมุ่งมั่นรับผิดชอบในการแก้ปัญหาซับซ้อนด้วยการบูรณาการความรู้ มีความมั่นใจในการสื่อสารและพัฒนาผลงานวิจัยในระดับสากล พร้อมแสดงความเป็นผู้นำที่มีคุณธรรมและรับผิดชอบต่อสังคม	การบูรณาการความรู้เพื่อแก้ปัญหาซับซ้อน สื่อสารผลงานวิจัยในระดับสากลได้อย่างมั่นใจ และแสดงความเป็นผู้นำที่มีคุณธรรมพร้อมสร้างผลกระทบเชิงบวกต่อสังคม

หมวดที่ 5
การจัดกระบวนการเรียนรู้

1. กระบวนการจัดการเรียนรู้

เพื่อเป็นการตอบสนองต่อความต้องการ (Needs) ของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียของหลักสูตรได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ ให้หลักสูตรได้กำหนดปรัชญา วัตถุประสงค์ ผลลัพธ์การเรียนรู้ (Program Learning Outcomes: PLOs) ผลลัพธ์การเรียนรู้เมื่อสิ้นสุดปีการศึกษา (Year Learning Outcomes: YLOs) ผลลัพธ์การเรียนรู้ของรายวิชา/รายวิชา (Course Learning Outcomes: CLOs) ได้มีการดำเนินการดังนี้

1. การวางแผน โดยการประชุมของกรรมการบริหารหลักสูตร อาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร อาจารย์ประจำหลักสูตรเพื่อกำหนดรูปแบบและแนวทางการดำเนินการเบื้องต้นเพื่อเป็นกรอบร่างในการไปสำรวจความต้องการของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (Stakeholders Needs Assessment)
2. การดำเนินการสำรวจและรวบรวมข้อมูลความต้องการของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย
3. การตรวจสอบ โดยการนำข้อมูลมาดำเนินการพิจารณาทบทวนความเหมาะสมและสอดคล้อง
4. การปรับปรุง โดยนำข้อมูลที่ได้จากการตรวจสอบมาดำเนินการปรับปรุงและพัฒนาให้มีความเหมาะสมและสอดคล้องกับความต้องการของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย

2. วิธีการจัดกระบวนการเรียนรู้ที่ก่อให้เกิดการพัฒนาผลลัพธ์การเรียนรู้ในแต่ละด้าน

(รายละเอียดระบุไว้ในภาคผนวก ฌ)

หมวดที่ 6
ความพร้อมและศักยภาพหลักสูตร

1. กระบวนการเตรียมความพร้อมและศักยภาพของหลักสูตร

เพื่อให้การพัฒนาผู้เรียนให้เป็นผู้สำเร็จการศึกษาที่มีคุณลักษณะพึงประสงค์ตามปรัชญา วัตถุประสงค์และผลลัพธ์การเรียนรู้ของหลักสูตร (PLOs) หลักสูตรได้ดำเนินการดังนี้

1. การวางแผน โดยการดำเนินการสำรวจความต้องการของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียของหลักสูตร
2. การดำเนินการ โดย

2.1 ประเมินความพร้อมและศักยภาพของปัจจัยสนับสนุนการจัดการเรียนการสอน

2.2 การกำหนดระบบและกลไกการพัฒนาปัจจัยสนับสนุนการจัดการเรียนการสอน การพัฒนาศักยภาพของบุคลากรทั้งสายวิชาการและสายสนับสนุนให้มีความพร้อมในการบริหารและจัดการหลักสูตร

3. การประเมินผลการดำเนินงานทั้งการประเมินความพึงพอใจของอาจารย์ผู้สอน ความพึงพอใจของนักศึกษา การทวนสอบ การสำรวจความคิดเห็นของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในกระบวนการจัดการเรียนการสอน
4. การปรับปรุงและดำเนินการเพื่อพัฒนาศักยภาพและความพร้อมของปัจจัยสนับสนุนการเรียนรู้

2. ความพร้อมด้านอาจารย์

2.1 อาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร	จำนวน	3	คน
2.2 อาจารย์ประจำหลักสูตร	จำนวน	10	คน
2.3 อาจารย์ผู้สอน	จำนวน	11	คน
2.4 อาจารย์พิเศษ	จำนวน	1	คน

โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 ชื่อ-นามสกุล ตำแหน่ง และคุณวุฒิการศึกษาของอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร

ที่	ชื่อ-นามสกุล	ตำแหน่งทางวิชาการ	คุณวุฒิ	สาขาวิชา	สำเร็จการศึกษาจากสถาบัน	ปี พ.ศ. ที่สำเร็จการศึกษา
1.	นายธนายุทธ ช่างเรือนงาม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ (สาขาวิชาคณิตศาสตร์ทั่วไป)	ปร.ด. วท.ม. วท.บ.	วิทยาศาสตร์เชิงคำนวณ คณิตศาสตร์ คณิตศาสตร์	มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มหาวิทยาลัยแม่โจ้	2565 2555 2552
2.	นายจำรัส กลิ่นหนู	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ (สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์)	ปร.ด. ศศ.ม. ค.บ.	เทคโนโลยีการศึกษา วิจัยเพื่อการพัฒนาท้องถิ่น คอมพิวเตอร์ศึกษา	มหาวิทยาลัยรามคำแหง สถาบันราชภัฏเชียงราย วิทยาลัยครูเพชรบุรี	2555 2545 2535
3.	นางฟ้ารุ่ง สุรินา บุญทิศ	รองศาสตราจารย์ (สาขาวิชาฟิสิกส์)	Ph.D. M.Sc. ป.บัณฑิต วท.บ.	Astrophysics Astronomy วิชาชีพครู ฟิสิกส์	Liverpool John Moores University, UK Sejong University, Korea มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	2557 2552 2550 2549

2.2 ชื่อ-นามสกุล ตำแหน่ง และคุณวุฒิการศึกษาของอาจารย์ประจำหลักสูตร

ที่	ชื่อ-นามสกุล	ตำแหน่งทางวิชาการ	คุณวุฒิ	สาขาวิชา	สำเร็จการศึกษาจากสถาบัน	ปีที่จบ	ภาระงานสอน ชม./สัปดห์				
							2568	2569	2570	2571	2572
1.*	นายธนายุทธ ช่างเรือนงาม*	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ (สาขาวิชาคณิตศาสตร์)	ปร.ด. วท.ม. วท.บ.	วิทยาศาสตร์เชิงคำนวณ คณิตศาสตร์ คณิตศาสตร์	มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มหาวิทยาลัยแม่โจ้	2565 2555 2552	6	6	6	6	6
2.*	นายจำรัส กลิ่นหนู*	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ (สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์)	ปร.ด. ศศ.ม. ค.บ.	เทคโนโลยีการศึกษา วิจัยเพื่อการพัฒนาท้องถิ่น คอมพิวเตอร์ศึกษา	มหาวิทยาลัยรามคำแหง สถาบันราชภัฏเชียงราย วิทยาลัยครูเพชรบุรี	2555 2545 2535	6	6	6	6	6
3.*	นางฟ้ารุ่ง สุรินา บุญทิศ*	รองศาสตราจารย์ (สาขาวิชาฟิสิกส์)	Ph.D. M.Sc. ป.บัณฑิต วท.บ.	Astrophysics Astronomy วิชาชีพครู ฟิสิกส์	Liverpool John Moores University, UK Sejong University, Korea มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	2557 2552 2550 2549	6	6	6	6	6
4.	นางสาวสุรัสวดี นางแล	อาจารย์	ปร.ด. วท.ม. วท.บ.	วิทยาศาสตร์เชิงคำนวณ วิทยาศาสตร์เชิงคำนวณ สถิติ	มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	2558 2551 2548	6	6	6	6	6
5.	นางสาวธัญวรัชญ์ บุตรสาร	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ (สาขาวิชาคณิตศาสตร์)	วท.ด. ป.บัณฑิต วท.บ.	คณิตศาสตร์ วิชาชีพครู คณิตศาสตร์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	2553 2549 2548	6	6	6	6	6
6.	นางสาวศิวรี สุดสนิท	อาจารย์	ปร.ด. วท.ม. วท.บ.	คณิตศาสตร์ คณิตศาสตร์ คณิตศาสตร์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มหาวิทยาลัยทักษิณ	2559 2553 2549	6	6	6	6	6

ที่	ชื่อ-นามสกุล	ตำแหน่งทางวิชาการ	คุณวุฒิ	สาขาวิชา	สำเร็จการศึกษาจากสถาบัน	ปีที่จบ	ภาระงานสอน ชม./สัปดห์				
							2568	2569	2570	2571	2572
7.	นายธนาวุฒิ ธนวาณิชย์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ (สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์)	ปร.ด. วศ.ม. วท.บ.	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ วิทยาการคอมพิวเตอร์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง	2559 2548 2544	6	6	6	6	6
8.	นายภูมิพงษ์ ดวงตั้ง	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ (สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมและการสื่อสาร)	วศ.ด. คอ.ม. วศ.บ.	วิศวกรรมโทรคมนาคม เทคโนโลยีไฟฟ้า วิศวกรรมโทรคมนาคม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร	2560 2551 2544	6	6	6	6	6
9.	นายสำราญ ไชยคำวัง	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ (สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ)	ปร.ด. วท.ม. วท.บ.	เทคโนโลยีสารสนเทศ เทคโนโลยีสารสนเทศ วิทยาการคอมพิวเตอร์	มหาวิทยาลัยศรีปทุม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย สถาบันราชภัฏเชียงราย	2566 2554 2538	6	6	6	6	6
10.	นายมีชัย เทพนุรัตน์	รองศาสตราจารย์ (สาขาวิชาฟิสิกส์)	ปร.ด. วท.ม. ป.บัณฑิต วท.บ.	ฟิสิกส์ประยุกต์ ฟิสิกส์ประยุกต์ วิชาชีพครู ฟิสิกส์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย มหาวิทยาลัยทักษิณ	2559 2552 2565 2546	6	6	6	6	6

*หมายเหตุ: อาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร

2.3 ชื่อ – นามสกุล ตำแหน่งและคุณวุฒิการศึกษาของอาจารย์ผู้สอน

ที่	ชื่อ-นามสกุล	ตำแหน่งทางวิชาการ	คุณวุฒิ	สาขาวิชา	สำเร็จการศึกษาจากสถาบัน	ปีที่จบ	ภาระงานสอน ชม./สัปดห์				
							2568	2569	2570	2571	2572
1.	นางวลีพรรณ รกิติกุล	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ (สาขาวิชาเคมี)	ปร.ด.	เคมี	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	2555	6	6	6	6	6
2.	นางสาวอรวรรณ วรรณชีวิน	อาจารย์	ปร.ด.	ชีวเคมี	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	2558	6	6	6	6	6
3.	นายคมกริช แก้วพนัส	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ (สาขาวิชาชีววิทยา)	วท.ด.	ชีววิทยา	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	2558	6	6	6	6	6
4.	นางสาวทิพวรรณ ประเสริฐสินธุ์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ (สาขาวิชาชีววิทยา)	วท.ด.	จุลชีววิทยาประยุกต์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	2556	6	6	6	6	6
5.	นางวิภาวรรณ นันโท	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ (สาขาวิชาชีววิทยา)	วท.ด.	จุลชีววิทยาประยุกต์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	2557	6	6	6	6	6
6.	นายกิตติชัย จันธิมา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ (สาขาวิชาชีววิทยา)	วท.ด.	ความหลากหลายทางชีวภาพและชีววิทยาชาติพันธุ์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	2557	6	6	6	6	6
7.	นายกฤตวิชญ์ สุขอิ้ง	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)	ปร.ด.	วิทยาศาสตร์ชีวภาพการจัดการทรัพยากรชีวภาพ	มหาวิทยาลัยบูรพา	2557	6	6	6	6	6
8.	นายสฤทธิ์พร วิทยผดุง	อาจารย์	D. Eng.	Agricultural Produc Process and Storage Engineering	Jiangsu University	2551	6	6	6	6	6

ที่	ชื่อ-นามสกุล	ตำแหน่งทางวิชาการ	คุณวุฒิ	สาขาวิชา	สำเร็จการศึกษาจากสถาบัน	ปีที่จบ	ภาระงานสอน ชม./สัปดห์				
							2568	2569	2570	2571	2572
9.	นายกฤษฎิ์พงศ์ ภาษิตวิไลธรรม	อาจารย์	วท.ด.	พืชสวน	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	255	6	6	6	6	6
10.	นายวิกรม บุญนุ่น	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ (สาขาวิชาสังคมวิทยา)	ปร.ด.	การบริหารนวัตกรรมการพัฒนา	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช	2558	6	6	6	6	6
11.	นายศรชัย มุ่งไธสง	รองศาสตราจารย์ (สาขาวิชาการศึกษาอนุสาขาวิชาพัฒนศึกษา)	Ph.D.	Linguistics	The University of Adelaide , Australia	2547	6	6	6	6	6

2.4 ชื่อ – นามสกุล ตำแหน่งและคุณวุฒิการศึกษาของอาจารย์พิเศษ

ที่	ชื่อ-นามสกุล	ตำแหน่งทางวิชาการ	คุณวุฒิ	สาขาวิชา	สำเร็จการศึกษาจากสถาบัน	ปีที่จบ	ภาระงานสอน ชม./สัปดห์				
							2568	2569	2570	2571	2572
1.	นายสุเทพ สวนใต้	ศาสตราจารย์ (สาขาวิชาคณิตศาสตร์)	วท.ด.	คณิตศาสตร์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	2536	4	4	4	4	4

3. ความพร้อมในการจัดการเรียนการสอน

ที่	ปัจจัย/สิ่งสนับสนุนการเรียนรู้ต่าง ๆ ที่จำเป็น	จำนวนที่มี	ความพร้อม (รายละเอียด)
1	ห้องเรียน	3 ห้อง	ตึก 51 จำนวน 3 ห้อง
2	ห้องปฏิบัติการเฉพาะทาง	2 ห้อง	ตึก 51 จำนวน 1 ห้อง (ห้องปฏิบัติการคณิตและวิทยาการคำนวณ) และตึกวิทยบริการ จำนวน 1 ห้อง (ห้องมินิสตูดิโอ สำหรับรันโค้ด)
3	ห้องเรียนอัจฉริยะ	8 ห้อง	ตึก 101 จำนวน 8 ห้อง
4	ห้อง มินิสตูดิโอ สำหรับรันโค้ดโปรแกรม	1 ห้อง	ตึกสำนักวิทยบริการ
5	ห้องสมุด	3 ห้อง	ห้องสมุดกลางสำนักวิทยบริการ ห้องสมุกคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และห้องสมุดคณะเทคโนโลยีดิจิทัล
6	ห้องคอมพิวเตอร์/ห้องบริการอินเทอร์เน็ต	5 ห้อง	ห้องคอมพิวเตอร์/ห้องบริการอินเตอร์เน็ต สำนักวิทยบริการ จำนวน 4 ห้อง ห้องปฏิบัติการคณิตศาสตร์และวิทยาการคำนวน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จำนวน 1 ห้อง

4. ความพร้อมด้านทุนสนับสนุนการศึกษาและความร่วมมือทางวิชาการกับสถาบันอื่น หรือหน่วยงานอื่น

4.1 ความร่วมมือกับสถาบันการศึกษาอื่น / หน่วยงานอื่น มีดังต่อไปนี้

- บริษัทหัวเหว่ย ประเทศไทย

5. ความพร้อมและการเตรียมการสำหรับอาจารย์ใหม่

มีการปฐมนิเทศอาจารย์ใหม่ เพื่อแนะนำหลักสูตร การจัดการเรียนการสอน และจัดให้มีการฝึกอบรมความรู้เพิ่มเติมในทักษะที่ไม่ถนัด จัดอาจารย์ประจำหลักสูตรให้เป็นพี่เลี้ยงและคอยให้คำปรึกษาในช่วงแรก

6. การพัฒนาความรู้และทักษะให้แก่คณาจารย์

6.1 การพัฒนาทักษะการจัดการเรียนการสอน การวัดและการประเมินผล

1. สนับสนุนให้คณาจารย์จัดทำเอกสารประกอบการสอน เอกสารคำสอน ตำรา หรือหนังสือเพื่อใช้ในการเรียนการสอน

2. สนับสนุนให้คณาจารย์เข้าร่วมอบรมทักษะการเขียนตำราและหนังสือทางวิชาการ เพื่อยื่นของกำหนดตำแหน่งทางวิชาการที่สูงขึ้น

6.2 การพัฒนาทักษะด้านการวิจัย

1. ส่งเสริมให้คณาจารย์กำหนดหัวข้อวิจัยร่วมกับผู้เรียน เพื่อทำวิจัยที่สามารถนำปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณเข้าบูรณาการกับศาสตร์อื่น ๆ เพื่อเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ผลและสรุปผลที่มีประสิทธิภาพสูง

2. ส่งเสริมการจัดกลุ่มอาจารย์ที่สนใจงานวิจัยด้านเดียวกัน เพื่อจัดทำโครงการเพื่อขอทุนสนับสนุนในการดำเนินงานวิจัย

3. ส่งเสริมอาจารย์ให้เข้าร่วมงานประชุมวิชาการทั้งในและต่างประเทศ

4. ส่งเสริมอาจารย์ให้ตีพิมพ์ผลงานวิจัยในวารสารในฐานนานาชาติ เช่น SCOPUS

6.3 การพัฒนาทักษะด้านการบริการวิชาการ

1. ส่งเสริมให้คณาจารย์และผู้เรียนนำเอาปัญหาที่พบในที่ทำงาน หรือต้นสังกัดของผู้เรียน หรือท้องถิ่นที่อาศัยอยู่ มาเป็นหัวข้อดุษฎีนิพนธ์ เพื่อมุ่งให้ทักษะด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณแก้ไขปัญหาดังกล่าว เพื่อการพัฒนาของท้องถิ่นและประเทศ

2. พัฒนาต่อยอดในการบูรณาการงานวิชาการหรือวิจัยสู่การบริการวิชาการให้กับหน่วยงานภายในและภายนอก

3. ส่งเสริมให้อาจารย์ได้ไปศึกษาดูงานบริการวิชาการในด้านใหม่ ๆ เพื่อพัฒนาตนเองอย่างต่อเนื่องทั้งในและนอกประเทศ และสามารถนำมาขยายผลสู่มหาวิทยาลัย รวมไปถึงออกบริการวิชาการให้แก่หน่วยงานที่สนใจได้

6.4 การพัฒนาวิชาการและวิชาชีพด้านอื่น ๆ

1. ส่งเสริมและกระตุ้นให้อาจารย์ทำผลงานทางวิชาการและยื่นของกำหนดตำแหน่งทางวิชาการที่สูงขึ้นภายในระยะเวลาที่กำหนด

หมวดที่ 7
การประเมินผลการเรียนและเกณฑ์การสำเร็จการศึกษา

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ที่คาดหวังแต่ละชั้นปีของนักศึกษา

ชั้นปี	รายละเอียด
ชั้นปีที่ 1	อธิบายแนวคิดพื้นฐานและการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ (AI) และวิทยาการคำนวณร่วมกับศาสตร์อื่นเพื่อสร้างนวัตกรรมและความรู้ใหม่ได้ วิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างการวิจัยสำหรับหัวข้อที่เลือกได้ สื่อสารแนวคิดและผลการศึกษาขั้นต้นในรูปแบบของรายงานและการนำเสนอภายในชั้นเรียนได้ พร้อมทั้งปฏิบัติตามหลักคุณธรรมและจริยธรรมในการใช้ข้อมูลและการวิจัยเบื้องต้นอย่างเหมาะสม
ชั้นปีที่ 2	อธิบายกรอบแนวคิดและวิธีการที่เกี่ยวข้องกับหัวข้อวิจัยที่พัฒนาขึ้นได้อย่างชัดเจน สร้างและปรับปรุงแบบจำลองปัญญาประดิษฐ์ให้ตอบสนองต่อปัญหาวิจัยเฉพาะด้านได้อย่างเหมาะสม นำเสนอผลการวิจัยเชิงลึกในรูปแบบของบทความวิชาการและการอภิปรายในที่ประชุมวิชาการได้ พร้อมทั้งแสดงออกถึงจริยธรรมในการดำเนินงานวิจัยและการทำงานร่วมกับทีมวิจัยได้อย่างมืออาชีพ
ชั้นปีที่ 3	บูรณาการองค์ความรู้ด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณกับศาสตร์อื่นในการออกแบบและพัฒนานวัตกรรม นำไปสู่การสร้างองค์ความรู้ใหม่ที่มีคุณค่า ควบคู่กับการประยุกต์ใช้ทักษะการวิจัยขั้นสูงเพื่อแก้ปัญหาที่ซับซ้อนอย่างมีประสิทธิภาพ ตีพิมพ์ผลงานวิจัยในวารสารวิชาการที่ได้รับการยอมรับจากบัณฑิตวิทยาลัย และปฏิบัติตนเป็นแบบอย่างด้านจรรยาบรรณของนักวิจัย รวมถึงมีบทบาทในการพัฒนาสังคมด้วยเทคโนโลยี AI

2. การวัดและการประเมินผลการศึกษา

ให้เป็นไปตามข้อบังคับมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ว่าด้วยการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา พ.ศ. 2565 และประกาศอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

3. กระบวนการทวนสอบผลสัมฤทธิ์ของนักศึกษาตามผลลัพธ์การเรียนรู้ที่คาดหวังของหลักสูตร

3.1 การทวนสอบผลสัมฤทธิ์ของนักศึกษาขณะนักศึกษายังไม่สำเร็จการศึกษา

กำหนดระบบการทวนสอบผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้ของนักศึกษาเป็นส่วนหนึ่งของระบบการประกันคุณภาพภายในของสถาบันอุดมศึกษาที่จะต้องทำความเข้าใจตรงกันทั้งสถาบัน และนำไปดำเนินการจนบรรลุผลสัมฤทธิ์ ซึ่งผู้ประเมินภายนอกจะต้องสามารถตรวจสอบได้

การทวนสอบในระดับรายวิชาจะให้นักศึกษาประเมินการเรียนการสอนในระดับรายวิชา มีคณะกรรมการพิจารณาความเหมาะสมของข้อสอบให้เป็นไปตามแผนการสอน

การทวนสอบในระดับหลักสูตรควรให้มีคณะกรรมการประเมินมาตรฐานผลการเรียนรู้ของนักศึกษาจากบุคคลและแหล่งข้อมูลอื่น ๆ เช่น จากความเห็นของผู้สำเร็จการศึกษาและผู้ใช้บัณฑิต เป็นต้น

3.2 การทวนสอบผลสัมฤทธิ์ของนักศึกษาหลังจากนักศึกษาสำเร็จการศึกษา

การทำวิจัยสัมฤทธิผลของการประกอบอาชีพของบัณฑิตที่ทำอย่างต่อเนื่องและนำผลวิจัยที่ได้ย้อนกลับมาปรับปรุงกระบวนการการเรียน การสอน และหลักสูตรแบบครบวงจร รวมทั้งการประเมินคุณภาพของหลักสูตรและหน่วยงานโดยองค์กรระดับสากล โดยการวิจัยอาจจะทำดำเนินการดังตัวอย่างต่อไปนี้

3.2.1 ภาวะการได้งานทำของบัณฑิต ประเมินจากบัณฑิตแต่ละรุ่นที่จบการศึกษาในด้านของระยะเวลาในการหางานทำ ความเห็นต่อความรู้ ความสามารถ ความมั่นใจของบัณฑิตในการประกอบการงานอาชีพ

3.2.2 การประเมินจากหน่วยงานที่บัณฑิตทำงานอยู่ โดยการส่งแบบสอบถาม หรือสอบถามเมื่อมีโอกาสในระดับความพึงพอใจในด้านความรู้ ความพร้อม และสมบัติด้านอื่น ๆ ของบัณฑิตที่จบการศึกษา

3.2.3 การประเมินจากบัณฑิตที่ไปประกอบอาชีพ ในแง่ของความพร้อมและความรู้จากสาขาวิชาที่เรียนรวมทั้งสาขาอื่น ๆ ที่กำหนดในหลักสูตร ที่เกี่ยวเนื่องกับการประกอบอาชีพของบัณฑิต รวมทั้งเปิดโอกาส ให้เสนอข้อคิดเห็นในการปรับหลักสูตรให้ดียิ่งขึ้นด้วย

3.2.4 ความเห็นจากผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกที่มาประเมินหลักสูตร หรือเป็นอาจารย์พิเศษต่อกระบวนการเรียนรู้ และการพัฒนาองค์ความรู้ของนักศึกษา

4. กระบวนการยืนยัน (Verification) ผลสัมฤทธิ์ของนักศึกษาตามผลลัพธ์การเรียนรู้ที่คาดหวังของหลักสูตร

1. หลักสูตรได้จัดประชุมคณะกรรมการบริหารหลักสูตรและอาจารย์ผู้สอน เพื่อชี้แจงผลลัพธ์การเรียนรู้ที่คาดหวังของหลักสูตร

2. อาจารย์ผู้สอนได้จัดทำกลยุทธ์การสอนและกลยุทธ์การประเมินผลลัพธ์การเรียนรู้ของหลักสูตรและส่งให้กับหลักสูตรก่อนเปิดภาคเรียนครบถ้วนทุกรายวิชา

3. อาจารย์ผู้สอนจัดทำรายงานผลดำเนินการการประเมินผลการเรียนรู้ของนักศึกษาที่เข้าเรียนในหลักสูตร และอาจารย์ผู้สอนสรุปผลดำเนินการต่อคณะกรรมการบริหารหลักสูตรภายใน 30 วัน หลังสิ้นสุดภาคการศึกษา และประเมินผลลัพธ์การเรียนรู้เดือนละ 1 ครั้ง สำหรับรายวิชาดุษฎีนิพนธ์ โดยให้นักศึกษานำเสนอปากเปล่า เพื่อรายงานความก้าวหน้าของงานวิจัย

4. มีการทวนสอบผลสัมฤทธิ์ของนักศึกษาตามผลลัพธ์การเรียนรู้ที่คาดหวังของหลักสูตร โดยเชิญผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกหลักสูตรเป็นกรรมการทวนสอบ

5. คณะกรรมการบริหารหลักสูตรประชุมสรุปผลการดำเนินงานเพื่อนำไปสู่การปรับปรุง/วางแผนระบบกลไกการประเมินผู้เรียนต่อไป

5. เกณฑ์การสำเร็จการศึกษาตามหลักสูตร

5.1 แผน 1.1

1. กรณีที่เรียนรายวิชาเพิ่มเติมหรือทำกิจกรรมวิชาการเพิ่มเติมโดยไม่นับหน่วยกิต ต้องมีผลลัพธ์การเรียนรู้ตามที่หลักสูตรกำหนด

2. สอบผ่านการสอบวัดคุณสมบัติ (Qualifying Examination) เพื่อเป็นผู้มีสิทธิ์ขอทำดุษฎีนิพนธ์

3. ได้เสนอดุษฎีนิพนธ์และสอบผ่านการสอบปากเปล่าขั้นสุดท้ายโดยคณะกรรมการ ซึ่งจะต้องประกอบด้วยผู้ทรงคุณวุฒิจากภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย และต้องเป็นระบบเปิดให้ผู้สนใจเข้ารับฟังได้ และส่งรูปเล่มดุษฎีนิพนธ์ฉบับสมบูรณ์ที่จัดพิมพ์ตามข้อกำหนดของบัณฑิตวิทยาลัย สำหรับการสอบปากเปล่า ให้ดำเนินการโดยคณะกรรมการสอบดุษฎีนิพนธ์ที่มหาวิทยาลัยแต่งตั้งมีองค์ประกอบเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานหลักสูตรระดับบัณฑิตศึกษา พ.ศ. 2565 ข้อ 9.4.4 และเป็นไปตามประกาศของมหาวิทยาลัยกำหนด

4. ผลงานดุษฎีนิพนธ์หรือส่วนหนึ่งของดุษฎีนิพนธ์ต้องได้รับการตีพิมพ์หรืออย่างน้อยได้รับการยอมรับให้ตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติที่มีคุณภาพตามประกาศที่คณะกรรมการกำหนด อย่างน้อย 2 เรื่อง หรือได้รับการเผยแพร่หรือยอมรับให้ตีพิมพ์ อย่างน้อย 1 เรื่อง และเป็นผลงานนวัตกรรมหรืองานสร้างสรรค์ที่สามารถนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ สังคม เศรษฐกิจ อย่างน้อย 1 เรื่อง หรือได้รับสิทธิบัตรอย่างน้อย 1 เรื่อง

5.2 แผน 2.1

1. ศึกษารายวิชาต่าง ๆ ครบถ้วนตามโครงสร้างของหลักสูตรและได้รับสัญลักษณ์แสดงผลการศึกษาตามเกณฑ์ที่กำหนด โดยมีคะแนนเฉลี่ยสะสมไม่ต่ำกว่า 3.00 จากระบบ 4 ระดับคะแนนหรือเทียบเท่า

2. สอบผ่านการสอบวัดคุณสมบัติ (Qualifying Examination) เพื่อเป็นผู้มีสิทธิ์ขอทำดุษฎีนิพนธ์

3. ได้เสนอดุษฎีนิพนธ์และสอบผ่านการสอบปากเปล่าขั้นสุดท้ายโดยคณะกรรมการ ซึ่งจะต้องประกอบด้วยผู้ทรงคุณวุฒิจากภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย และต้องเป็นระบบเปิดให้ผู้สนใจเข้ารับฟังได้ และส่งรูปเล่มดุษฎีนิพนธ์ฉบับสมบูรณ์ที่จัดพิมพ์ตามข้อกำหนดของบัณฑิตวิทยาลัย สำหรับการสอบปากเปล่า ให้ดำเนินการโดยคณะกรรมการสอบดุษฎีนิพนธ์ที่มหาวิทยาลัยแต่งตั้งมีองค์ประกอบเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานหลักสูตรระดับบัณฑิตศึกษา พ.ศ. 2565 และเป็นไปตามประกาศของมหาวิทยาลัยกำหนด

4. ผลงานดุษฎีนิพนธ์หรือส่วนหนึ่งของดุษฎีนิพนธ์ต้องได้รับการตีพิมพ์หรืออย่างน้อยได้รับการยอมรับให้ตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติที่มีคุณภาพตามประกาศที่คณะกรรมการกำหนด อย่างน้อย 1 เรื่อง หรือได้รับสิทธิบัตร หรือเป็นผลงานนวัตกรรมหรืองานสร้างสรรค์ที่สามารถนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ สังคม เศรษฐกิจ อย่างน้อย 1 เรื่อง

หมวดที่ 8
การประกันคุณภาพหลักสูตร

1. การวางแผนคุณภาพและการควบคุมคุณภาพ

1.1 การออกแบบการวางแผนคุณภาพ (Quality Planning) และการควบคุมคุณภาพ (Quality Control)

เพื่อพัฒนาบัณฑิตให้เป็นผู้มีคุณลักษณะพึงประสงค์สอดคล้องกับปรัชญาและวัตถุประสงค์หลักสูตร และผลลัพธ์การเรียนรู้ของหลักสูตร (PLOs) หลักสูตรได้มีการออกแบบการวางแผนคุณภาพและการควบคุมคุณภาพ ดังนี้

1. การวางแผน โดยกำหนดคุณภาพและเกณฑ์ควบคุมคุณภาพการศึกษาของหลักสูตรที่สอดคล้องกับเกณฑ์ของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และของมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย (Criteria ของ AUN-QA)
การดำเนินการ โดยกำหนดตัวชี้วัดและดำเนินการตามแผน
2. การตรวจสอบ ประเมินคุณภาพการศึกษาผ่านตัวชี้วัดทุกปีการศึกษา
3. การปรับปรุงคุณภาพการศึกษาของหลักสูตรจากผลการประเมิน

การประกันคุณภาพหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ หลักสูตรใหม่ พ.ศ. 2568 โดยให้เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานหลักสูตรในองค์ประกอบที่ 1 การกำกับมาตรฐาน และตามเกณฑ์คุณภาพเครือข่ายการประกันคุณภาพมหาวิทยาลัยอาเซียน ASEAN University Network – Quality Assurance (AUN-QA) version 4 ประกอบด้วยเกณฑ์ 8 เกณฑ์ดังนี้

เกณฑ์คุณภาพที่ 1 ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง (Expected Learning Outcomes)
เกณฑ์คุณภาพที่ 2 โครงสร้างเนื้อหาหลักสูตร (Programme Structure and Content)
เกณฑ์คุณภาพที่ 3 การจัดการเรียนการสอน (Teaching and Learning Approach)
เกณฑ์คุณภาพที่ 4 การประเมินผู้เรียน (Student Assessment)
เกณฑ์คุณภาพที่ 5 บุคลากรสายวิชาการ (Academic Staff)
เกณฑ์คุณภาพที่ 6 การบริการสนันสนุนผู้เรียน (Student Support Services)
เกณฑ์คุณภาพที่ 7 สิ่งอำนวยความสะดวกและโครงสร้างพื้นฐาน (Facilities and Infrastructure)
เกณฑ์คุณภาพที่ 8 ผลผลิตและผลลัพธ์ (Output and Outcomes)

1.2 ตัวชี้วัดเชิงกระบวนการ

ตัวบ่งชี้ผลการดำเนินงาน	ปีการศึกษา				
	2568	2569	2570	2571	2572
มาตรฐานคุณวุฒิสาขา/สาขาวิชา					
1. อาจารย์ประจำหลักสูตรอย่างน้อยร้อยละ 80 มีส่วนร่วมในการประชุมเพื่อวางแผน ติดตาม และทบทวนการดำเนินงานหลักสูตร	✓	✓	✓	✓	✓
2. มีรายละเอียดของหลักสูตรที่สอดคล้องกับกรอบมาตรฐานคุณวุฒิแห่งชาติ หรือมาตรฐานคุณวุฒิสาขา/สาขาวิชา (ถ้ามี)	✓	✓	✓	✓	✓
3. มีรายละเอียดของรายวิชา และรายละเอียดของ ประสบการณ์ภาคสนาม (ถ้ามี) ก่อนการเปิดสอนในแต่ละภาคการศึกษาให้ครบทุกรายวิชา	✓	✓	✓	✓	✓

ตัวบ่งชี้ผลการดำเนินงาน	ปีการศึกษา				
	2568	2569	2570	2571	2572
มาตรฐานคุณวุฒิสาขา/สาขาวิชา					
4. จัดทำรายงานผลการดำเนินการของรายวิชา และรายงานผลการดำเนินการของประสบการณ์ภาคสนาม (ถ้ามี) ภายใน 30 วัน หลังสิ้นสุดภาคการศึกษาที่เปิดสอนให้ครบทุกรายวิชา	✓	✓	✓	✓	✓
5. จัดทำรายงานผลการดำเนินการของหลักสูตรภายใน 60 วัน หลังสิ้นสุดปีการศึกษา	✓	✓	✓	✓	✓
6. มีการทวนสอบผลสัมฤทธิ์ของนักศึกษาตามมาตรฐานผลการเรียนรู้ที่กำหนดใน CLOs อย่างน้อยร้อยละ 25 ของรายวิชาที่เปิดสอนในแต่ละปีการศึกษา	✓	✓	✓	✓	✓
7. มีการพัฒนา/ปรับปรุงการจัดการเรียนการสอนกลยุทธ์การสอน หรือ การประเมินผลการเรียนรู้ จากผลการประเมินการดำเนินงานที่รายงานในผลการดำเนินงานของหลักสูตรในรอบปีที่แล้ว	✓	✓	✓	✓	✓
8. อาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตรที่ได้รับแต่งตั้งใหม่ (ถ้ามี) ทุกคน ได้รับการปฐมนิเทศหรือคำแนะนำด้านการบริหารจัดการหลักสูตรและการจัดการเรียนการสอน	✓	✓	✓	✓	✓
9. อาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตรทุกคนได้รับการพัฒนา ทางวิชาการ และ/หรือวิชาชีพ อย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง	✓	✓	✓	✓	✓
10. จำนวนบุคลากรสนับสนุนการเรียนการสอน (ถ้ามี) ได้รับการพัฒนาวิชาการและ/หรือวิชาชีพไม่น้อยกว่าร้อยละ 50 ต่อปี	✓	✓	✓	✓	✓
11. ระดับความพึงพอใจของนักศึกษาปีสุดท้าย/บัณฑิตใหม่ที่มีต่อคุณภาพหลักสูตร เฉลี่ยไม่น้อยกว่า 3.51 จากคะแนนเต็ม 5.0	-	-	✓	✓	✓
12. ระดับความพึงพอใจของผู้ใช้บัณฑิตที่มีต่อบัณฑิตใหม่ เฉลี่ยไม่น้อยกว่า 3.51 จากคะแนนเต็ม 5.0	-	-	-	✓	✓
13. มีการวิพากษ์แผนบริหารการสอนและรายละเอียดรายวิชาก่อนเปิดสอนทุกรายวิชาโดยคณะกรรมการบริหารหลักสูตร	✓	✓	✓	✓	✓
14. มีการประชุมคณาจารย์เพื่อชี้แจ้งและทำความเข้าใจแผนการดำเนินงานและวางแผนการจัดการเรียนการสอน การกำหนดผู้สอนแต่ละรายวิชาก่อนเปิดภาคการศึกษา	✓	✓	✓	✓	✓
15. มีการประชุมคณาจารย์เพื่อสรุปและกลั่นกรองผลการเรียน การประเมินการเรียนการสอนอภิปรายประเด็นปัญหาต่าง ๆ หลังเสร็จสิ้นการเรียนการสอนในแต่ละภาคการศึกษา	✓	✓	✓	✓	✓
16. มีการทวนสอบสัมฤทธิ์ผลทางการเรียนรู้	✓	✓	✓	✓	✓
17. การบรรลุผลลัพธ์การเรียนรู้ (Learning Outcome)	✓	✓	✓	✓	✓
18. คะแนนเฉลี่ยของผลการประเมินรายวิชาในหลักสูตร	✓	✓	✓	✓	✓
19. ความพึงพอใจของนักศึกษาต่อสิ่งสนับสนุนการเรียนรู้	✓	✓	✓	✓	✓
รวมตัวบ่งชี้ (ข้อ) ในแต่ละปีการศึกษา	17	17	18	19	19
ตัวบ่งชี้บังคับ (ข้อที่)	1-5	1-5	1-5	1-5	1-5
ตัวบ่งชี้ต้องผ่าน (รวม)	16	18	19	19	19

1.3 กิจกรรมควบคุมคุณภาพ

1.3.1 กระบวนการประเมินและปรับปรุงกระบวนการจัดการเรียนรู้

วิธีการประเมิน	รอบการประเมิน	การนำผลการประเมินไปใช้
1. การประเมินผลการสอนของอาจารย์โดยนักศึกษา	ภาคการศึกษา	ใช้ประกอบการปรับปรุงรูปแบบการจัดการเรียนการสอน ปรับปรุงรายวิชา และการปรับปรุงหลักสูตร
2. มีการประเมินผลการเรียนรู้ของนักศึกษาโดยการสอบ	ภาคการศึกษา	ใช้ในการกำหนดระดับคะแนนให้นักศึกษาในรายวิชา การปรับปรุง รูปแบบการจัดการเรียนการสอน การปรับปรุงรายวิชาและการปรับปรุงหลักสูตร
3. มีการประเมินผลการเรียนรู้ของนักศึกษาโดยการทำโครงงาน	ภาคการศึกษา	ใช้ประกอบการปรับปรุงรูปแบบการดำเนินงานวิจัยในรายวิชาดุษฎีนิพนธ์
4. มีการวิเคราะห์ปัญหาการเรียนของนักศึกษา จุดอ่อนและจุดแข็งของนักศึกษา	ภาคการศึกษา	ใช้ประกอบการปรับปรุงรูปแบบการจัดการเรียนการสอน ปรับปรุง รายวิชา และการปรับปรุงหลักสูตร

1.3.2. กระบวนการประเมินทักษะของอาจารย์ในการใช้กระบวนจัดการเรียนรู้

วิธีการประเมิน	รอบการประเมิน	การนำผลการประเมินไปใช้
1. ให้นักศึกษาประเมินผลการสอนของอาจารย์ในทุกด้าน (ทักษะ กลยุทธ์การสอน การใช้สื่อการสอนทุกรายวิชา)	ภาคการศึกษา	ใช้ประกอบการปรับปรุงรูปแบบการจัดการเรียนการสอน ปรับปรุงรายวิชา และการปรับปรุงหลักสูตร
2. การประชุมเพื่อระดมความคิดอภิปราย และแลกเปลี่ยนปัญหาและอุปสรรคในการจัดการเรียนการสอนของอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร อาจารย์ประจำหลักสูตร และอาจารย์ผู้สอน	ภาคการศึกษา	ใช้ประกอบการปรับปรุงรูปแบบการจัดการเรียนการสอน ปรับปรุงรายวิชา และการปรับปรุงหลักสูตร

2. การบริหารความเสี่ยง

กระบวนการบริหารความเสี่ยง ประกอบด้วย

1. การกำหนดกลุ่มผู้มีส่วนได้ส่วนเสียที่จะมีผลต่อความเสี่ยง การพยากรณ์ ประเมิน และคาดคะเนประเภทและลักษณะของความเสี่ยง และกำหนดแผนรองรับ

2. การประเมินสถานการณ์ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ การรับเข้านักศึกษา อัตราการคงอยู่ อัตราการสำเร็จการศึกษา ข้อมูลป้อนกลับ (Feedback and Respond) ของผู้ใช้บัณฑิต การกำหนดช่องทางการรับฟังข้อมูลป้อนกลับและข้อร้องเรียน การรับรู้ข้อมูลปัจจัยเสี่ยงและความเสี่ยง ประกอบด้วยกล่องรับความคิดเห็นผ่านอีเมล์และเว็บไซด์ของหลักสูตร ไลน์กลุ่ม Facebook Fanpage การทำแบบสำรวจ (Google Form) การจัดการประชุมเพื่อการประเมินและการบริหารจัดการความเสี่ยงของหลักสูตร

3. การประเมินและจำแนกชนิด ประเภท และระดับของความเสี่ยงที่พบ และกำหนดวิธีการตอบโต้และตอบสนองต่อความเสี่ยง

4. การประเมินผลประสิทธิภาพของระบบ กลไก และกระบวนการบริหารจัดการความเสี่ยง ปัญหาอุปสรรค และข้อจำกัด และนำไปเป็นข้อมูลเพื่อปรับใช้ในการจัดการและตอบโต้ความเสี่ยง

การดำเนินการบริหารและจัดการความเสี่ยงดังระบุข้างต้น ดำเนินการโดยการแบ่งตามกลุ่มผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในกลุ่มนักศึกษาปัจจุบัน (ศิษย์เก่า-กรณีหลักสูตรปรับปรุง) และผู้ใช้บัณฑิต โดยจำแนกความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องและแผนการดำเนินการเพื่อรองรับความเสี่ยงดังต่อไปนี้

ความเสี่ยง	การประเมินความเสี่ยง	การรรับมือกับความเสี่ยง
1. จำนวนนักศึกษารับเข้าไม่เป็นไปตามแผนการรับนักศึกษา (5 คน)	จำนวนผู้รายงานตัวเข้าศึกษาในแต่ละปีการศึกษา	(1) ปรับวิธีประชาสัมพันธ์หลักสูตร (2) จัดทำกลยุทธ์และวิธีการรับเข้าที่สอดคล้องกับกลุ่มเป้าหมาย (3) กำหนดกลุ่มเป้าหมายเฉพาะที่มีแนวโน้มจะเข้าศึกษา (4) จัดทำแผนการการรับและ พัฒนานักศึกษา
2. อัตราการคงอยู่ของนักศึกษา	จำนวนนักศึกษาในแต่ละปีการศึกษา	(1) สำรวจสาเหตุการลาออกและหาทางแก้ไข (2) จัดกิจกรรมและบริการสนับสนุนนักศึกษา
3. นักศึกษาไม่สำเร็จการศึกษาตามกำหนดระยะเวลา	จำนวนนักศึกษาที่คงค้างในหลักสูตร	(1) สำรวจสาเหตุที่นักศึกษาไม่สำเร็จการศึกษาตามกำหนด (2) จัดทำแผนการแก้ไขป้องกัน และพัฒนานักศึกษาให้จบตามหลักสูตร
4. จำนวนอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตรไม่เพียงพอ	จำนวนอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตรและอาจารย์ประจำหลักสูตร	(1) สำรวจจำนวนและคุณสมบัติอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตรและอาจารย์ประจำหลักสูตรทุกปีการศึกษา (2) จัดทำแผนการหาอัตราทดแทนกรณีอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตรและอาจารย์ประจำหลักสูตรลาออกหรือเกษียณอายุราชการ (3) จัดทำแผนการพัฒนาผลงานวิชาการตามคุณสมบัติอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตรและอาจารย์ประจำหลักสูตร
5. สถานการณ์ทางสังคม เศรษฐกิจ เทคโนโลยีที่เปลี่ยนแปลง	แบบประเมินความเสี่ยงจากสถานการณ์ภายนอก	(1) จัดทำแผนการ คู่มือ ปรับกลยุทธ์การดำเนินงานและประสานงานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นการป้องกันและแก้ไขปัญหา

2.1 กิจกรรมการบริหารความเสี่ยง

2.1.1 การประเมินหลักสูตรในภาพรวม

ความเสี่ยง	การประเมินความเสี่ยง	การรรับมือกับความเสี่ยง
1. รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลผู้รายงานตัวเข้าศึกษาจากบัณฑิตวิทยาลัย	ปีการศึกษาละ 1 ครั้ง	(1) ใช้ประกอบการกำหนดแผนรับนักศึกษา (2) ใช้ประกอบการกำหนดกลุ่มเป้าหมายของผู้เข้าศึกษา
2. รวบรวมและวิเคราะห์อัตราการคงอยู่ของนักศึกษา	ปีการศึกษาละ 1 ครั้ง	(1) ใช้ประกอบการทบทวนและปรับปรุงหลักสูตร (2) ใช้เป็นวิธีการช่วยเหลือนักศึกษา
3. รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลจำนวนนักศึกษาคงค้าง	ปีการศึกษาละ 1 ครั้ง	(1) ใช้ปรกอบการทบทวนและปรับปรุงรูปแบบการจัดการเรียนการสอน การจัดกิจกรรมเสริมหลักสูตร
4. สำรวจผลงานทางวิชาการของอาจารย์และการสัมมนาประจำปี	ปีการศึกษาละ 1 ครั้ง	(1) ประกอบการกำหนดแนวทางสนับสนุนอาจารย์ทำผลงานวิชาการ (2) ประกอบการจัดทำแผนการหาอัตราทดแทน
5. ดำเนินการสำรวจความต้องการผู้มีส่วนได้ส่วนเสียให้เป็นปัจจุบัน	ปีการศึกษาละ 1 ครั้ง	ประกอบการปรับปรุงหลักสูตร

2.1.2 การประเมินผลการดำเนินงานตามรายละเอียดหลักสูตร

วิธีการประเมิน	รอบการประเมิน	การนำผลการประเมินไปใช้
การประเมินคุณภาพการศึกษาประจำปีระดับหลักสูตร	ปีการศึกษา	ประกอบการปรับปรุงรูปแบบการจัดการเรียนการสอนและการปรับปรุงหลักสูตร

2.2 ตัวชี้วัดความเสี่ยง

ความเสี่ยง	ตัวบ่งชี้ความเสี่ยง	ระดับความเสี่ยง	โอกาสเกิด (กรณีเสี่ยงมาก)	ผลกระทบต่อการดำเนินงานของหลักสูตร (กรณีเสี่ยงมาก)	ปีที่ประเมิน			
					ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4
(1) จำนวนนักศึกษา	อัตราการรับเข้า	(1) มาก คือ <60% (2) ปานกลางคือ 60-80% (3) ต่ำ คือ มากกว่า 80%			✓	✓	✓	✓
(2) อัตราการคงอยู่	อัตราการคงอยู่ของนักศึกษา				✓	✓	✓	✓
(3) จำนวนนักศึกษาไม่จบตามกำหนด	อัตราการสำเร็จการศึกษาตามกำหนดของหลักสูตร					✓	✓	✓
(4) จำนวนอาจารย์	(1) จำนวนผลงาน	(1) มาก คือ <1 ผลงาน (2) ปานกลางคือ 2 ผลงาน (3) ต่ำ คือ 3 ผลงานขึ้นไป			✓	✓	✓	✓
	(2) จำนวนอาจารย์ใหม่	(1) มาก คือ 3 คนขึ้นไป (2) ปานกลางคือ 2-3 คน (3) ต่ำ คือ 1 คน			✓	✓	✓	✓
(5) สถานการณ์	(1) คะแนนความพึงพอใจของ Stakeholders	(1) มาก คือ <1.50 (2) ปานกลางคือ 1.51-3.5 (3) ต่ำ คือ 3.51 ขึ้นไป			✓	✓	✓	✓
	(2) ร้อยละการร้องเรียน	1) มาก คือ >30% (2) ปานกลางคือ 10-30% (3) ต่ำ คือ <10%			✓	✓	✓	✓

2.3 กิจกรรมการป้องกันความเสี่ยง

หลักสูตรโดยคณะกรรมการบริหารหลักสูตรได้กำหนดกิจกรรมที่จะดำเนินการเพื่อป้องกันความเสี่ยงต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. กิจกรรมเพื่อลดความเสี่ยงด้านจำนวนนักศึกษารับเข้า ดำเนินการโดย

1.1การจัดทำโครงการความร่วมมือกับหน่วยงานการศึกษาเพื่อประชาสัมพันธ์บุคคลาการในองค์กร

1.2 การจัดกิจกรรม Open House ที่เจาะจงกลุ่มเป้าหมายเฉพาะ

2. กิจกรรมเพื่อลดความเสี่ยงด้านอัตราการคงอยู่ ดำเนินการโดย

2.1 กำหนดให้มีอาจารย์ที่ปรึกษาและคลินิกการให้คำปรึกษาการเรียน

2.2 การทบทวนและปรับรูปแบบการจัดการเรียนการสอนที่สอดคล้องกับเวลาของนักศึกษา

2.3 การทบทวนและปรับช่องทางการสื่อสารระหว่างหลักสูตร อาจารย์ผู้สอน และนักศึกษา

3. กิจกรรมเพื่อลดความเสี่ยงด้านการสำเร็จการศึกษาตามกำหนดเวลาของหลักสูตร

3.1 กำหนดให้มีอาจารย์ที่ปรึกษาและคลินิกการให้คำปรึกษาการเรียน

3.2 การปรับแผนการเรียน โดยให้มีการเปิดสอนรายวิชาที่นักศึกษาสอบไม่ผ่านในภาคเรียนนอกเหนือจากที่กำหนดในแผนการเรียน

3.3 การให้การสนับสนุนด้านการจัดทำโครงงาน หรือวิจัย

3.4 การติดตามและช่วยเหลือนักศึกษาที่มีปัญหาด้านทุนการศึกษาและค่าใช้จ่ายในการเรียน

3.5 การกำหนดให้มีช่องทางการสื่อสารระหว่างอาจารย์ นักศึกษา และเจ้าหน้าที่หลักสูตรเพื่อช่วยเหลือและให้คำแนะนำที่รวดเร็วและมีประสิทธิภาพ

3.6 การจัดให้มีช่องทางสำหรับกิจกรรมการสอนเสริมและหรือชดเชยสำหรับนักศึกษา

4. จำนวนอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตรไม่เพียงพอ

4.1 เสนอขออนุมัติอัตราทดแทนคนเดิมที่เกษียณอายุ/ลาออก/ไม่ต่อสัญญาจ้าง ต่อมหาวิทยาลัย

4.2 พัฒนาอาจารย์ที่ยังคุณสมบัติในการเป็นอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตรตามเกณฑ์มาตรฐานหลักสูตรให้มีคุณสมบัติตามเกณฑ์ ทั้งการศึกษาต่อเพิ่มวุฒิที่ตรงสาขา และการทำผลงานวิชาการที่ตรงกับสาขา

5. สถานการณ์สังคม เศรษฐกิจ เทคโนโลยี ที่เปลี่ยนแปลง

5.1 การทวนสอบสัมฤทธิ์ผลทางการเรียนของนักศึกษาตามมาตรฐานการเรียนรู้และผลลัพธ์การเรียนรู้ของหลักสูตร

5.2 การจัดกิจกรรมประชุม สัมมนาร่วมกับหน่วยงานตกลงร่วมผลิตเพื่อศึกษาและวิเคราะห์สถานการณ์ร่วมกันและนำไปใช้ในการทบทวนและปรับปรุงการจัดการเรียนการสอนปรับปรุงรายวิชาและการปรับปรุงหลักสูตร

5.3 การจัดกิจกรรมประชุมทางวิชาการและสนับสนุนอาจารย์และนักศึกษาเข้าร่วมการประชุมทางวิชาการที่เกี่ยวข้องทั้งในประเทศและต่างประเทศ

5.4 การจัดกิจกรรมศึกษาดูงานและเชิญวิทยากรที่มีชื่อเสียงบรรยายให้แก่นักศึกษา

3. การแผยแพร่ข้อมูลของหลักสูตรให้ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียทราบ

หลักสูตรได้มีการกำหนดระบบ กลไก และกระบวนการในการเผยแพร่ข้อมูลหลักสูตรผ่านช่องทางที่หลากหลายไปยังผู้มีส่วนได้ส่วนเสียได้ทราบ ดังนี้

1. การเผยแพร่ผ่าน Web Site ของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย และของหลักสูตร

2. การเผยแพร่ผ่านช่องทาง Facebook Fanpage ของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย และของหลักสูตร

3. การเผยแพร่ผ่านกลุ่มแชตทาง Line Application, Instagram, X ของอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร อาจารย์ประจำหลักสูตร อาจารย์ผู้สอน นักศึกษา และหน่วยงานตกลงร่วมผลิต

4. การเผยแพร่ผ่านการทำจดหมายข่าว (News Release)

5. การบอกต่อปากต่อปากจากผู้สำเร็จการศึกษา

หมวดที่ 9
ระบบและกลไกการพัฒนาหลักสูตร

1. กระบวนการออกแบบระบบและกลไกการพัฒนาหลักสูตร

1.1 กิจกรรมการพัฒนาหลักสูตร

ในการดำเนินการพัฒนาหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณเพื่อให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (Stakeholders) และสอดคล้องกับยุทธศาสตร์ชาติ ยุทธศาสตร์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงของสถานการณ์ด้านสังคม เศรษฐกิจ เทคโนโลยี หลักสูตรได้ดำเนินการพัฒนาหลักสูตรโดยสำรวจความต้องการของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียอย่างเป็นระบบ ดังนี้

1. การวางแผน โดยการประชุมของทีมอาจารย์ที่มีคุณวุฒิการศึกษา ผลงานวิชาการ ประสบการณ์ที่สัมพันธ์กับหลักสูตร ร่วมกับผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกทั้งจากวงการวิชาการและวงการวิชาชีพ เพื่อกำหนดกรอบร่าง (Framework) ของหลักสูตร โดยดำเนินการนำเสนอต่อมหาวิทยาลัยแต่งตั้งเป็นคณะกรรมการพัฒนาหลักสูตร

2. การดำเนินการ โดยคณะกรรมการพัฒนาหลักสูตรที่มหาวิทยาลัยแต่งตั้ง ได้กำหนดกลุ่มผู้มีส่วนได้ส่วนเสียที่จะดำเนินการสำรวจความต้องการเพื่อรวบรวมข้อมูลและนำข้อมูลมาวิเคราะห์ประกอบการกำหนดปรัชญา วัตถุประสงค์ และผลลัพธ์การเรียนรู้ (PLOs: Program Learning Outcomes) ผลลัพธ์การเรียนรู้เมื่อสิ้นสุดปีการศึกษา (YLOs: Year Learning Outcomes) ผลลัพธ์การเรียนรู้ของรายวิชา (CLOs: Course Learning Outcomes) และผลลัพธ์การเรียนรู้ประจำบทเรียน (LLOs: Lesson Learning Outcomes) เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการกำหนดโครงสร้างหลักสูตรและรายวิชา กระบวนการจัดการเรียนการสอน การวัดผลและประเมินผล

3. การตรวจสอบ โดยการดำเนินการทวนสอบและตรวจสอบข้อมูลป้อนกลับ (Feedback) จากผู้มีส่วนได้ส่วนเสียกลุ่มต่าง ๆ

4. การประเมินประสิทธิผลและประสิทธิภาพของกระบวนการวางแผนคุณภาพและการควบคุมและกำกับคุณภาพโดยการกำหนดตัวชี้วัดความสำเร็จ ปัญหา อุปสรรค ข้อจำกัด ความเสี่ยงต่าง ๆ และใช้เป็นข้อมูลที่ได้จากการประเมินเป็นข้อมูลป้อนกลับในการวางแผนดำเนินการในการดำเนินการครั้งต่อไป

1.2 ตัวชี้วัด

ที่	ดัชนีบ่งชี้ผลการดำเนินงาน	ปีที่			
		1	2	3	4
1	จำนวนนักศึกษาที่สำเร็จการศึกษา	-	-	10	20
2	จำนวนบัณฑิตที่มีงานทำ (เลื่อนตำแหน่งที่สูงขึ้นหลังปรับวุฒิ)	-	≥80%	≥80%	≥80%
3	จำนวนบัณฑิตที่ประกอบธุรกิจส่วนตัว	-	-	-	-
4	คะแนนการประเมินความพึงพอใจต่อบัณฑิตจากผู้ใช้บัณฑิตไม่ต่ำกว่า 3.51 จาก 5	-	≥3.51	≥3.51	≥3.51
5	ผลการประเมินนักศึกษาปัจจุบัน ไม่ต่ำกว่า 3.51 จาก 5 ในทุกรายวิชา	≥3.51	≥3.51	≥3.51	≥3.51

2. การประเมินหลักสูตรในภาพรวม

วิธีการประเมิน	รอบการประเมิน	การนำผลการประเมินไปใช้
(1) ประเมินโดยนักศึกษาปีสุดท้าย	ปีการศึกษา	ใช้ประกอบการปรับปรุงรูปแบบการจัดการเรียนการสอน และการปรับปรุงหลักสูตร
(2) ประเมินโดยบัณฑิตที่สำเร็จการศึกษา	ปีการศึกษา	ใช้ประกอบการปรับปรุงรูปแบบการจัดการเรียนการสอน การปรับปรุงรายวิชา และการปรับปรุงหลักสูตร
(3) ประเมินโดยผู้ใช้บัณฑิต/ผู้มีส่วนได้เสีย	ปีการศึกษา	ใช้ประกอบการปรับปรุงรูปแบบการจัดการเรียนการสอน การปรับปรุงรายวิชา และการปรับปรุงหลักสูตร

3. การประเมินผลการดำเนินงานตามรายละเอียดหลักสูตร

วิธีการประเมิน	รอบการประเมิน	การนำผลการประเมินไปใช้
การประเมินคุณภาพการศึกษาประจำปีระดับหลักสูตร	ปีการศึกษา	ใช้ประกอบการปรับปรุงรูปแบบการจัดการเรียนการสอน และการปรับปรุงหลักสูตร

ภาคผนวก ก คำสั่งฯ แต่งตั้งคณะกรรมการพัฒนาหลักสูตร

คำสั่งมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
ที่ ๖๗๒๒/๒๕๖๗
เรื่อง แต่งตั้งคณะกรรมการพัฒนาหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ หลักสูตรใหม่ พ.ศ. ....
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

เพื่อให้การดำเนินการพัฒนาหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ หลักสูตรใหม่ พ.ศ. .... คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย เป็นไปด้วยความเรียบร้อยและมีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับประกาศคณะกรรมการมาตรฐานการอุดมศึกษา เรื่อง เกณฑ์มาตรฐานหลักสูตรระดับบัณฑิตศึกษา พ.ศ. ....

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๓๑ (๒) แห่งพระราชบัญญัติมหาวิทยาลัยราชภัฏ พ.ศ. ๒๕๔๗ จึงแต่งตั้งคณะกรรมการพัฒนาหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ หลักสูตรใหม่ พ.ศ. .... คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ดังนี้

๑. ที่ปรึกษา

๑.๑ รองศาสตราจารย์ ดร.ศรชัย มุ่งไธสง	อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
๑.๒ รองศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ ด้วงนคร	รองอธิการบดี
๑.๓ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ยิ่งศักดิ์ เพชรนิล	รองอธิการบดี
๑.๔ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยพร ศรีสม	คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
๑.๕ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภูมิพงษ์ ดวงตั้ง	คณบดีคณะเทคโนโลยีดิจิทัล

หน้าที่

ให้คำปรึกษาและข้อเสนอแนะในการพัฒนาหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ

๒. คณะกรรมการดำเนินการ

๒.๑ อาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตรและอาจารย์ประจำหลักสูตร (รองศาสตราจารย์ ดร.ฟ้ารุ่ง สุรินา บุญทิศ)	ประธานกรรมการ
๒.๒ หัวหน้าศูนย์วิเคราะห์ข้อมูลดิจิทัลอัจฉริยะ พระจอมเกล้าลาดกระบัง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง) (อาจารย์ ดร.อัคเดช อุดมชัยพร)	กรรมการ
๒.๓ กรรมการบริษัทซัคเซส โซลูชั่น โพรไวเดอร์ (นางสาวพิไลศิริ ชัยศรี)	กรรมการ

/๒.๔ ผู้จัดการ...

๒.๔ ผู้จัดการสาขาเชียงราย บริษัททิพยะประกันภัย มหาชน จำกัด (นายพรเทพ พันกอง)	กรรมการ
๒.๕ รองคณบดีด้านจัดการศึกษา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธีรวัชร แก้วเปี้ย)	กรรมการ
๒.๖ อาจารย์ประจำหลักสูตร (อาจารย์ ดร.สุรัสวดี นางแล)	กรรมการ
๒.๗ อาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตรและอาจารย์ประจำหลักสูตร (ศาสตราจารย์ ดร. An Zhenzhou)	กรรมการ
๒.๘ อาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตรและอาจารย์ประจำหลักสูตร (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จำรัส กลิ่นหนู)	กรรมการ
๒.๙ อาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตรและอาจารย์ประจำหลักสูตร (อาจารย์ ดร.ธนายุทธ ช่างเรือนงาม)	กรรมการและเลขานุการ

หน้าที่

๑. ศึกษา รวบรวม และวิเคราะห์ข้อมูลประกอบการพัฒนาหลักสูตรตามขั้นตอนการพัฒนาหลักสูตรระดับบัณฑิตศึกษาของมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

๒. จัดทำเอกสารรายงานการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการเปิดสอนหลักสูตรใหม่ และนำเสนอเพื่อขอความเห็นชอบตามขั้นตอนการเสนอหลักสูตรใหม่ของมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

๓. จัดทำเอกสารหลักสูตรฉบับร่างที่มีองค์ประกอบครบถ้วนตามเกณฑ์มาตรฐานหลักสูตรระดับบัณฑิตศึกษา พ.ศ. ๒๕๖๕

๔. ดำเนินการให้มีการวิพากษ์หลักสูตรโดยผู้ทรงคุณวุฒิเพื่อพิจารณาและกลั่นกรองความถูกต้องเหมาะสม และสอดคล้องกับเกณฑ์มาตรฐานหลักสูตร

๕. ดำเนินการปรับปรุง เปลี่ยนแปลง และแก้ไขรายละเอียด ตลอดจนสาระสำคัญของหลักสูตรให้เป็นไปตามข้อเสนอแนะของคณะกรรมการวิพากษ์หลักสูตร

๖. นำเสนอร่างหลักสูตรเพื่อขออนุมัติการเปิดสอนตามหลักเกณฑ์ วิธีการ และขั้นตอนการดำเนินการพัฒนาหลักสูตรของมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ต่อสภามหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

ทั้งนี้ ตั้งแต่บัดนี้เป็นต้นไป

สั่ง ณ วันที่ ๑๑ ธันวาคม พ.ศ. ๒๕๖๗

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศรชัย มุ่งไธสง)
อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

ภาคผนวก ข คำสั่งฯ แต่งตั้งคณะกรรมการวิพากษ์หลักสูตร

คำสั่งมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
ที่ ๓๗๒/๒๕๖๘
เรื่อง แต่งตั้งคณะกรรมการวิพากษ์หลักสูตร ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ หลักสูตรใหม่ พ.ศ. ๒๕๖๘
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

เพื่อให้การดำเนินการวิพากษ์หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ หลักสูตรใหม่ พ.ศ. ๒๕๖๘ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิ์ภาพและบรรลุวัตถุประสงค์สูงสุด

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๓๓ (๒) แห่งพระราชบัญญัติมหาวิทยาลัยราชภัฏ พ.ศ. ๒๕๔๗ จึงแต่งตั้งคณะกรรมการวิพากษ์หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาปัญญาประดิษฐ์ และวิทยาการคำนวณ หลักสูตรใหม่ พ.ศ. ๒๕๖๘ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ดังนี้

๑. ที่ปรึกษา

๑.๑ รองศาสตราจารย์ ดร.ศรชัย มุ่งไธสง	อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
๑.๒ รองศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ ด้วงนคร	รองอธิการบดี
๑.๓ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ยิ่งศักดิ์ เพชรนิล	รองอธิการบดี
๑.๔ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยพร ศรีสม	คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
๑.๕ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภูมิพงษ์ ดวงดั้ง	คณบดีคณะเทคโนโลยีดิจิทัล

๒. คณะกรรมการดำเนินการ

๒.๑ อาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร (รองศาสตราจารย์ ดร.ฟ้ารุ่ง สุรินา บุญทิศ)	ประธานกรรมการ
๒.๒ อาจารย์ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (ศาสตราจารย์ ดร.สุเทพ สวนใต้)	กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ
๒.๓ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ตารณี หอมดี)	กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ
๒.๔ รองศึกษาธิการจังหวัดเชียงราย (พันจ่าตรีฉลอง อ่อนนวน)	กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ
๒.๕ กรรมการบริษัทซัคเซส โซลูชั่น โพรไวเดอร์ (นางสาวพิไลศิริ ชัยศรี)	กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ

/๒.๖ อาจารย์โปรแกรมวิชาคณิตศาสตร์

๒.๖ อาจารย์โปรแกรมวิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคำนวณ กรรมการ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธัญวรัชญ์ บุตรสาร)

๒.๗ อาจารย์โปรแกรมวิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคำนวณ กรรมการ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
(อาจารย์ ดร.สุรัสวดี นางแล)

๒.๘ อาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร กรรมการและเลขานุการ
(อาจารย์ ดร.ธนายุทธ ช่างเรือนงาม)

๒.๙ อาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร กรรมการและ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จำรัส กลิ่นหนู) ผู้ช่วยเลขานุการ

๒.๑๐ เจ้าหน้าที่บริหารงานทั่วไป ชำนาญการ ผู้ช่วยเลขานุการ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
(นางสาวศิวพร พลอยเพ็ชร)

หน้าที่

๑. ศึกษา รวบรวม และวิเคราะห์ข้อมูลผู้ประกอบการพัฒนาหลักสูตร

๒. พัฒนาหลักสูตรให้สอดคล้องกับมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษา และเกณฑ์มาตรฐานหลักสูตร ระดับปริญญาเอก

๓. จัดทำเอกสารหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาปัญญาประดิษฐ์ และวิทยาการคำนวณ เพื่อเตรียมเสนอต่อคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิวิพากษ์หลักสูตร

๔. อื่น ๆ ตามความเหมาะสม

ทั้งนี้ ตั้งแต่บัดนี้เป็นต้นไป

สั่ง ณ วันที่ ๑๗ มกราคม พ.ศ. ๒๕๖๗

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศรชัย มุ่งไธสง)
อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

ภาคผนวก ค ประวัติอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร อาจารย์ประจำหลักสูตร และอาจารย์ผู้สอน

ประวัติอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตรและอาจารย์ประจำหลักสูตร

ชื่อ - สกุล นายธนายุทธ ช่างเรือนงาม
ตำแหน่งทางวิชาการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ (สาขาวิชาคณิตศาสตร์)
ประวัติการศึกษา

ปร.ด. (วิทยาศาสตร์เชิงคำนวณ)	มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง	พ.ศ. 2565
วท.ม. (คณิตศาสตร์)	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	พ.ศ. 2555
วท.บ. (คณิตศาสตร์)	มหาวิทยาลัยแม่โจ้	พ.ศ. 2552

ประวัติการทำงาน

พ.ศ 2567-ปัจจุบัน	ผู้ช่วยศาสตราจารย์คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
พ.ศ 2555-2567	อาจารย์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

ผลงานวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์ เผยแพร่

กนกพร ช่างเรือนงาม, วณิชยา วันไชยธนวงศ์, จำรัส กลิ่นหนู, ณรงค์ศักดิ์ ศรีสม, สุรัสวดี นางแล, & ธนายุทธ ช่างเรือนงาม. (2567). การส่งเสริมพัฒนาการเด็กกลุ่มเสี่ยงด้วย Line Chatbot และ Machine Learning. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์*, 4(2), 71–83.

Changruenngam, T., Nanglae, S., Butsan, T., & Sudsanit, S. (2023). Forecasting the number of foreign workers in Thailand by exponential smoothing method. *Journal of Science and Technology, Mahasarakham University, 43*(1), 63–72.

Changruenngam, T., Deetha, D., Sukkai, C., Youyuenyong, P., Sarotsakulchai, N., & Surina, F. (2023). The first dark sky map of Chiang Rai: Three decades of change affecting astro-tourism. *Journal of Physics: Conference Series, 2653*, 012027.

รายวิชาที่รับผิดชอบสอนในหลักสูตร

1. AICS9101 วิทยาการคำนวณ
2. AICS9102 การเขียนโปรแกรมและหลักการอัลกอริทึม
3. AICS9103 ทฤษฎีและการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์
4. AICS9201 การเรียนรู้ของเครื่อง
5. AICS9303 สัมมนาด้านการใช้ปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณสำหรับงานด้านวิทยาศาสตร์และสาธารณสุขศาสตร์

คำสั่งมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
ที่ 1243/2568
เรื่อง แต่งตั้งพนักงานมหาวิทยาลัยให้ดำรงตำแหน่งทางวิชาการ

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 31 (2) แห่งพระราชบัญญัติมหาวิทยาลัยราชภัฏ พ.ศ. 2547 ประกอบกับ ประกาศ ก.พ.อ. เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการพิจารณาแต่งตั้งบุคคลให้ดำรงตำแหน่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ รองศาสตราจารย์ และศาสตราจารย์ พ.ศ. 2564 และข้อบังคับสภามหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ว่าด้วยหลักเกณฑ์และวิธีการพิจารณาแต่งตั้งบุคคล ให้ดำรงตำแหน่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ รองศาสตราจารย์ และศาสตราจารย์ พ.ศ. 2566 และมติสภามหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ในการประชุมครั้งที่ 3/2568 เมื่อวันที่ 21 กุมภาพันธ์ 2568 จึงแต่งตั้งพนักงานมหาวิทยาลัย จำนวน 2 ราย ให้ดำรงตำแหน่งทางวิชาการ ดังบัญชีรายละเอียดแนบท้ายคำสั่งนี้

สั่ง ณ วันที่ 25 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2568

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จำรัส กลิ่นหนู)
รองอธิการบดี รักษาราชการแทน
อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

บัญชีรายละเอียดการแต่งตั้งพนักงานมหาวิทยาลัยให้ดำรงตำแหน่งทางวิชาการ

แนบท้ายคำสั่งมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ที่ 1243/2568 สั่ง ณ วันที่ 25 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2568

ที่	ชื่อ - สกุล	วุฒิ/วิชาเอก	ตำแหน่งและส่วนราชการเดิม		อัตราค่าจ้างปัจจุบัน	ตำแหน่งที่เลื่อน		อัตราค่าจ้างปัจจุบัน	สาขาวิชาที่ได้รับแต่งตั้ง	ตั้งแต่วันที่
			ตำแหน่ง/ สังกัด	เลขที่ตำแหน่ง		ตำแหน่ง/ สังกัด	เลขที่ตำแหน่ง			
1	นายธนายุทธ ช่างเรือนงาม	วท.ม. (คณิตศาสตร์) ปร.ด. (วิทยาศาสตร์เชิงคำนวณ)	อาจารย์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	513		ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	513		คณิตศาสตร์ทั่วไป (0101)	7 พ.ค. 2567
2	นางสาวกษิรา ภิวงศ์กูร	ศป.ม. (ออกแบบนิเทศศิลป์) ปร.ด. (ทัศนศิลป์และการออกแบบ)	อาจารย์ คณะเทคโนโลยีดิจิทัล	073		ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะเทคโนโลยีดิจิทัล	073		ออกแบบพาณิชยศิลป์ (8503) อนุสาขาวิชาออกแบบเลขศิลป์ (850302)	21 มิ.ย. 2567

ประวัติอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตรและอาจารย์ประจำหลักสูตร

ชื่อ - สกุล นายจำรัส กลิ่นหนู
ตำแหน่งทางวิชาการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ (สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์)
ประวัติการศึกษา

ปร.ด. (เทคโนโลยีการศึกษา)	มหาวิทยาลัยรามคำแหง	พ.ศ. 2555
ศศ.ม. (วิจัยเพื่อการพัฒนาท้องถิ่น)	สถาบันราชภัฏเชียงราย	พ.ศ. 2545
ค.บ. (คอมพิวเตอร์ศึกษา)	วิทยาลัยครู เพชรบุรี	พ.ศ. 2535

ประวัติการทำงาน

พ.ศ. 2564-ปัจจุบัน	รองอธิการบดี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย รักษาการในตำแหน่ง ผู้อำนวยการสถาบัน ถ่ายทอดเทคโนโลยีและนวัตกรรม
พ.ศ. 2554-2560	คณะกรรมการบริหาร สำนักวิชาคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ สำนักวิชา คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ
พ.ศ. 2554-2558	รองคณบดีฝ่ายวิชาการ สำนักวิชาคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ
พ.ศ. 2548-2553	รองคณบดีฝ่ายกิจการนักศึกษาและฝ่ายวิจัยพัฒนา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
พ.ศ. 2542-2546	รองคณบดีฝ่ายกิจการนักศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
พ.ศ. 2535-2542	อาจารย์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยครูเชียงราย

ผลงานวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์ เผยแพร่

ปิยพร ศรีสม, ณัฏฐพล สันธิ, กิตติศักดิ์ นิวรัตน์, จำรัส กลิ่นหนู, ณรงค์ศักดิ์ ศรีสม, รันฎา เผ่ากันทะ, & กรนิกา เขื่อนแก้ว. (2568). การปลูกพืชกัญชาทางการแพทย์ในระบบเกษตรอัจฉริยะ. ใน เสมอ ถาน้อย (บ.ก.), *University role for area manager development: รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการโครงการประชุมวิชาการระดับชาติพะเยาวิจัย ครั้งที่ 14* (หน้า 166–174). มหาวิทยาลัยพะเยา.

กนกพร ช่างเรือนงาม, วณิชยา วันไชยธนวงศ์, จำรัส กลิ่นหนู, ณรงค์ศักดิ์ ศรีสม และสุรัสวดี นางแล และและธนายุทธ ช่างเรือนงาม และและธนายุทธ ช่างเรือนงาม. (2567). การส่งเสริมพัฒนาการเด็กกลุ่มเสี่ยงด้วย Line Chatbot และ Machine Learning. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์,* 4(2), 71 - 83.

Khonrang, J., Boonlom, K., Siri, A., & Klinhnu, J. (2021). The design and development of micro grid electrical power perceptron neural network. *Review of International Geographical Education*, *11*(9), 2711–2721.

รายวิชาที่รับผิดชอบสอนในหลักสูตร

1. AICS9102 การเขียนโปรแกรมและหลักการอัลกอริทึม
2. AICS9203 ปัญญาประดิษฐ์ในเทคโนโลยีอัจฉริยะ
3. AICS9303 สัมมนาด้านการใช้ปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณสำหรับงานด้านวิทยาศาสตร์และสาธารณสุขศาสตร์

คำสั่งมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

ที่ 6615/2561

เรื่อง กำหนดชื่อสาขาวิชาสำหรับการเสนอขอกำหนดตำแหน่งทางวิชาการ และเทียบเคียงสาขาวิชาที่เคยกำหนดไปแล้ว

เพื่อให้การกำหนดชื่อสาขาวิชาสำหรับการเสนอขอกำหนดตำแหน่งทางวิชาการและการเทียบเคียงสาขาวิชาที่เคยกำหนดไปแล้วของผู้ดำรงตำแหน่งทางวิชาการในปัจจุบัน เป็นไปตามประกาศ ก.พ.อ. เรื่อง การกำหนดชื่อสาขาวิชาสำหรับการเสนอขอกำหนดตำแหน่งทางวิชาการและการเทียบเคียงสาขาวิชาที่เคยกำหนดไปแล้ว พ.ศ. 2561

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 28 แห่งพระราชบัญญัติระเบียบข้าราชการพลเรือนในสถาบันอุดมศึกษา (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2551 ประกอบกับประกาศ ก.พ.อ. เรื่อง การกำหนดชื่อสาขาวิชาสำหรับการเสนอขอกำหนดตำแหน่งทางวิชาการและการเทียบเคียงสาขาวิชาที่เคยกำหนดไปแล้ว พ.ศ. 2561 และมติสภามหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ในการประชุมครั้งที่ 11/2561 เมื่อวันที่ 12 ตุลาคม 2561 จึงกำหนดชื่อสาขาวิชาสำหรับการเสนอขอกำหนดตำแหน่งทางวิชาการและเทียบเคียงสาขาวิชาที่เคยกำหนดไปแล้วของผู้ดำรงตำแหน่งทางวิชาการในปัจจุบัน ดังบัญชีรายละเอียดแนบท้ายคำสั่งนี้

สั่ง ณ วันที่ 24 ตุลาคม พ.ศ. 2561

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรชัย มุ่งไธสง)
อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

ที่	ชื่อ - นามสกุล	ตำแหน่ง	สาขาวิชาที่เคยกำหนดไปแล้ว	รหัส	สาขาวิชาตามประกาศ กพอ. พ.ศ. 2561	รหัส	อนุสาขาวิชา
36	นายจำรัส กลิ่นหนู	ผู้ช่วยศาสตราจารย์	วิทยาการคอมพิวเตอร์	1806	เทคโนโลยีสารสนเทศ	180603	วิทยาการคอมพิวเตอร์
37	นางสาวธิดาลักษณ์ อยู่เย็น	ผู้ช่วยศาสตราจารย์	วิทยาการคอมพิวเตอร์	1806	เทคโนโลยีสารสนเทศ	180603	วิทยาการคอมพิวเตอร์
38	นางสาววิจิตรา มนตรี	ผู้ช่วยศาสตราจารย์	วิทยาการคอมพิวเตอร์	1806	เทคโนโลยีสารสนเทศ	180603	วิทยาการคอมพิวเตอร์
39	นางสาวนวลนภา จุลสุทธิ	ผู้ช่วยศาสตราจารย์	รัฐประศาสนศาสตร์	6102	รัฐประศาสนศาสตร์		
40	นางสาวจิรภา ศักดิ์กิตติมาลัย	รองศาสตราจารย์	การเงิน	6802	บริหารธุรกิจ	680215	การเงิน
41	นางกัสมา กาซ้อน	รองศาสตราจารย์	การบัญชี	6801	การบัญชี		
42	นายวัฒนา ยืนยง	ผู้ช่วยศาสตราจารย์	การบัญชี	6801	การบัญชี		
43	นางสาวพัทธมน บุณยราศรัย	ผู้ช่วยศาสตราจารย์	การบัญชี	6801	การบัญชี		
44	นางสาวปานฉัตร อาการักษ์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์	การบัญชี	6801	การบัญชี		
45	นางสาววรลักษณ์ วรรณโล	ผู้ช่วยศาสตราจารย์	การบัญชี	6801	การบัญชี		
46	นางพัชรา ก้อยชูสกุล	รองศาสตราจารย์	วิทยาศาสตร์สุขภาพ	2117	สรีรวิทยา		
47	นายปรีดา จันทร์แจ่มศรี	ผู้ช่วยศาสตราจารย์	ปรัชญาและศาสนา	8001	ปรัชญา		

ประวัติอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตรและอาจารย์ประจำหลักสูตร

ชื่อ - สกุล นางฟ้ารุ่ง สุรินา บุญทิศ
ตำแหน่งทางวิชาการ รองศาสตราจารย์ (สาขาวิชาฟิสิกส์)
ประวัติการศึกษา

Ph.D. (Astrophysics)	Liverpool John Moores University, UK	พ.ศ. 2557
M.Sc. (Astronomy)	Sejong University, Seoul, Korea	พ.ศ. 2552
ป.บัณฑิต (วิชาชีพครู)	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	พ.ศ. 2550
วท.บ. (ฟิสิกส์)	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	พ.ศ. 2549

ประวัติการทำงาน

พ.ศ. 2565-ปัจจุบัน	รองศาสตราจารย์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
พ.ศ. 2562-2565	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
พ.ศ. 2552-2562	อาจารย์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

ผลงานวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์ เผยแพร่

Khamrat, S., Noysena, K., Surina, F., & others. (2024). Galactic novae in the GOTO database. *Astronomical Society of the Pacific Conference Series, 536*, 35–40.

Changruenngam, T., Deetha, D., Sukkai, C., Youyuenyong, P., Sarotsakulchai, N., & Surina, F. (2023). The first dark sky map of Chiang Rai: Three decades of change affecting astro-tourism. *Journal of Physics: Conference Series, 2653*, 012027.

ธนายุทธ ช่างเรือนงาม, วลีพรรณ รกิติกุล, สุรัสวดี นางแล, จินดา ศิริดา, ปิยดา ยศสุนทร, ศิวรี สุดสนิท, & ฟ้ารุ่ง สุรินา บุญทิศ. (2568). กลยุทธ์และรูปแบบการพัฒนาการท่องเที่ยวฟ้ามืดข้ามพรมแดน (Strategy and model for sustainable transborder dark sky tourism). *วารสารสังคมศาสตร์วิชาการ*, 18(1). (อยู่ในระหว่างตอบรับ)

รายวิชาที่รับผิดชอบสอนในหลักสูตร

1. AICS9103 ทฤษฎีและการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์
2. AICS9207 การวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่
3. AICS9214 หัวข้อพิเศษทางปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ
4. AICS9301 สัมมนาด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ
5. AICS9401 ดุษฎีนิพนธ์ 1.1 และ AICS9402 ดุษฎีนิพนธ์ 2.1

คำสั่งมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
ที่ 5025/2565
เรื่อง แต่งตั้งพนักงานมหาวิทยาลัยให้ดำรงตำแหน่งทางวิชาการ

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 31 (2) แห่งพระราชบัญญัติมหาวิทยาลัยราชภัฏ พ.ศ. 2547 ประกอบกับ ประกาศ ก.พ.อ. เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการพิจารณาแต่งตั้งบุคคลให้ดำรงตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ รองศาสตราจารย์ และศาสตราจารย์ พ.ศ. 2560 ข้อบังคับสภามหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ว่าด้วยการพิจารณาตำแหน่งทางวิชาการสำหรับคณาจารย์ประจำที่เป็นพนักงานมหาวิทยาลัย สายการสอน พ.ศ. 2550 และมติสภามหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ในการประชุมครั้งที่ 11/2565 เมื่อวันที่ 23 กันยายน 2565 จึงแต่งตั้งพนักงานมหาวิทยาลัย จำนวน 6 ราย ให้ดำรงตำแหน่งทางวิชาการ ดังบัญชีรายละเอียดแนบท้ายคำสั่งนี้

สั่ง ณ วันที่ 23 กันยายน พ.ศ. 2565

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรชัย มุ่งไธสง)
อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

ที่	ชื่อ - สกุล	วุฒิ/วิชาเอก	ตำแหน่งและส่วนราชการเดิม		อัตรา ค่าจ้าง ปัจจุบัน	ตำแหน่งที่เลื่อน		อัตรา ค่าจ้าง ปัจจุบัน	สาขาวิชา ที่ได้รับ แต่งตั้ง	ตั้งแต่วันที่
			ตำแหน่ง/ สังกัด	เลขที่ ตำแหน่ง		ตำแหน่ง/ สังกัด	เลขที่ ตำแหน่ง			
5	นางฟ้ารุ่ง สุรินา บุญทิศ	วท.บ. (ฟิสิกส์) M.Sc. (Astronomy) Ph.D. (Astrophysics)	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะวิทยาศาสตร์และ เทคโนโลยี	287		รองศาสตราจารย์ คณะวิทยาศาสตร์และ เทคโนโลยี	287		ฟิสิกส์	19 พ.ค. 2565
6	นายโอม พัฒนโชติ	นศ.บ. (หนังสือพิมพ์) ศศ.ม. (ทัศนศิลป์) Doctor of Fine Art	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ มนุษยศาสตร์	529		รองศาสตราจารย์ มนุษยศาสตร์	529		ทัศนศิลป์	22 ก.ค. 2565

ประวัติอาจารย์ประจำหลักสูตร

ชื่อ - สกุล นางสาวสุรัสวดี นางแล
ตำแหน่งทางวิชาการ อาจารย์
ประวัติการศึกษา

ปร.ด. (วิทยาศาสตร์เชิงคำนวณ)	มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง	พ.ศ. 2558
วท.ม. (วิทยาศาสตร์เชิงคำนวณ)	มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง	พ.ศ. 2551
วท.บ. (สถิติ)	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	พ.ศ. 2548

ประวัติการทำงาน

พ.ศ. 2559 - ปัจจุบัน	อาจารย์ โปรแกรมวิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคำนวณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

ผลงานวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์ เผยแพร่

กนกพร ช่างเรือนงาม, วณิชยา วันไชยธนวงศ์, จำรัส กลิ่นหนู, ณรงค์ศักดิ์ ศรีสม, สุรัสวดี นางแล, & ธนายุทธ ช่างเรือนงาม. (2567). การส่งเสริมพัฒนาการเด็กกลุ่มเสี่ยงด้วย Line Chatbot และ Machine Learning. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์*, 4(2), 71–83.

ธนายุทธ ช่างเรือนงาม, วลีพรรณ รกิติกุล, สุรัสวดี นางแล, จินดา ศิริดา, ปิยดา ยศสุนทร, ศิวรี สุดสนิท, & ฟ้ารุ่ง สุรินา บุญทิศ. (2568). กลยุทธ์และรูปแบบการพัฒนาการท่องเที่ยวฟ้ามืดข้ามพรมแดน (Strategy and model for sustainable transborder dark sky tourism). *วารสารสังคมศาสตร์วิชาการ*, 18(1). (อยู่ระหว่างตอบรับ)

Changruenngam, T., Nanglae, S., Butsan, T., & Sudsanit, S. (2024). Forecasting for the number of foreign workers in Thailand by exponential smoothing method. *Journal of Science and Technology, Mahasarakham University, 43*(1), 63–72.

รายวิชาที่รับผิดชอบสอนในหลักสูตร

1. AICS9202 การเรียนรู้เชิงลึก
2. AICS9205 เหมืองข้อมูล
3. AICS9208 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ
4. AICS9209 การคำนวณเชิงสถิติสมัยใหม่
5. AICS9304 สัมมนาด้านการใช้ปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณสำหรับงานด้านสังคม ธุรกิจ การเกษตร และสิ่งแวดล้อม

ประวัติอาจารย์ประจำหลักสูตร

ชื่อ - สกุล นางสาวธัญวรัชญ์ บุตรสาร
ตำแหน่งทางวิชาการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ (สาขาวิชาคณิตศาสตร์)
ประวัติการศึกษา

วท.ด. (คณิตศาสตร์)	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	พ.ศ. 2553
ป.บัณฑิต (วิชาชีพครู)	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	พ.ศ. 2549
วท.บ. (คณิตศาสตร์)	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	พ.ศ. 2548

ประวัติการทำงาน

พ.ศ. 2557–ปัจจุบัน	อาจารย์คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

ผลงานวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์ เผยแพร่

ธัญวรัชญ์ บุตรสาร, นิติมา พรหมมารัตน์, & ณัฐมน กันไชย. (2566). สมการไดโอเฟนไทน์ $21x + 4y = z^2$. *วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี*, *2*(2), 155–160.

Changruenngam, T., Nanglae, S., Butsan, T., & Sudsanit, S. (2024). Forecasting for the number of foreign workers in Thailand by exponential smoothing method. *Journal of Science and Technology, Mahasarakham University, 43*(1), 63–72.

Phrommarat, N., & Butsan, T. (2022). The weak first exponential law of mixed product of *n*-ary hyperalgebras carried by good homomorphisms. In *Proceedings of the 26th Annual Meeting in Mathematics and the 1st International Annual Meeting in Mathematics* (Vol. 26, No. 1, pp. 37–44). Suranaree University of Technology.

รายวิชาที่รับผิดชอบสอนในหลักสูตร

1. AICS9212 คณิตศาสตร์สำหรับปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ
2. AICS9301 สัมมนาด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ
3. AICS9302 สัมมนาด้านการใช้ปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณสำหรับงานด้านการศึกษา

คำสั่งมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

ที่ 4732/2562

เรื่อง แต่งตั้งพนักงานมหาวิทยาลัยให้ดำรงตำแหน่งทางวิชาการ

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 31 (2) แห่งพระราชบัญญัติมหาวิทยาลัยราชภัฏ พ.ศ. 2547 มาตรา 65/2 แห่งพระราชบัญญัติระเบียบข้าราชการพลเรือนในสถาบันอุดมศึกษา (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2551 ประกอบกับ ประกาศ ก.พ.อ. เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการพิจารณาแต่งตั้งบุคคลให้ดำรงตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ รองศาสตราจารย์ และศาสตราจารย์ (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยประกาศ ก.พ.อ. เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการพิจารณาแต่งตั้งบุคคลให้ดำรงตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ รองศาสตราจารย์ และศาสตราจารย์ (ฉบับที่ 9) พ.ศ. 2556 ข้อบังคับสภามหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ว่าด้วยการพิจารณาตำแหน่งทางวิชาการสำหรับคณาจารย์ประจำที่เป็นพนักงานมหาวิทยาลัยสายการสอน พ.ศ. 2550 และมติสภามหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ในการประชุมครั้งที่ 8/2562 เมื่อวันที่ 21 มิถุนายน 2562 จึงแต่งตั้งพนักงานมหาวิทยาลัย จำนวน 4 ราย ให้ดำรงตำแหน่งทางวิชาการ ดังบัญชีรายละเอียดแนบท้ายคำสั่งนี้

สั่ง ณ วันที่ 25 กรกฎาคม พ.ศ. 2562

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรชัย มุ่งไธสง)
อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

บัญชีรายละเอียดการแต่งตั้งพนักงานมหาวิทยาลัยให้ดำรงตำแหน่งทางวิชาการ

แนบท้ายคำสั่งมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ที่ 4732/2562 สั่ง ณ วันที่ 25 กรกฎาคม พ.ศ. 2562

ลำดับที่	ชื่อ - สกุล	ตำแหน่งและส่วนราชการเดิม			ตำแหน่งที่เลื่อนและแต่งตั้ง			ตั้งแต่วันที่	หมายเหตุ
		วุฒิ/วิชาเอก	ตำแหน่ง / สังกัด	ค่าจ้าง	ตำแหน่ง / สังกัด	สาขาวิชา	ค่าจ้าง		
1	นางสาวธัญวรัชญ์ บุตรสาร	วท.ด. (คณิตศาสตร์)	อาจารย์ โปรแกรมวิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี		ผู้ช่วยศาสตราจารย์ โปรแกรมวิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	คณิตศาสตร์		12 ธ.ค. 2560	
2	นางนิติมา พรหมมารัตน์	วท.ด. (คณิตศาสตร์)	อาจารย์ โปรแกรมวิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี		ผู้ช่วยศาสตราจารย์ โปรแกรมวิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	คณิตศาสตร์		20 ก.ค. 2561	
3	นางสาวอรวรรณ เชื้อเมืองพาน	บช.ม. (การบัญชี)	อาจารย์ โปรแกรมวิชาการบัญชี สำนักวิชาการบัญชี		ผู้ช่วยศาสตราจารย์ โปรแกรมวิชาการบัญชี สำนักวิชาการบัญชี	การบัญชี		30 ม.ค. 2562	
4	นายเอกชัย อุดสาหะ	บช.ม. (การบัญชี)	อาจารย์ โปรแกรมวิชาการบัญชี สำนักวิชาการบัญชี		ผู้ช่วยศาสตราจารย์ โปรแกรมวิชาการบัญชี สำนักวิชาการบัญชี	การบัญชี		6 ก.พ. 2562	

ประวัติอาจารย์ประจำหลักสูตร

ชื่อ - สกุล นางสาวศิวรี สุดสนิท
ตำแหน่งทางวิชาการ อาจารย์
ประวัติการศึกษา

ปร.ด. (คณิตศาสตร์)	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	พ.ศ. 2559
วท.ม. (คณิตศาสตร์)	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	พ.ศ. 2553
วท.บ. (คณิตศาสตร์)	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	พ.ศ. 2549

ประวัติการทำงาน

พ.ศ. 2560-ปัจจุบัน	อาจารย์คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

ผลงานวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์ เผยแพร่

ธนายุทธ ช่างเรือนงาม, วลีพรรณ รกิติกุล, สุรัสวดี นางแล, จินดา ศิริดา, ปิยดา ยศสุนทร, ศิวรี สุดสนิท, & ฟ้ารุ่ง สุรินา บุญทิศ. (2568). กลยุทธ์และรูปแบบการพัฒนาการท่องเที่ยวฟ้ามืดข้ามพรมแดน (Strategy and model for sustainable transborder dark sky tourism). *วารสารสังคมศาสตร์วิชาการ*, 18(1). (อยู่ระหว่างตอบรับ)

ศิวรี สุดสนิท, จิติศักดิ์ เสียงดัง, ธนกฤต ศรีวิชา, & ทะนงศักดิ์ [ไม่ระบุนามสกุล]. (2567). จำนวนโครมาติคของบางกราฟ. *วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร: วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี*, *3*(1), 57–69.

Changruenngam, T., Nanglae, S., Butsan, T., & Sudsanit, S. (2024). Forecasting for the number of foreign workers in Thailand by exponential smoothing method. *Journal of Science and Technology, Mahasarakham University, 43*(1), 63–72.

รายวิชาที่รับผิดชอบสอนในหลักสูตร

1. AICS9208 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ
2. AICS9212 คณิตศาสตร์สำหรับปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ
3. AICS9301 สัมมนาด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ

ประวัติอาจารย์ประจำหลักสูตร

ชื่อ - สกุล นายธนาวุฒิ ธนวาณิชย์

ตำแหน่งทางวิชาการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ (สาขาวิวิชาศวกรรมคอมพิวเตอร์)

ประวัติการศึกษา

ปร.ด. (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์)	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	พ.ศ. 2559
วศ.ม. (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์)	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	พ.ศ. 2548
วท.บ. (วิทยาการคอมพิวเตอร์)	มหาวิทยาลัยรามคำแหง	พ.ศ. 2544

ประวัติการทำงาน

พ.ศ. 2551 -	ปัจจุบัน อาจารย์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
พ.ศ. 2546 - 2548	System Administrator High Performance Computing and Networking Center Kasetsart University
พ.ศ. 2548 - 2551	System Engineering MFEC Co.,LTD
พ.ศ. 2544 - 2546	Program Analyst Samart TelCom Co.,LTD

ผลงานวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์ เผยแพร่

Thanavanich, T., Kantawong, K., Yaibuates, M., Duangtang, P., Siri, A., & Sriwanna, K. (2024). Preserving performance and reducing energy consumption: A two-phase scheduling approach in cloud computing environments. In *Proceedings of the Joint International Conference on Digital Arts, Media and Technology with ECTI Northern Section Conference on Electrical, Electronics, Computer and Telecommunications Engineering (ECTI DAMT & NCON)* (Vol. 1, No. 1, pp. 556–561). IEEE. ร่วมจัดโดยสมาคมวิชาชีพวิชาการไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ คอมพิวเตอร์ โทรคมนาคม และสารสนเทศแห่งประเทศไทย (ECTI Association) เป็นผู้ร่วมก่อตั้งและจัดการประชุมนี้อย่างต่อเนื่องทุกปี

Thanavanich, T., Yaibuates, M., Duangtang, P., & Winyangkul, S. (2022). Hybrid algorithms based on historical accuracy for forecasting particulate matter concentrations. *IAES International Journal of Artificial Intelligence (IJ-AI)*, *11*(4), 1297–1305.

Thanavanich, T., Kantawong, K., Yaibuates, M., Duangtang, P., Sriwanna, K., & Siri, A. (2022). Hidden Markov model for improving resource utilization of dehydration rice paddy service in community cooperatives. In *Proceedings of the Joint International Conference on Digital Arts, Media and Technology with ECTI Northern Section Conference on Electrical, Electronics, Computer and Telecommunications Engineering (ECTI DAMT & NCON)* (pp. 54–57). IEEE. ร่วมจัดโดยสมาคมวิชาชีพวิชาการไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ คอมพิวเตอร์ โทรคมนาคม และสารสนเทศแห่งประเทศไทย (ECTI Association) เป็นผู้ร่วมก่อตั้งและจัดการประชุมนี้อย่างต่อเนื่องทุกปี

รายวิชาที่รับผิดชอบสอนในหลักสูตร

1. AICS9204 การเข้าใจภาษาของปัญญาประดิษฐ์
2. AICS9206 ข้อมูลขนาดใหญ่

คำสั่งมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
ที่ 4767/2563
เรื่อง แต่งตั้งพนักงานมหาวิทยาลัยให้ดำรงตำแหน่งทางวิชาการ

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 31 (2) แห่งพระราชบัญญัติมหาวิทยาลัยราชภัฏ พ.ศ. 2547 มาตรา 65/2 แห่งพระราชบัญญัติระเบียบข้าราชการพลเรือนในสถาบันอุดมศึกษา (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2551 ประกอบกับ ประกาศ ก.พ.อ. เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการพิจารณาแต่งตั้งบุคคลให้ดำรงตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ รองศาสตราจารย์ และศาสตราจารย์ (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยประกาศ ก.พ.อ. เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการพิจารณาแต่งตั้งบุคคลให้ดำรงตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ รองศาสตราจารย์ และศาสตราจารย์ (ฉบับที่ 9) พ.ศ. 2556 และ พ.ศ. 2560 ข้อบังคับสภามหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ว่าด้วย การพิจารณาตำแหน่งทางวิชาการสำหรับคณาจารย์ประจำที่เป็นพนักงานมหาวิทยาลัยสายการสอน พ.ศ. 2550 และมติสภามหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ในการประชุมครั้งที่ 13/2563 เมื่อวันที่ 12 ตุลาคม 2563 จึงแต่งตั้งพนักงานมหาวิทยาลัย จำนวน 4 ราย ให้ดำรงตำแหน่งทางวิชาการดังบัญชีรายละเอียดแนบท้ายคำสั่งนี้

สั่ง ณ วันที่ 27 ตุลาคม พ.ศ. 2563

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรชัย มุ่งไธสง)
อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

บัญชีรายละเอียดการแต่งตั้งพนักงานมหาวิทยาลัยให้ดำรงตำแหน่งทางวิชาการ

แนบท้ายคำสั่งมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ที่ 4767/2563 สั่ง ณ วันที่ 27 ตุลาคม พ.ศ. 2563

ลำดับที่	ชื่อ - สกุล	วุฒิ/วิชาเอก	ตำแหน่งและส่วนราชการเดิม		อัตราค่าจ้าง	ตำแหน่งที่เสนอ		อัตราค่าจ้าง	สาขาวิชาที่ได้รับแต่งตั้ง	ตั้งแต่วันที่
			ตำแหน่ง/ สังกัด	เลขที่ตำแหน่ง		ตำแหน่ง/ สังกัด	เลขที่ตำแหน่ง			
1	นางสาวสุภาภรณ์ อุตมทรัพย์	วท.ม. (เภสัชวิทยาทางสัตวแพทยศาสตร์)	อาจารย์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	196		ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	196		เภสัชวิทยา	27 ต.ค.2559
2	นางกาญจนา ปินตาคำ	ส.ด. (สาธารณสุขศาสตร์)	อาจารย์ สำนักวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ	311		ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สำนักวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ	311		สาธารณสุขศาสตร์	31 ส.ค.2563
3	นายธนาวุฒิ ธนวาณิชย์	ปร.ด. (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์)	อาจารย์ สำนักวิชาคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ	262		ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สำนักวิชาคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ	262		วิศวกรรมคอมพิวเตอร์	12 ก.ค.2561
4	นางสาวฐิติมา ทาสุวรรณอินทร์	พย.ม. (การพยาบาลผู้สูงอายุ)	อาจารย์ สำนักวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ	651		ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สำนักวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ	651		สาธารณสุขศาสตร์	10 ก.ย.2562

ประวัติอาจารย์ประจำหลักสูตร

ชื่อ - สกุล นายภูมิพงษ์ ดวงตั้ง

ตำแหน่งทางวิชาการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ (สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมและการสื่อสาร)

ประวัติการศึกษา

วศ.ด. (วิศวกรรมโทรคมนาคม)	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	พ.ศ. 2560
คอ.ม. (เทคโนโลยีไฟฟ้า)	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	พ.ศ. 2551
วศ.บ. (วิศวกรรมโทรคมนาคม)	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร	พ.ศ. 2544

ประวัติการทำงาน

พ.ศ. 2566 ถึง ปัจจุบัน	คณบดี คณะเทคโนโลยีดิจิทัล มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
พ.ศ. 2566 ถึง 2566	คณบดี คณะคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
พ.ศ. 2554 ถึง 2562	อาจารย์สำนักวิชาคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
พ.ศ. 2551 ถึง 2554	อาจารย์คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
พ.ศ. 2546 ถึง 2551	อาจารย์ประจำ โรงเรียนลำปางเทคโนโลยี(LAMP-TECH)
พ.ศ. 2545 ถึง 2546	วิศวกร บริษัท รีเทลลิงค์ (ประเทศไทย) จำกัด กรุงเทพฯ

ผลงานวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์ เผยแพร่

ภูมิพงษ์ ดวงตั้ง, อธิคม ศิริ, & อัญชลี ทิพย์โยธิน. (2567). หอปรัชญารัชกาลที่ 9 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายบนโลกจักรวาลนฤมิต. *วารสารสหวิทยาการสังคมศาสตร์และการสื่อสาร คณะนิเทศศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี*, *7*(4), 63–78.Thanavanich, T., Kantawong, K., Yaibuates, M., Duangtang, P., Siri, A., & Sriwanna, K. (2024). Preserving performance and reducing energy consumption: A two-phase scheduling approach in cloud computing environments. In *Proceedings of the Joint International Conference on Digital Arts, Media and Technology with ECTI Northern Section Conference on Electrical, Electronics, Computer and Telecommunications Engineering (ECTI DAMT & NCON)* (Vol. 1, No. 1, pp. 556–561). IEEE. ร่วมจัดโดยสมาคมวิชาชีพวิชาการไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ คอมพิวเตอร์ โทรคมนาคม และสารสนเทศแห่งประเทศไทย (ECTI Association) เป็นผู้ร่วมก่อตั้งและจัดการประชุมนี้อย่างต่อเนื่องทุกปี

Thanavanich, T., Yaibuates, M., Duangtang, P., & Winyangkul, S. (2022). Hybrid algorithms based on historical accuracy for forecasting particulate matter concentrations. *IAES International Journal of Artificial Intelligence*, *11*(4), 1297–1305.

รายวิชาที่รับผิดชอบสอนในหลักสูตร

1. AICS9203 ปัญญาประดิษฐ์ในเทคโนโลยีอัจฉริยะ
2. AICS9206 ข้อมูลขนาดใหญ่
3. AICS9213 การพัฒนาองค์กรด้วยปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ

คำสั่งมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
ที่ 3114/2563
เรื่อง แต่งตั้งพนักงานมหาวิทยาลัยให้ดำรงตำแหน่งทางวิชาการ

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 31 (2) แห่งพระราชบัญญัติมหาวิทยาลัยราชภัฏ พ.ศ. 2547 มาตรา 65/2 แห่งพระราชบัญญัติระเบียบข้าราชการพลเรือนในสถาบันอุดมศึกษา (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2551 ประกอบกับ ประกาศ ก.พ.อ. เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการพิจารณาแต่งตั้งบุคคลให้ดำรงตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ รองศาสตราจารย์ และศาสตราจารย์ (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยประกาศ ก.พ.อ. เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการพิจารณาแต่งตั้งบุคคลให้ดำรงตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ รองศาสตราจารย์ และศาสตราจารย์ (ฉบับที่ 9) พ.ศ. 2556 ข้อบังคับสภามหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ว่าด้วยการพิจารณาตำแหน่งทางวิชาการสำหรับคณาจารย์ประจำที่เป็นพนักงานมหาวิทยาลัยสายการสอน พ.ศ. 2550 และมติสภามหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ในการประชุมครั้งที่ 7/2563 เมื่อวันที่ 22 กรกฎาคม 2563 จึงแต่งตั้งพนักงานมหาวิทยาลัย จำนวน 5 ราย ให้ดำรงตำแหน่งทางวิชาการดังบัญชีรายละเอียดแนบท้ายคำสั่งนี้

สั่ง ณ วันที่ 30 กรกฎาคม พ.ศ. 2563

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรชัย มุ่งไธสง)
อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

บัญชีรายละเอียดการแต่งตั้งพนักงานมหาวิทยาลัยให้ดำรงตำแหน่งทางวิชาการ

แนบท้ายคำสั่งมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ที่ 3114/2563 สั่ง ณ วันที่ 30 กรกฎาคม พ.ศ. 2563

ลำดับที่	ชื่อ - สกุล	วุฒิ/วิชาเอก	ตำแหน่งและส่วนราชการเดิม		อัตราค่าจ้าง	ตำแหน่งที่เลื่อน		อัตราค่าจ้าง	สาขาวิชาที่ได้รับแต่งตั้ง	ตั้งแต่วันที่
			ตำแหน่ง/ สังกัด	เลขที่ตำแหน่ง		ตำแหน่ง/ สังกัด	เลขที่ตำแหน่ง			
1	นางสาวศิวภรณ์ สองแสน	ปร.ด. (หลักสูตรและการสอน)	อาจารย์ คณะครุศาสตร์	365		ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะครุศาสตร์	365		การศึกษา	13 มี.ค.2563
2	นางสาวกรกนก นิลดำ	ปร.ด. (สื่อสารมวลชน)	อาจารย์ คณะวิทยาการจัดการ	389		ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะวิทยาการจัดการ	389		นิเทศศาสตร์	5 มี.ค.2563
3	นายชัชชัย วรพัฒน์	ค.อ.ม. (เครื่องกล)	อาจารย์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม	556		ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม	556		การศึกษา	29 พ.ค.2563
4	นายภูมิพงษ์ ดวงดั้ง	วศ.ด. (วิศวกรรมโทรคมนาคม)	อาจารย์ สำนักวิชาคอมพิวเตอร์ และเทคโนโลยีสารสนเทศ	264		ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สำนักวิชาคอมพิวเตอร์ และเทคโนโลยีสารสนเทศ	264		วิศวกรรมโทรคมนาคม และการสื่อสาร	26 ก.พ.2563
5	นาย[illegible]	[illegible]	อาจารย์ สำนักวิชาสังคมศาสตร์	423		ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สำนักวิชาสังคมศาสตร์	423		ภูมิศาสตร์	10 มี.ค.2563

ประวัติอาจารย์ประจำหลักสูตร

ชื่อ - สกุล นายสำราญ ไชยคำวัง

ตำแหน่งทางวิชาการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ (สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ)

ประวัติการศึกษา

ปร.ด. (เทคโนโลยีสารสนเทศ)	มหาวิทยาลัยศรีปทุม	พ.ศ. 2566
วท.ม. (เทคโนโลยีสารสนเทศ)	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย	พ.ศ. 2554
วท.บ. (วิทยาการคอมพิวเตอร์)	สถาบันราชภัฏเชียงราย	พ.ศ. 2538

ประวัติการทำงาน

พ.ศ. 2554 – ปัจจุบัน	อาจารย์ประจำ สำนักวิชาคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
พ.ศ. 2552 - 2554	นักวิชาการคอมพิวเตอร์ กองคลัง มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
พ.ศ. 2549 - 2552	โปรแกรมเมอร์ บริษัทอีโคลักซ์ อินเตอร์เนชั่นแนลจำกัด
พ.ศ. 2538– 2549	โปรแกรมเมอร์ บริษัทเยี่ยมสวัสดิ์ โฮมมาร์ท จำกัด

ผลงานวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์ เผยแพร่

Chaikhamwang, S., Montri, W., Fongmanee, S., & Janthajirakowit, C. (2025). Application of advanced natural language processing methodologies utilizing GPT-4O-Mini to augment the efficacy of an essay examination framework on a web-based application. *International Journal of Computer Applications (IJCA)*, *6*(1), 1–30.

Chaikhamwang, S., Montri, W., Junthajirakowit, C., & Fongmanee, S. (2023). The promoting vegetable cultivation pesticide free for food security and safety through precision agriculture: A case study of Ban Pang Klang, Mae Korn Subdistrict, Muang District, Chiang Rai. In *Proceedings of the International Computer Science and Engineering Conference (ICSEC)* (pp. 282–288). IEEE. ร่วมจัดโดยสมาคมวิชาชีพวิชาการไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ คอมพิวเตอร์ โทรคมนาคม และสารสนเทศแห่งประเทศไทย (ECTI Association)

Chaikhamwang, S., Sukvaree, T., & Praneetpolgrang, P. (2022). Smart agriculture systems monitoring and prediction platform using big data analytics together with Internet of Things. *International Journal of Innovation, Creativity and Change*, *16*(3), 374–393.

รายวิชาที่รับผิดชอบสอนในหลักสูตร

1. AICS9203 ปัญญาประดิษฐ์ในเทคโนโลยีอัจฉริยะ
2. AICS9206 ข้อมูลขนาดใหญ่
3. AICS9304 สัมมนาด้านการใช้ปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณสำหรับงานด้านสังคม ธุรกิจ การเกษตร และสิ่งแวดล้อม

คำสั่งมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
ที่ 1514/2565
เรื่อง แต่งตั้งพนักงานมหาวิทยาลัยให้ดำรงตำแหน่งทางวิชาการ

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 31 (2) แห่งพระราชบัญญัติมหาวิทยาลัยราชภัฏ พ.ศ. 2547 ประกอบกับ ประกาศ ก.พ.อ. เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการพิจารณาแต่งตั้งบุคคลให้ดำรงตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ รองศาสตราจารย์ และศาสตราจารย์ พ.ศ. 2560 ข้อบังคับสภามหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ว่าด้วยการพิจารณาตำแหน่งทางวิชาการสำหรับคณาจารย์ประจำที่เป็นพนักงานมหาวิทยาลัย สายการสอน พ.ศ. 2550 และมติสภามหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ในการประชุมครั้งที่ 3/2565 เมื่อวันที่ 18 มีนาคม 2565 จึงแต่งตั้งพนักงานมหาวิทยาลัย จำนวน 7 ราย ให้ดำรงตำแหน่งทางวิชาการดังบัญชีรายละเอียดแนบท้ายคำสั่งนี้

สั่ง ณ วันที่ 21 มีนาคม พ.ศ. 2565

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรชัย มุ่งไธสง)
อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

ชื่อ - สกุล	วุฒิ/วิชาเอก	ตำแหน่งและส่วนราชการเดิม		อัตรา ค่าจ้าง ปัจจุบัน	ตำแหน่งที่เลื่อน		อัตรา ค่าจ้าง ปัจจุบัน	สาขาวิชา ที่ได้รับ แต่งตั้ง	ตั้งแต่วันที่
		ตำแหน่ง/ สังกัด	เลขที่ ตำแหน่ง		ตำแหน่ง/ สังกัด	เลขที่ ตำแหน่ง			
นางสาวศรีนวล ฟองมณี	วท.บ. (วิทยาการคอมพิวเตอร์) วท.ม. (วิทยาการคอมพิวเตอร์)	อาจารย์ คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ	024		ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ	024		เทคโนโลยีสารสนเทศ	27 ก.ค. 2564
นางสาวชลิดา จันทจิรโกวิท	วท.บ. (วิทยาการคอมพิวเตอร์) วท.ม. (เทคโนโลยีสารสนเทศและการจัดการ)	อาจารย์ คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ	035		ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ	035		เทคโนโลยีสารสนเทศ	20 ก.ค. 2564
นายสำราญ ไชยคำวัง	วท.บ. (วิทยาการคอมพิวเตอร์) วท.ม. (เทคโนโลยีสารสนเทศ)	อาจารย์ คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ	298		ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ	298		เทคโนโลยีสารสนเทศ	27 ก.ค. 2564

ประวัติอาจารย์ประจำหลักสูตร

ชื่อ – สกุล นายมีชัย เทพนุรัตน์
ตำแหน่งทางวิชาการ รองศาสตราจารย์ (สาขาวิชาฟิสิกส์)
ประวัติการศึกษา

ปร.ด. (ฟิสิกส์ประยุกต์)	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	พ.ศ. 2559
วท.ม. (ฟิสิกส์ประยุกต์)	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	พ.ศ. 2552
วท.บ. (ฟิสิกส์)	มหาวิทยาลัยทักษิณ	พ.ศ. 2546
ป.บัณฑิต (วิชาชีพครู)	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย	พ.ศ. 2565

ประวัติการทำงาน

พ.ศ. 2564-ปัจจุบัน	รองคณบดี คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
พ.ศ. 2557-2563	อาจารย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะครุศาสตร์

ผลงานวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์ เผยแพร่

Pulsawad, W., Kaewpanus, K., Tong-on, A., Saphet, P., & Thepnurat, M.. (2024). Integration of Mathematics and Astronomy via a Goal-focused STEM-SML2 Model of Learning Management Process. *Ratchaphruek Journal,* 22(3), 161 - 177.

Pasitvilaitham, K., Pramuan, J., Saengchong, N., Kaewpanus, K., Ruanto, P., Thepnurat, M., & Tong-on, A. (2023). Effects of magnetic flux density on germination and seedling growth in Oryza sativa var. Glutinosa. *Plant Physiology Reports,* 28(1), 1 - 7.

Pulsawad, W., Saphet, P., Kaewpanus, K., Tong-on, A., & Thepnurat, M. (2023). Construction of an AI electronic nose system for characterization of a coffee aroma map in Chiang Rai province. *Food Agricultureal Science and Technology.* 9(3), 13-24.

รายวิชาที่รับผิดชอบสอนในหลักสูตร

1. AICS9203 ปัญญาประดิษฐ์ในเทคโนโลยีอัจฉริยะ
2. AICS9302 สัมมนาด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณสำหรับงานด้านการศึกษา

คำสั่งมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
ที่ 4758/2566
เรื่อง แต่งตั้งพนักงานมหาวิทยาลัยให้ดำรงตำแหน่งทางวิชาการ

อาศัย อำนาจตามความในมาตรา 31 (2) แห่งพระราชบัญญัติมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย พ.ศ.2547 ประกอบกับ ประกาศ ก.พ.อ. เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการพิจารณแต่งตั้งบุคคลให้ดำรงตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ รองศาสตราจารย์ และศาสตราจารย์ พ.ศ. 2560 ประกาศ ก.พ.อ. เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการพิจารณแต่งตั้งบุคคลให้ดำรงตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ รองศาสตราจารย์ และศาสตราจารย์ พ.ศ. 2564 และข้อบังคับสภามหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ว่าด้วยหลักเกณฑ์และวิธีการพิจารณแต่งตั้งบุคคลให้ดำรงตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ รองศาสตราจารย์ และศาสตราจารย์ พ.ศ.2566 และมติสภามหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ในการประชุมครั้งที่ 12/2566 เมื่อวันที่ 18 สิงหาคม 2566 จึงแต่งตั้งพนักงานมหาวิทยาลัย จำนวน 3 ราย ให้ดำรงตำแหน่งทางวิชาการ ดังบัญชีรายชื่อแนบท้ายคำสั่งนี้

สั่ง ณ วันที่ 22 สิงหาคม พ.ศ. 2566

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรชัย มุ่งไธสง)
อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

บัญชีรายละเอียดการแต่งตั้งพนักงานมหาวิทยาลัยให้ดำรงตำแหน่งทางวิชาการ

แนบท้ายคำสั่งมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ที่ 4758/2566 สั่ง ณ วันที่ 22 สิงหาคม พ.ศ. 2566

ชื่อ-สกุล	วุฒิ/วิชาเอก	ตำแหน่งและส่วนราชการเดิม		อัตราค่าจ้างปัจจุบัน	ตำแหน่งที่เลื่อน		อัตราค่าจ้างปัจจุบัน	สาขาวิชาที่ได้รับแต่งตั้ง	ตั้งแต่วันที่
		ตำแหน่ง/สังกัด	เลขที่ตำแหน่ง		ตำแหน่ง/สังกัด	เลขที่ตำแหน่ง			
นางจิราพร ชุนศรี	ศศ.บ. (การประชาสัมพันธ์) นศ.ม. (นิเทศศาสตร์พัฒนาการ) นศ.ด. (นิเทศศาสตร์)	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะวิทยาการจัดการ	081		รองศาสตราจารย์ คณะวิทยาการจัดการ	081		นิเทศศาสตร์	12 เม.ย 2566
นายมีชัย เทพนุรัตน์	วท.บ. (ฟิสิกส์) วท.ม. (ฟิสิกส์ประยุกต์) ปร.ด. (ฟิสิกส์ประยุกต์)	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะครุศาสตร์	586		รองศาสตราจารย์ คณะครุศาสตร์	586		ฟิสิกส์	29 พ.ค 2566
น.ส.ชวัญฤทัย ครองยุติ	วท.บ. (การท่องเที่ยวเชิงนิเวศ) วท.ม. (อุทยา นันทนาการและการท่องเที่ยว) ปร.ด. (การจัดการการท่องเที่ยวและบูรณาการ)	อาจารย์ คณะการท่องเที่ยวและการโรงแรม	505		ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะการท่องเที่ยวและการโรงแรม	505		การท่องเที่ยวและการโรงแรม	19 เม.ย 2566

ประวัติอาจารย์ผู้สอน

ชื่อ - สกุล นางวลีพรรณ รกิติกุล
ตำแหน่งทางวิชาการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ (สาขาวิชาเคมี)
ประวัติการศึกษา

ปร.ด. (เคมี)	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	พ.ศ. 2555
วท.ม. (เคมี)	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	พ.ศ. 2552
วท.บ. (เคมี)	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	พ.ศ. 2548

ประวัติการทำงาน

พ.ศ. 2456-ปัจจุบัน อาจารย์คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

ผลงานวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์ เผยแพร่

Sirita, J., Pintakam, K., Khamthan, P., Suanmuang, M., & Rakitikul, W. (2024). Effectiveness of water spinach (*Ipomoea reptans* Poir.) in mitigating acetylcholinesterase inhibition caused by organophosphate and carbamate pesticide. *Agriculture and Natural Resources*, *58*(3), 345–352.

รายวิชาที่รับผิดชอบสอนในหลักสูตร

1. AICS9210 วิทยาศาสตร์เชิงคำนวณ
2. AICS9214 หัวข้อพิเศษทางปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ

ประวัติอาจารย์ผู้สอน

ชื่อ - สกุล นางสาวอรวรรณ วนะชีวิน
ตำแหน่งทางวิชาการ อาจารย์
ประวัติการศึกษา

วท.ด. (ชีวเคมี)	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	พ.ศ. 2558
วท.บ. (สัตววิทยา)	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	พ.ศ. 2550

ประวัติการทำงาน

พ.ศ. 2559-ปัจจุบัน	อาจารย์คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

ผลงานวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์ เผยแพร่

Keratibumrungpong, T., Srisuthtayanont, W., Wanachewin, O., Klangjorhor, J., Phitak, T., Pothacharoen, P., Shwe, T. H., & Kongtawelert, P. (2023). Sesamin attenuates VEGFA-induced angiogenesis via inhibition of Src and FAK signaling in chick chorioallantoic membrane model and human endothelial EA.hy926 cells. *Biomedicines*, *11*(1), 188–204.

รายวิชาที่รับผิดชอบสอนในหลักสูตร

1. AICS9210 วิทยาศาสตร์เชิงคำนวณ
2. AICS9214 หัวข้อพิเศษทางปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ

ประวัติอาจารย์ผู้สอน

ชื่อ - สกุล นายคมกริช แก้วพนัส
ตำแหน่งทางวิชาการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ (สาขาชีววิทยา)
ประวัติการศึกษา

วท.ด. (ชีววิทยา)	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	พ.ศ. 2558
วท.ม. (ชีววิทยา)	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	พ.ศ. 2553
วท.บ. (สัตววิทยา)	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	พ.ศ. 2551

ประวัติการทำงาน

พ.ศ. 2558-ปัจจุบัน	อาจารย์ โปรแกรมวิชาชีววิทยา คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

ผลงานวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์ เผยแพร่

วิทยา พูลสวัสดิ์, คมกริช แก้วพนัส, อนุสรณ์ ตองอ่อน, ปริญญา สาเพชร, & มีชัย เทพนุรัตน์. (2024). การบูรณาการคณิตศาสตร์ร่วมกับเนื้อหาดาราศาสตร์ในวิชาวิทยาศาสตร์โดยใช้กระบวนการจัดการเรียนรู้แบบ STEM-SML² แบบมุ่งเป้า. *Ratchaphruek Journal*, *22*(3), 161–177.

รายวิชาที่รับผิดชอบสอนในหลักสูตร

1. AICS9210 วิทยาศาสตร์เชิงคำนวณ
2. AICS9214 หัวข้อพิเศษทางปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ

ประวัติอาจารย์ผู้สอน

ชื่อ - สกุล นางสาวทิพวรรณ ประเสริฐสินธุ์
ตำแหน่งทางวิชาการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ (สาขาวิชาชีววิทยา)
ประวัติการศึกษา

วท.ด. (จุลชีววิทยาประยุกต์)	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	พ.ศ. 2556
วท.ม. (ชีววิทยา)	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	พ.ศ. 2553
วท.ด. (ชีววิทยาประยุกต์)	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	พ.ศ. 2551

ประวัติการทำงาน

พ.ศ. 2557-ปัจจุบัน	อาจารย์ โปรแกรมวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

ผลงานวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์ เผยแพร่

Prasertsin, T., Suk-ueng, K., Phinyo, K., & Yana, E. (2021). The diversity and abundance of phytoplankton and benthic diatoms in varying environmental conditions in Kok River, Chiang Rai, Thailand as bio-indicators of water quality. *Biodiversitas*, *22*(4), 1853–1862.

รายวิชาที่รับผิดชอบสอนในหลักสูตร

1. AICS9210 วิทยาศาสตร์เชิงคำนวณ
2. AICS9214 หัวข้อพิเศษทางปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ

ประวัติอาจารย์ผู้สอน

ชื่อ – สกุล นางวิภาวรรณ นันโท

ตำแหน่งทางวิชาการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ (สาขาวิชาชีววิทยา)

ประวัติการศึกษา

วท.ด. (จุลชีววิทยาประยุกต์)	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	พ.ศ. 2557
วท.บ. (ชีววิทยาประยุกต์)	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	พ.ศ. 2552

ประวัติการทำงาน

พ.ศ. 2557-ปัจจุบัน อาจารย์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

ผลงานวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์ เผยแพร่

Phinyo, K., Saeku, K., Nunto, W., Pekko., J. & Prasertsin, T.. (2024). Morphological and Molecular Characterization of Spirogyra Species from Water Bodies in Chiang Rai Province, Thailand: Insights into Bioactivity and Antioxidant Potential. *Sains Malaysiana,* 53(5), 1093 - 1104.

รายวิชาที่รับผิดชอบสอนในหลักสูตร

1. AICS9210 วิทยาศาสตร์เชิงคำนวณ
2. AICS9214 หัวข้อพิเศษทางปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ

ประวัติอาจารย์ผู้สอน

ชื่อ - สกุล นายกิตติชัย จันธิมา
ตำแหน่งทางวิชาการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ (สาขาวิชาชีววิทยา)
ประวัติการศึกษา

วท.ด. (ความหลากหลายทางชีวภาพและชีววิทยาชาติพันธุ์)	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	พ.ศ. 2557
วท.บ. (สัตววิทยา)	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	พ.ศ. 2552

ประวัติการทำงาน

พ.ศ. 2561-ปัจจุบัน	ผู้ช่วยศาสตราจารย์คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
พ.ศ. 2560-2564	ผู้ช่วยคณบดี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
พ.ศ. 2558-2560	รักษาการประธานโปรแกรมวิชาพลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
พ.ศ. 2557-2558	อาจารย์คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

ผลงานวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์ เผยแพร่

Chantima, K., Suk-Ueng, K., Intep, P., & Vittayapadung, S. (2023). First evidence of microplastics ingestion by freshwater fishes from Nong Luang Wetland (Chiang Rai, Thailand). *Sains Malaysiana*, *52*(9), 2471–2483.

รายวิชาที่รับผิดชอบสอนในหลักสูตร

1. AICS9210 วิทยาศาสตร์เชิงคำนวณ
2. AICS9214 หัวข้อพิเศษทางปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ

ประวัติอาจารย์ผู้สอน

ชื่อ - สกุล นายกฤตวิชญ์ สุขอึ้ง

ตำแหน่งทางวิชาการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ (สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)

ประวัติการศึกษา

ปร.ด. (วิทยาศาสตร์ชีวภาพ)	มหาวิทยาลัยบูรพา	พ.ศ. 2557
วท.ม. (การจัดการทรัพยากรชีวภาพ)	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	พ.ศ. 2549
วท.บ. (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)	มหาวิทยาลัยศิลปากร	พ.ศ. 2544

ประวัติการทำงาน

พ.ศ. 2558-ปัจจุบัน	อาจารย์ โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

ผลงานวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์ เผยแพร่

Chantima, K., Suk-Ueng, K., Intep, P., & Vittayapadung, S. (2023). First evidence of microplastics ingestion by freshwater fishes from Nong Luang Wetland (Chiang Rai, Thailand). *Sains Malaysiana*, *52*(9), 2471–2483.

รายวิชาที่รับผิดชอบสอนในหลักสูตร

1. AICS9210 วิทยาศาสตร์เชิงคำนวณ
2. AICS9211 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่
3. AICS9214 หัวข้อพิเศษทางปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ

ประวัติอาจารย์ผู้สอน

ชื่อ - สกุล นายสฤทธิ์พร วิทยผดุง
ตำแหน่งทางวิชาการ อาจารย์
ประวัติการศึกษา

D.Eng. (Agricutural Products Process and Storage Engineering)		
	Jiangsu University	พ.ศ. 2551
วศ.ม. (วิศวกรรมพลังงาน)	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่	พ.ศ. 2547
วศ.บ. (วิศวกรรมเกษตร)	มหาวิทยาลัยแม่โจ้	พ.ศ. 2542

ประวัติการทำงาน

พ.ศ. 2553-ปัจจุบัน	อาจารย์ประจำโปรแกรมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และ เทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
พ.ศ. 2563-2564	กรรมการสภาวิชาการ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
พ.ศ. 2560-2563	รองคณบดีฝ่ายงานจัดการศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏ เชียงราย
พ.ศ. 2556-2559	รองคณบดีฝ่ายวิจัย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

ผลงานวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์ เผยแพร่

Chantima, K., Suk-Ueng, K., Intep, P., & Vittayapadung, S. (2023). First evidence of microplastics ingestion by freshwater fishes from Nong Luang Wetland (Chiang Rai, Thailand). *Sains Malaysiana*, *52*(9), 2471–2483.

รายวิชาที่รับผิดชอบสอนในหลักสูตร

1. AICS9210 วิทยาศาสตร์เชิงคำนวณ
2. AICS9214 หัวข้อพิเศษทางปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ
3. AICS9304 สัมมนาด้านการใช้ปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณสำหรับงานด้านสังคม ธุรกิจ การเกษตร และสิ่งแวดล้อม

ประวัติอาจารย์ผู้สอน

ชื่อ - สกุล นายกฤษฎิ์พงศ์ ภาษิตวิไลธรรม
ตำแหน่งทางวิชาการ อาจารย์
ประวัติการศึกษา

วท.ด. (พืชสวน)	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	พ.ศ. 2558
วท.ม. (วิทยาศาสตร์การเกษตร)	มหาวิทยาลัยนเรศวร	พ.ศ. 2548
วท.บ. (ชีววิทยา)	มหาวิทยาลัยนเรศวร	พ.ศ. 2542

ประวัติการทำงาน

พ.ศ. 2548-ปัจจุบัน	อาจารย์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

ผลงานวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์ เผยแพร่

Pasitvilaitham, K., Pramuan, J., Saengchong, N., Kaewpanus, K., Ruanto, P., & Thepnurat, M. (2022). Effect of magnetic flux density on germination and seedling growth in *Oryza sativa* var. *glutinosa*. *Plant Physiology Reports*, *28*(1), 1–7.

รายวิชาที่รับผิดชอบสอนในหลักสูตร

1. AICS9210 วิทยาศาสตร์เชิงคำนวณ
2. AICS9214 หัวข้อพิเศษทางปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ
3. AICS9304 สัมมนาด้านการใช้ปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณสำหรับงานด้านสังคม ธุรกิจ การเกษตร และสิ่งแวดล้อม

ประวัติอาจารย์ผู้สอน

ชื่อ - สกุล นายวิกรม บุญนุ่น
ตำแหน่งทางวิชาการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ (สาขาวิชาสังคมวิทยา)
ประวัติการศึกษา

ปร.ด. (การบริหารนวัตกรรมการพัฒนา)	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช	พ.ศ. 2558
ศศ.ม. (ยุทธศาสตร์การพัฒนา)	มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา	พ.ศ. 2552
วท.บ. (เทคโนโลยีอุตสาหกรรม)	สถาบันราชภัฏภูเก็ต	พ.ศ. 2546

ประวัติการทำงาน

พ.ศ. 2562-ปัจจุบัน	ประธานคณะกรรมการบริหารหลักสูตร ปรัชญาดุษฎีบัณฑิตสาขาวิชายุทธศาสตร์การพัฒนาภูมิภาค คณะวิชาสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
พ.ศ. 2559-ปัจจุบัน	ประธานสาขาวิชานวัตกรรมสังคม สำนักวิชาสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
พ.ศ. 2548	หัวหน้าสำนักงานประกันคุณภาพ โรงเรียนพะตงวิทยามูลนิธิ
พ.ศ. 2552	ปฏิบัติหน้าที่แทนผู้อำนวยการ โรงเรียนปัญญาทิพย์
พ.ศ. 2558	อาจารย์ สำนักวิชาสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
พ.ศ. 2564-ปัจจุบัน	คณะอนุกรรมการบริหารราชการเชิงยุทธศาสตร์ สำนักงานศึกษาธิการจังหวัดเชียงราย
พ.ศ. 2564-ปัจจุบัน	คณะอนุกรรมการบริหารราชการเชิงยุทธศาสตร์ สำนักงานศึกษาธิการจังหวัดเชียงราย

ผลงานวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์ เผยแพร่

วิกรม บุญนุ่น, ลัทธพล มุ่งไธสง, & อารี บินประทาน. (2567). ยุทธศาสตร์การพัฒนาภูมิภาค. *วารสารวิชาการการพัฒนาท้องถิ่น วิทยาลัยชุมชนพังงา*, *1*(1), 1–13.

รายวิชาที่รับผิดชอบสอนในหลักสูตร

1. AICS9213 การพัฒนาองค์กรด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ
2. AICS9214 หัวข้อพิเศษทางปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ
3. AICS9304 สัมมนาด้านการใช้ปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณสำหรับงานด้านสังคม ธุรกิจ การเกษตร และสิ่งแวดล้อม

ประวัติอาจารย์ผู้สอน

ชื่อ - สกุล นายศรชัย มุ่งไธสง
ตำแหน่งทางวิชาการ รองศาสตราจารย์ (สาขาวิชาการศึกษา อนุสาขาพัฒนศึกษา)
ประวัติการศึกษา

PH.D (Psycholinguistics)	University of Adelaide	พ.ศ. 2546
ค.ม. (การสอนภาษาอังกฤษ)	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	พ.ศ. 2534
กศ.บ. (ภาษาอังกฤษ)	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ	พ.ศ. 2530

ประวัติการทำงาน

พ.ศ. 2560 – ปัจจุบัน	- อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย - ประธานกรรมการการขับเคลื่อนโครงการพระราโชบาย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย - ประธานอธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏกลุ่มภาคเหนือ 38 แห่ง ภาคเหนือ - ประธานคณะกรรมการยุทธศาสตร์ต่างประเทศมหาวิทยาลัยราชภัฏ 38 แห่งทั่วประเทศ - กรรมการศึกษาธิการจังหวัดชียงราย - กรรมการร่วมภาครัฐและเอกชนเพื่อแก้ไขปัญหาทางเศรษฐกิจ ภาคเหนือตอนบน - กรรมการการพัฒนาเมืองอัจฉริยะ (Smart City) จังหวัดเชียงราย - ผู้อำนวยการสถาบันเศรษฐกิจพอเพียงภายใต้การดำเนินการธัชชา เพื่อขับเคลื่อนการวิจัยและพัฒนาด้านสังคมศาสตร์ มนุษยศาสตร์ และศิลปะกรรมศาสตร์ของประเทศ กระทรวงการอุมดมศึกษ วิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (อว.)
พ.ศ. 2547 – 2560	รองอธิการบดี ฝ่ายวิชาการ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

ผลงานวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์ เผยแพร่

Kasama, K., Sornchai, M., Thanaphat, K., Phathamon, B., Nisarath, C., & Pornchai, J. (2024). Sufficiency economy scenarios based on community business operations affecting the value and income of sustainable community enterprises. *Journal of Digital Economy*, *3*(1), 186–199.

รายวิชาที่รับผิดชอบสอนในหลักสูตร

1. AICS9304 สัมมนาด้านการใช้ปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณสำหรับงานด้านสังคม ธุรกิจ การเกษตร และสิ่งแวดล้อม

ประวัติอาจารย์พิเศษ

ชื่อ - สกุล นายสุเทพ สวนใต้

ตำแหน่งทางวิชาการ ศาสตราจารย์ (สาขาวิชาคณิตศาสตร์)

ประวัติการศึกษา

วท.ด. (คณิตศาสตร์)	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	พ.ศ. 2536
วท.ม. (คณิตศาสตร์)	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	พ.ศ. 2528
วท.บ. (คณิตศาสตร์)	มหาวิทยาลัยศรีนรีครินริทรวิโรฒ	พ.ศ. 2526

ประวัติการทำงาน

ตำแหน่งปัจจุบัน : กรรมการสภามหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ผลงานวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์ เผยแพร่

Suantai, S., Yambangwai, D., & Cholamjiak, W. (2021). Solving common nonmonotone equilibrium problems using an inertial parallel hybrid algorithm with Armijo line search with applications to image recovery. *Advances in Difference Equations*, *2021*, Article 410.

รายวิชาที่รับผิดชอบสอนในหลักสูตร

1. AICS9212 คณิตศาสตร์สำหรับปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ

ภาคผนวก ง ข้อบังคับมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายว่าด้วยการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา พ.ศ. 2565

ข้อบังคับมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
ว่าด้วยการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา
พ.ศ. ๒๕๖๕

เพื่อให้การจัดการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาของมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย เป็นไปอย่างมีคุณภาพและมาตรฐาน ให้สอดคล้องกับหลักเกณฑ์ที่กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม กำหนดไว้ในประกาศคณะกรรมการมาตรฐานการอุดมศึกษา เรื่อง เกณฑ์มาตรฐานหลักสูตรระดับบัณฑิตศึกษา พ.ศ. ๒๕๖๕ และประกาศกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม เรื่องแนวทางการดำเนินงานระบบคลังหน่วยกิตระดับอุดมศึกษา พ.ศ. ๒๕๖๕

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๑๔ (๒) แห่งพระราชบัญญัติมหาวิทยาลัยราชภัฏ พ.ศ. ๒๕๔๗ และด้วยมติของสภามหาวิทยาลัย ในคราวประชุมครั้งที่ ๑๑/๒๕๖๕ เมื่อวันที่ ๒๓ ธันวาคม ๒๕๖๕

จึงออกข้อบังคับไว้ ดังต่อไปนี้

หมวด ๑
บททั่วไป

ข้อ ๑ ข้อบังคับนี้เรียกว่า "ข้อบังคับมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ว่าด้วยการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา พ.ศ. ๒๕๖๒"

ข้อ ๒ ข้อบังคับนี้ให้ใช้บังคับสำหรับหลักสูตร ที่ดำเนินการปรับปรุงหรือพัฒนาขึ้นใหม่ ภายใต้เกณฑ์มาตรฐานหลักสูตรระดับบัณฑิตศึกษา พ.ศ. ๒๕๖๕

ข้อ ๓ ให้ยกเลิกข้อบังคับมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ว่าด้วยการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา พ.ศ. ๒๕๖๒ บรรดากฎ ระเบียบ ข้อบังคับ ประกาศ หรือคำสั่งใดของมหาวิทยาลัยในส่วนที่กำหนดไว้แล้วในข้อบังคับนี้ หรือที่ขัดหรือแย้งกับข้อบังคับนี้ ให้ใช้ข้อบังคับนี้แทน

ข้อ ๔ ในข้อบังคับนี้

"มหาวิทยาลัย" หมายถึง มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

"สภามหาวิทยาลัย" หมายถึง สภามหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

"อธิการบดี" หมายถึง อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

"บัณฑิตวิทยาลัย" หมายถึง บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

"อาจารย์ประจำ" หมายถึง บุคคลที่ดำรงตำแหน่งอาจารย์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ รองศาสตราจารย์ ศาสตราจารย์ และตำแหน่งอื่นที่เทียบเท่าในมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายตามที่สภามหาวิทยาลัยกำหนดหรือรับรอง

ในองค์กรภายนอกที่มีการตกลงร่วมผลิต ซึ่งมีหน้าที่รับผิดชอบตามพันธกิจของ การอุดมศึกษาและมีความเข้าใจเกี่ยวกับมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษา

สำหรับอาจารย์ประจำที่มหาวิทยาลัยรับเข้าใหม่ตั้งแต่ข้อบังคับนี้เริ่มบังคับใช้ต้องมีคะแนนทดสอบความสามารถภาษาอังกฤษได้ตามเกณฑ์ที่สภามหาวิทยาลัยกำหนด

"อาจารย์พิเศษ" หมายถึง ผู้สอนที่ไม่ใช่อาจารย์ประจำ

"อาจารย์ประจำหลักสูตร" หมายถึง อาจารย์ประจำที่มีคุณวุฒิตรงหรือสัมพันธ์กับสาขาวิชาของหลักสูตรที่เปิดสอน ซึ่งมีหน้าที่สอนและค้นคว้าวิจัยในสาขาวิชาดังกล่าว ทั้งนี้ สามารถเป็นอาจารย์ประจำหลักสูตรหลายหลักสูตรได้ในเวลาเดียวกัน

"อาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร" หมายถึง อาจารย์ประจำหลักสูตรที่มีภาระหน้าที่ในการบริหารและพัฒนาหลักสูตรและการเรียนการสอน ตั้งแต่การวางแผน การควบคุมคุณภาพ การติดตามประเมินผลและการพัฒนาหลักสูตร อาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตรต้องอยู่ประจำหลักสูตรนั้นตลอดระยะเวลาที่จัดการศึกษา โดยจะเป็นอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตรมากกว่า ๑ หลักสูตรในเวลาเดียวกันไม่ได้ ยกเว้นหลักสูตรพหุวิทยาการหรือสหวิทยาการ ให้เป็นอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตรได้อีกหนึ่งหลักสูตรและอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตรสามารถซ้ำกันได้ไม่เกิน ๒ คน สำหรับหลักสูตรปริญญาโทและปริญญาเอกในสาขาวิชาเดียวกันสามารถใช้อาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตรชุดเดียวกันได้

"คณะกรรมการบริหารหลักสูตร" หมายถึง คณะกรรมการที่ได้รับแต่งตั้งจากอธิการบดีเพื่อทำหน้าที่บริหารจัดการหลักสูตร

"นักศึกษา" หมายถึง นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

"ผู้ทรงคุณวุฒิภายใน" หมายถึง ผู้ที่เป็นอาจารย์ประจำ และมีคุณสมบัติเป็นไปตามเกณฑ์อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

"ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก" หมายถึง ผู้ที่มีคุณวุฒิระดับปริญญาเอกหรือเทียบเท่าและมีผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่อยู่ในวารสารที่มีชื่ออยู่ในฐานข้อมูลที่เป็นที่ยอมรับซึ่งตรงหรือสัมพันธ์กับหัวข้อวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์หรือการค้นคว้าอิสระ/การศึกษาอิสระ ระดับปริญญาโท ไม่น้อยกว่า ๕ เรื่อง และระดับปริญญาเอก ไม่น้อยกว่า ๑๐ เรื่อง กรณีเป็นผู้ที่ไม่มีคุณวุฒิและผลงานทางวิชาการตามที่กำหนดจะต้องเป็นผู้ที่มีความรู้ความเชี่ยวชาญและประสบการณ์สูงเป็นที่ยอมรับ ซึ่งตรงหรือสัมพันธ์กับหัวข้อวิทยานิพนธ์หรือการศึกษาอิสระ โดยผ่านความเห็นชอบจากสภามหาวิทยาลัย

"คณะกรรมการ" หมายถึง คณะกรรมการมาตรฐานการอุดมศึกษา

"นักวิจัยประจำ" หมายถึง บุคคลที่ดำรงตำแหน่งนักวิจัยในสถาบันอุดมศึกษา ที่มีหน้าที่ค้นคว้าวิจัยทางวิชาการ และปฏิบัติหน้าที่เต็มเวลา

"บัณฑิตศึกษา" หมายถึง การจัดการศึกษาในระดับประกาศนียบัตรบัณฑิต (การศึกษาหลังปริญญาตรี) ปริญญาโท ประกาศนียบัตรบัณฑิตชั้นสูง (การศึกษาหลังปริญญาโท) และปริญญาเอก ของมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

"หลักสูตร" หมายถึง หลักสูตรสาขาวิชาต่าง ๆ ในระดับบัณฑิตศึกษาที่สภามหาวิทยาลัยให้ความเห็นชอบ

"สถาบันอื่น" หมายถึง สถาบันอุดมศึกษาในหรือต่างประเทศที่สภามหาวิทยาลัยรับรองที่ร่วมรับผิดชอบหลักสูตร กับมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ในลักษณะเป็นหลักสูตรร่วมกับสถาบันอื่น หรือการตกลงร่วมผลิต

"หลักสูตรร่วมกับสถาบันอื่น" หมายถึง หลักสูตรของมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายที่ร่วมมือจัดการเรียนการสอนกับสถาบันอื่น โดยมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายเป็นผู้ให้ปริญญา หรือสถาบันอื่นเป็นผู้ให้ปริญญา หรือผู้ศึกษาอาจได้รับปริญญาจากทุกสถาบันที่ร่วมมือกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับบันทึกข้อตกลงความร่วมมือ (Memorandum of Understanding : MOU)

"การตกลงร่วมผลิต" หมายความว่า การทำข้อตกลงร่วมมือกันอย่างเป็นทางการระหว่างมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายกับองค์กรภายนอกในการพัฒนาและบริหารหลักสูตร โดยผ่านความเห็นชอบของสภามหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายและองค์กรภายนอกนั้น ๆ

"องค์กรภายนอก" หมายความว่า สถาบันอุดมศึกษาในหรือต่างประเทศที่ได้รับการรับรองจากหน่วยงานที่รับผิดชอบการศึกษาของประเทศนั้น หรือเป็นหน่วยราชการระดับกรมหรือเทียบเท่าหรือหน่วยงานรัฐวิสาหกิจ หรือองค์การมหาชน หรือบริษัทเอกชนที่จดทะเบียนในตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทยเท่านั้น

หากเป็นบริษัทเอกชนที่ไม่ได้จดทะเบียนในตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทย ให้อยู่ในดุลพินิจของสภามหาวิทยาลัย โดยบริษัทเอกชนดังกล่าวต้องแสดงศักยภาพและความพร้อมในการร่วมผลิตบัณฑิต และต้องให้ได้คุณภาพตามมาตรฐานการอุดมศึกษา

"คลังหน่วยกิต" หมายถึง ระบบทะเบียนสะสมหน่วยกิตและผลการเรียนสำหรับผู้เรียนทั้งจากการศึกษาในระบบ การศึกษานอกระบบ และการศึกษาตามอัธยาศัย เช่น หลักสูตรเพื่อรับปริญญา หลักสูตรฝึกอบรม และจากประสบการณ์ โดยมีหลักฐานที่เป็นองค์ประกอบในการเทียบหน่วยกิต รวบรวมมาเก็บสะสมไว้ในคลังหน่วยกิตของมหาวิทยาลัย

"ผลงานวิชาการย้อนหลังภายใน ๕ ปี" หมายถึง ผลงานวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่ตามเกณฑ์ที่กำหนดในการพิจารณาแต่งตั้งให้บุคคลดำรงตำแหน่งทางวิชาการตามเกณฑ์ กพอ. กำหนด เช่น บทความวิชาการ ตำรา หนังสือ งานวิจัย ผลงานทางวิชาการในลักษณะอื่น ๆ เช่น สิ่งประดิษฐ์ งานสร้างสรรค์ งานแปล งานวรรณกรรม ผลงานวิชาการรับใช้สังคม เป็นต้น

ข้อ ๕ ให้อธิการบดีรักษาการให้เป็นไปตามข้อบังคับนี้ และให้มีอำนาจในการออกประกาศ คำสั่ง และวางหลักเกณฑ์เพื่อปฏิบัติตามข้อบังคับนี้

ในกรณีที่มีปัญหาในการตีความหรือการใช้ข้อบังคับนี้ให้มีอำนาจวินิจฉัยชี้ขาดเกี่ยวกับการปฏิบัติตามข้อบังคับนี้ คำวินิจฉัยชี้ขาดของอธิการบดีให้ถือเป็นที่สุด

หมวด ๒

หลักสูตร

ข้อ ๖ ชื่อประกาศนียบัตรและชื่อปริญญา

๖.๑ ประกาศนียบัตรบัณฑิต ให้ใช้ชื่อว่า "ประกาศนียบัตรบัณฑิต (Graduate Diploma)" อักษรย่อ "ป.บัณฑิต (Grad. Dip.)" แล้วตามด้วยชื่อสาขาวิชาต่อท้าย

๖.๒ ประกาศนียบัตรบัณฑิตชั้นสูง ให้ใช้ชื่อว่า "ประกาศนียบัตรบัณฑิตชั้นสูง (Higher Graduate Diploma)" อักษรย่อ "ป.บัณฑิตชั้นสูง (Higher Grad. Dip.)" แล้วตามด้วยชื่อสาขาวิชาต่อท้าย

๖.๓ ปริญญาโทและปริญญาเอก ให้ใช้ชื่อปริญญาตามที่กำหนดในพระราชกฤษฎีกา ว่าด้วยปริญญาในสาขาวิชา และอักษรย่อสำหรับสาขาวิชาไว้แล้ว กรณีที่ไม่มีการตราพระราชกฤษฎีกา ว่าด้วยปริญญาในสาขาวิชา และอักษรย่อสำหรับสาขาวิชาให้ใช้ชื่อปริญญาตามหลักเกณฑ์การกำหนดชื่อปริญญาที่คณะกรรมการกำหนด

ข้อ ๗ ปรัชญา และวัตถุประสงค์ หลักสูตรระดับบัณฑิตศึกษา ประกอบด้วยดังนี้

๗.๑ หลักสูตรประกาศนียบัตรบัณฑิต และประกาศนียบัตรบัณฑิตชั้นสูง มุ่งเน้นการพัฒนานักวิชาการและนักวิชาชีพให้มีความชำนาญในสาขาวิชาเฉพาะ เพื่อให้มีความรู้ความเชี่ยวชาญสามารถปฏิบัติงานได้ดียิ่งขึ้น โดยมีความสัมพันธ์สอดคล้องกับแผนพัฒนาการศึกษาระดับอุดมศึกษาของชาติ ปรัชญาของการอุดมศึกษา ปรัชญาของสถาบันอุดมศึกษา และมาตรฐานวิชาการและวิชาชีพ

๗.๒ หลักสูตรปริญญาโทและปริญญาเอก มุ่งเน้นการพัฒนานักวิชาการและนักวิชาชีพที่มีความรู้ความสามารถระดับสูงในสาขาวิชาต่าง ๆ โดยใช้กระบวนการวิจัยเพื่อให้สามารถบุกเบิกแสวงหาความรู้ใหม่ได้อย่างมีอิสระ รวมทั้งมีความสามารถในการสร้างสรรค์องค์ความรู้ความก้าวหน้าทางวิชาการเชื่อมโยงและบูรณาการศาสตร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องได้อย่างต่อเนื่องโดยมีความสัมพันธ์สอดคล้องกับแผนพัฒนาการศึกษาระดับอุดมศึกษาของชาติ ปรัชญาอุดมศึกษา ปรัชญาของสถาบันอุดมศึกษาและมาตรฐานวิชาการและวิชาชีพที่เป็นสากล มีคุณธรรมและจรรยาบรรณทางวิชาการและวิชาชีพ

ข้อ ๘ โครงสร้างหลักสูตร ดังนี้

๘.๑ ประกาศนียบัตรบัณฑิตและประกาศนียบัตรบัณฑิตชั้นสูง ให้มีจำนวนหน่วยกิตรวมไม่น้อยกว่า ๒๔ หน่วยกิต

๘.๒ ปริญญาโท ให้มีจำนวนหน่วยกิตไม่น้อยกว่า ๓๖ หน่วยกิต โดยแบ่งการศึกษาเป็น ๒ แผน คือ

(๑) แผน ๑ แบบวิชาการ เน้นการเรียนรู้การทำวิจัย โดยการทำวิทยานิพนธ์สร้างองค์ความรู้ในศาสตร์สาขาวิชานั้น ทั้งนี้ สัดส่วนหน่วยกิตของวิทยานิพนธ์และหน่วยกิตของการศึกษารายวิชาให้เป็นไปตามที่สภามหาวิทยาลัยกำหนด โดยอาจเป็นวิทยานิพนธ์อย่างเดียว หรือมีทั้งการศึกษารายวิชาและทำวิทยานิพนธ์ ซึ่งต้องทำวิทยานิพนธ์อย่างน้อย ๑๒ หน่วยกิต โดยไม่อาจศึกษารายวิชาอย่างเดียวได้

(๒) แผน ๒ แบบวิชาชีพ เน้นการศึกษารายวิชาและการศึกษาอิสระเชิงการประยุกต์ใช้ความรู้ในวิชาชีพโดยไม่ต้องทำวิทยานิพนธ์ ทั้งนี้ ให้มีการศึกษาอิสระไม่น้อยกว่า ๓ หน่วยกิต และไม่เกิน ๖ หน่วยกิต

๔.๓ ปริญญาเอก แบ่งการศึกษาเป็น ๒ แผน โดยเน้นการวิจัยเพื่อพัฒนานักวิชาการและนักวิชาชีพชั้นสูง คือ

(๑) แผน ๑ เป็นแผนการศึกษาที่เน้นการวิจัยโดยมีการทำวิทยานิพนธ์ที่ก่อให้เกิดความรู้ใหม่ มหาวิทยาลัยอาจกำหนดให้เรียนรายวิชาเพิ่มเติมหรือกิจกรรมทางวิชาการอื่นเพิ่มขึ้นได้โดยไม่นับหน่วยกิต แต่จะต้องมีผลสัมฤทธิ์ตามที่มหาวิทยาลัยกำหนด ดังนี้

แผน ๑.๑ ผู้เข้าศึกษาที่สำเร็จปริญญาโท จะต้องทำวิทยานิพนธ์ ไม่น้อยกว่า ๔๘ หน่วยกิต

แผน ๑.๒ ผู้เข้าศึกษาที่สำเร็จปริญญาตรี จะต้องทำวิทยานิพนธ์ ไม่น้อยกว่า ๗๒ หน่วยกิต

(๒) แผน ๒ เป็นแผนการศึกษาที่เน้นการวิจัยโดยมีการทำวิทยานิพนธ์ที่มีคุณภาพสูงและก่อให้เกิดความก้าวหน้าทางวิชาการและวิชาชีพ และศึกษารายวิชาเพิ่มเติม ดังนี้

แผน ๒.๑ ผู้เข้าศึกษาที่สำเร็จปริญญาโท จะต้องทำวิทยานิพนธ์ ไม่น้อยกว่า ๓๖ หน่วยกิต และศึกษารายวิชาอีกไม่น้อยกว่า ๑๒ หน่วยกิต

แผน ๒.๒ ผู้เข้าศึกษาที่สำเร็จปริญญาตรี จะต้องทำวิทยานิพนธ์ ไม่น้อยกว่า ๔๘ หน่วยกิต และศึกษารายวิชาอีกไม่น้อยกว่า ๒๔ หน่วยกิต

ข้อ ๙ การประกันคุณภาพของหลักสูตร

ให้ทุกหลักสูตรกำหนดระบบการประกันคุณภาพของหลักสูตรตามที่สภามหาวิทยาลัยกำหนด

ข้อ ๑๐ การพัฒนาหลักสูตร

ให้ทุกหลักสูตรพัฒนาหลักสูตรให้ทันสมัย โดยมีการประเมินและรายงานผลการดำเนินการของหลักสูตรทุกปีการศึกษา เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปปรับปรุงพัฒนาหลักสูตรเป็นระยะ ๆ อย่างน้อยตามรอบระยะเวลาของหลักสูตรหรือทุกรอบ ๕ ปี โดยให้แต่ละหลักสูตรมีคณะกรรมการพัฒนาหลักสูตร ปรับปรุงหลักสูตร ซึ่งมีองค์ประกอบของคณะกรรมการเป็นไปตามประกาศของมหาวิทยาลัยกำหนด

ข้อ ๑๑ การบริหารจัดการหลักสูตร ให้เป็นไปตามปรัชญา วัตถุประสงค์ และเป้าหมายของหลักสูตร โดยให้แต่ละหลักสูตรมีคณะกรรมการบริหารหลักสูตรซึ่งมีองค์ประกอบของคณะกรรมการเป็นไปตามประกาศของมหาวิทยาลัยกำหนด

หมวด ๓

คุณวุฒิ คุณสมบัติ และจำนวนอาจารย์

ข้อ ๑๒ ประกาศนียบัตรบัณฑิต

๑๒.๑ อาจารย์ประจำหลักสูตร มีคุณวุฒิขั้นต่ำปริญญาโทหรือเทียบเท่า และมีผลงานทางวิชาการที่ไม่ใช่ส่วนหนึ่งของการศึกษาเพื่อรับปริญญาของตนเอง และเป็นผลงานทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่ตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดในการพิจารณาแต่งตั้งให้บุคคลดำรงตำแหน่งทางวิชาการอย่างน้อย ๓ เรื่อง ในรอบ ๕ ปีย้อนหลัง โดยอย่างน้อย ๑ เรื่อง ต้องเป็นผลงานวิจัย

๑๒.๒ อาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร จำนวนอย่างน้อย ๓ คน มีคุณวุฒิปริญญาเอกหรือเทียบเท่า หรือขั้นต่ำปริญญาโทหรือเทียบเท่าที่มีตำแหน่งรองศาสตราจารย์หรือเทียบเท่า และมีผลงานทาง

วิชาการที่ไม่ใช่ส่วนหนึ่งของการศึกษาเพื่อรับปริญญาของตนเอง และเป็นผลงานทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่ตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดในการพิจารณาแต่งตั้งให้บุคคลดำรงตำแหน่งทางวิชาการอย่างน้อย ๓ เรื่อง ในรอบ ๕ ปีย้อนหลัง โดยอย่างน้อย ๑ เรื่อง ต้องเป็นผลงานวิจัย

กรณีการตกลงร่วมผลิตกับองค์กรภายนอก ต้องมีอาจารย์ประจำหลักสูตรจากมหาวิทยาลัยเจ้าของหลักสูตรนั้นเป็นอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตรอย่างน้อย ๒ คน

กรณีที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับสาขาวิชาที่ไม่สามารถสรรหาอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตรครบตามจำนวน มหาวิทยาลัยต้องเสนอจำนวนและคุณวุฒิของอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตรที่มีนั้นให้คณะกรรมการพิจารณาเป็นรายกรณี

๗๒.๓ อาจารย์ผู้สอน อาจเป็นอาจารย์ประจำหรืออาจารย์พิเศษที่มีคุณวุฒิขั้นต่ำปริญญาโทหรือเทียบเท่า ในสาขาวิชานั้นหรือสาขาวิชาที่สัมพันธ์กัน หรือในสาขาวิชาของรายวิชาที่สอน และต้องมีประสบการณ์ด้านการสอนและมีผลงานทางวิชาการที่ไม่ใช่ส่วนหนึ่งของการศึกษาเพื่อรับปริญญาของตนเอง และเป็นผลงานทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่ตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดในการพิจารณาแต่งตั้งให้บุคคลดำรงตำแหน่งทางวิชาการอย่างน้อย ๑ เรื่อง ในรอบ ๕ ปีย้อนหลัง

กรณีอาจารย์พิเศษที่ไม่มีคุณวุฒิตามที่กำหนดข้างต้น ต้องเป็นผู้ทรงคุณวุฒิที่มีความรู้และประสบการณ์เป็นที่ยอมรับ ซึ่งตรงหรือสัมพันธ์กับรายวิชาที่สอน โดยผ่านความเห็นชอบจากสภามหาวิทยาลัย ทั้งนี้ หากรายวิชาใดที่มีความจำเป็นต้องใช้อาจารย์พิเศษ ต้องมีอาจารย์ประจำร่วมรับผิดชอบกระบวนการเรียนการสอนและพัฒนานักศึกษา ตลอดระยะเวลาของการจัดการเรียนการสอนรายวิชานั้น ๆ ด้วย

๗๒.๔ อาจารย์ใหม่ ที่มีคุณวุฒิระดับปริญญาเอก แม้ยังไม่มีผลงานทางวิชาการหลังสำเร็จการศึกษา อนุโลมให้เป็นอาจารย์ผู้สอนในระดับประกาศนียบัตรบัณฑิตได้ แต่ทั้งนี้หากจะทำหน้าที่เป็นอาจารย์ประจำหลักสูตร และอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร ต้องมีผลงานทางวิชาการภายหลังสำเร็จการศึกษาอย่างน้อย ๑ เรื่อง ภายใน ๒ ปี หรือ ๒ เรื่อง ภายใน ๔ ปี หรือ ๓ เรื่อง ภายใน ๕ ปี

ข้อ ๗๓ ประกาศนียบัตรบัณฑิตชั้นสูง

๗๓.๑ อาจารย์ประจำหลักสูตร มีคุณวุฒิปริญญาเอกหรือเทียบเท่า หรือชั้นต่ำปริญญาโทหรือเทียบเท่าที่มีตำแหน่งรองศาสตราจารย์หรือเทียบเท่า และมีผลงานทางวิชาการที่ไม่ใช่ส่วนหนึ่งของการศึกษาเพื่อรับปริญญาของตนเอง และเป็นผลงานทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่ตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดในการพิจารณาแต่งตั้งให้บุคคลดำรงตำแหน่งทางวิชาการอย่างน้อย ๑ เรื่อง ในรอบ ๕ ปีย้อนหลัง โดยอย่างน้อย ๑ เรื่อง ต้องเป็นผลงานวิจัย

๗๓.๒ อาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร จำนวนอย่างน้อย ๑ คน มีคุณวุฒิปริญญาเอกหรือเทียบเท่า หรือชั้นต่ำปริญญาโทหรือเทียบเท่าที่มีตำแหน่งรองศาสตราจารย์หรือเทียบเท่า และมีผลงานทางวิชาการที่ไม่ใช่ส่วนหนึ่งของการศึกษาเพื่อรับปริญญาของตนเอง และเป็นผลงานทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่ตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดในการพิจารณาแต่งตั้งให้บุคคลดำรงตำแหน่งทางวิชาการอย่างน้อย ๑ เรื่อง ในรอบ ๕ ปีย้อนหลัง โดยอย่างน้อย ๑ เรื่อง ต้องเป็นผลงานวิจัย

กรณีการตกลงร่วมผลิตกับองค์กรภายนอก ต้องมีอาจารย์ประจำหลักสูตรจากมหาวิทยาลัยเจ้าของหลักสูตรนั้นเป็นอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตรอย่างน้อย ๒ คน

กรณีที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับสาขาวิชาที่ไม่สามารถสรรหาอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตรครบตามจำนวน มหาวิทยาลัยต้องแสดงจำนวนและคุณวุฒิของอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตรที่มีนั้นให้คณะกรรมการพิจารณาเป็นรายกรณี

๑๓.๓ อาจารย์ผู้สอน ต้องเป็นอาจารย์ประจำหรืออาจารย์พิเศษ ที่มีคุณวุฒิปริญญาเอกหรือเทียบเท่า หรือขั้นต่ำปริญญาโทหรือเทียบเท่าที่มีตำแหน่งรองศาสตราจารย์ในสาขาวิชานั้นหรือสาขาวิชาที่สัมพันธ์กันหรือในสาขาวิชาของรายวิชาที่สอน และต้องมีประสบการณ์ด้านการสอนและมีผลงานทางวิชาการที่ไม่ใช่ส่วนหนึ่งของการศึกษาเพื่อรับปริญญาของตนเอง และเป็นผลงานทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่ตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดในการพิจารณาแต่งตั้งให้บุคคลดำรงตำแหน่งทางวิชาการอย่างน้อย ๑ เรื่อง ในรอบ ๕ ปีย้อนหลัง

กรณีอาจารย์พิเศษที่ไม่มีคุณวุฒิตามที่กำหนดข้างต้น ต้องเป็นผู้ทรงคุณวุฒิที่มีความรู้และประสบการณ์เป็นที่ยอมรับ ซึ่งตรงหรือสัมพันธ์กับรายวิชาที่สอน โดยผ่านความเห็นชอบจากสภามหาวิทยาลัย ทั้งนี้ หากรายวิชาใดที่มีความจำเป็นต้องใช้อาจารย์พิเศษ ต้องมีอาจารย์ประจำร่วมรับผิดชอบกระบวนการเรียนการสอนและพัฒนานักศึกษา ตลอดระยะเวลาของการจัดการเรียนการสอนรายวิชานั้น ๆ ด้วย

๑๓.๔ อาจารย์ใหม่ที่มีคุณวุฒิระดับปริญญาเอก แม้ยังไม่มีผลงานทางวิชาการหลังสำเร็จการศึกษา อนุโลมให้เป็นอาจารย์ผู้สอนในระดับประกาศนียบัตรบัณฑิตชั้นสูงได้ แต่ทั้งนี้หากจะทำหน้าที่เป็นอาจารย์ประจำหลักสูตร และอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร ต้องมีผลงานทางวิชาการภายหลังสำเร็จการศึกษาอย่างน้อย ๑ เรื่อง ภายใน ๒ ปี หรือ ๒ เรื่อง ภายใน ๔ ปี หรือ ๓ เรื่อง ภายใน ๕ ปี

ข้อ ๑๔ ปริญญาโท

๑๔.๑ อาจารย์ประจำหลักสูตร มีคุณวุฒิขั้นต่ำปริญญาโทหรือเทียบเท่า และมีผลงานทางวิชาการที่ไม่ใช่ส่วนหนึ่งของการศึกษาเพื่อรับปริญญาของตนเอง โดยเป็นผลงานทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่ตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดในการพิจารณาแต่งตั้งให้บุคคลดำรงตำแหน่งทางวิชาการอย่างน้อย ๑ เรื่อง ในรอบ ๕ ปีย้อนหลัง และอย่างน้อย ๑ เรื่อง ต้องเป็นผลงานวิจัย

๑๔.๒ อาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร จำนวนอย่างน้อย ๓ คน มีคุณวุฒิปริญญาเอกหรือเทียบเท่า หรือขั้นต่ำปริญญาโทหรือเทียบเท่าที่มีตำแหน่งรองศาสตราจารย์หรือเทียบเท่า และมีผลงานทางวิชาการที่ไม่ใช่ส่วนหนึ่งของการศึกษาเพื่อรับปริญญาของตนเอง โดยเป็นผลงานทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่ตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดในการพิจารณาแต่งตั้งให้บุคคลดำรงตำแหน่งทางวิชาการอย่างน้อย ๓ เรื่อง ในรอบ ๕ ปีย้อนหลัง และอย่างน้อย ๑ เรื่อง ต้องเป็นผลงานวิจัย

กรณีการตกลงร่วมผลิตกับองค์กรภายนอก ต้องมีอาจารย์ประจำหลักสูตรจากมหาวิทยาลัยเจ้าของหลักสูตรนั้นเป็นอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตรอย่างน้อย ๒ คน

กรณีที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับสาขาวิชาที่ไม่สามารถสรรหาอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตรครบตามจำนวน มหาวิทยาลัยต้องแสดงจำนวนและคุณวุฒิของอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตรที่มีนั้นให้คณะกรรมการพิจารณาเป็นรายกรณี

๑๔.๓ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หรือการค้นคว้าอิสระ/การศึกษาอิสระ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์แบ่งออกเป็น ๒ ประเภท คือ

๑๔.๓.๑ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หรือการค้นคว้าอิสระ/การศึกษาอิสระหลัก ต้องเป็นอาจารย์ประจำหลักสูตร มีคุณวุฒิปริญญาเอกหรือเทียบเท่า หรือขั้นต่ำปริญญาโทหรือเทียบเท่าที่มีตำแหน่งรองศาสตราจารย์หรือเทียบเท่า และมีผลงานทางวิชาการที่ไม่ใช่ส่วนหนึ่งของการศึกษาเพื่อรับปริญญาของตนเอง โดยเป็นผลงานทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่ตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดในการพิจารณาแต่งตั้งให้บุคคลดำรงตำแหน่งทางวิชาการ อย่างน้อย ๓ เรื่อง ในรอบ ๕ ปีย้อนหลัง และอย่างน้อย ๑ เรื่อง ต้องเป็นผลงานวิจัย

๑๔.๓.๒ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หรือการค้นคว้าอิสระ/การศึกษาอิสระร่วม (ถ้ามี) ต้องมีคุณวุฒิและคุณสมบัติ ดังนี้

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หรือการค้นคว้าอิสระ/การศึกษาอิสระร่วมที่เป็นอาจารย์ประจำหลักสูตรหรืออาจารย์ประจำหรือนักวิจัยประจำ ต้องมีคุณวุฒิและผลงานทางวิชาการเช่นเดียวกับอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หรือการค้นคว้าอิสระ/การศึกษาอิสระหลัก

สำหรับอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หรือการค้นคว้าอิสระ/การศึกษาอิสระร่วมที่เป็นผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกต้องมีคุณวุฒิปริญญาเอกหรือเทียบเท่า และมีผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารที่มีชื่ออยู่ในฐานข้อมูลที่เป็นที่ยอมรับ ซึ่งตรงหรือสัมพันธ์กับหัวข้อวิทยานิพนธ์ไม่น้อยกว่า ๕ เรื่อง

กรณีผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกที่ไม่มีคุณวุฒิและผลงานทางวิชาการตามที่กำหนดข้างต้น ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกจะต้องเป็นผู้มีความรู้ความเชี่ยวชาญและประสบการณ์สูงเป็นที่ยอมรับ ซึ่งตรงหรือสัมพันธ์กับหัวข้อวิทยานิพนธ์หรือการค้นคว้าอิสระ/การศึกษาอิสระ โดยผ่านความเห็นชอบจากสภามหาวิทยาลัย

๑๔.๔ อาจารย์ผู้สอบวิทยานิพนธ์หรือการค้นคว้าอิสระ/การศึกษาอิสระ

ต้องประกอบด้วยอาจารย์ประจำหลักสูตรและผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกมหาวิทยาลัย โดยอาจมีอาจารย์ประจำหรือนักวิจัยประจำร่วมเป็นผู้สอบด้วย รวมไม่น้อยกว่า ๓ คน ทั้งนี้ประธานคณะกรรมการสอบต้องไม่เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หรือการค้นคว้าอิสระ/การศึกษาอิสระหลักหรืออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หรือการค้นคว้าอิสระ/การศึกษาอิสระร่วม โดยอาจารย์ผู้สอบวิทยานิพนธ์ ต้องมีคุณวุฒิ คุณสมบัติและผลงานทางวิชาการ ดังนี้

๑๔.๔.๑ กรณีอาจารย์ประจำหลักสูตรหรืออาจารย์ประจำหรือนักวิจัยประจำ ต้องมีคุณวุฒิปริญญาเอกหรือเทียบเท่า หรือขั้นต่ำปริญญาโทหรือเทียบเท่าที่มีตำแหน่งรองศาสตราจารย์หรือเทียบเท่า และมีผลงานทางวิชาการที่ไม่ใช่ส่วนหนึ่งของการศึกษาเพื่อรับปริญญาของตนเอง โดยเป็นผลงานทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่ตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดในการพิจารณาแต่งตั้งให้บุคคลดำรงตำแหน่งทางวิชาการอย่างน้อย ๓ เรื่อง ในรอบ ๕ ปีย้อนหลัง และอย่างน้อย ๑ เรื่อง ต้องเป็นผลงานวิจัย

๑๔.๔.๒ กรณีผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ต้องมีคุณวุฒิปริญญาเอกหรือเทียบเท่าและมีผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารที่มีชื่ออยู่ในฐานข้อมูลที่เป็นที่ยอมรับ ซึ่งตรงหรือสัมพันธ์กับหัวข้อวิทยานิพนธ์หรือการค้นคว้าอิสระ/การศึกษาอิสระ ไม่น้อยกว่า ๕ เรื่อง

กรณีผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกที่ไม่มีคุณวุฒิและผลงานทางวิชาการตามที่กำหนดข้างต้น ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกจะต้องเป็นผู้ที่มีความรู้ความเชี่ยวชาญและประสบการณ์สูงเป็นที่ยอมรับซึ่งตรงหรือสัมพันธ์กับหัวข้อวิทยานิพนธ์หรือการค้นคว้าอิสระ/การศึกษาอิสระ โดยผ่านความเห็นชอบจากสภามหาวิทยาลัย

๑๔.๕ อาจารย์ผู้สอน ต้องเป็นอาจารย์ประจำหรืออาจารย์พิเศษ ที่มีคุณวุฒิขั้นต่ำปริญญาโทหรือเทียบเท่า ในสาขาวิชานั้นหรือสาขาวิชาที่สัมพันธ์กัน หรือในสาขาวิชาของรายวิชาที่สอน และต้องมีประสบการณ์ด้านการสอนและมีผลงานทางวิชาการที่ไม่ใช่ส่วนหนึ่งของการศึกษาเพื่อรับปริญญาของตนเอง และเป็นผลงานทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่ตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดในการพิจารณาแต่งตั้งให้บุคคลดำรงตำแหน่งทางวิชาการอย่างน้อย ๑ เรื่อง ในรอบ ๕ ปีย้อนหลัง

กรณีอาจารย์พิเศษที่ไม่มีคุณวุฒิตามที่กำหนดข้างต้น ต้องเป็นผู้ทรงคุณวุฒิที่มีความรู้และประสบการณ์เป็นที่ยอมรับ ซึ่งตรงหรือสัมพันธ์กับรายวิชาที่สอน โดยผ่านความเห็นชอบจากสภามหาวิทยาลัย ทั้งนี้ หากรายวิชาใดที่มีความจำเป็นต้องใช้อาจารย์พิเศษ ต้องมีอาจารย์ประจำร่วมรับผิดชอบกระบวนการเรียนการสอนและพัฒนานักศึกษา ตลอดระยะเวลาของการจัดการเรียนการสอนรายวิชานั้น ๆ ด้วย

๑๔.๖ อาจารย์ใหม่ที่มีคุณวุฒิระดับปริญญาเอก แม้ยังไม่มีผลงานทางวิชาการหลังสำเร็จการศึกษา อนุโลมให้เป็นอาจารย์ผู้สอนในระดับปริญญาโทได้ แต่ทั้งนี้หากจะทำหน้าที่เป็นอาจารย์ประจำหลักสูตรและอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ผู้สอบวิทยานิพนธ์ในระดับปริญญาโท ต้องมีผลงานทางวิชาการภายหลังสำเร็จการศึกษา อย่างน้อย ๑ เรื่อง ภายใน ๒ ปี หรือ ๒ เรื่อง ภายใน ๔ ปี หรือ ๓ เรื่อง ภายใน ๕ ปี

ข้อ ๑๕ ปริญญาเอก

๑๕.๑ อาจารย์ประจำหลักสูตร มีคุณวุฒิขั้นต่ำปริญญาเอกหรือเทียบเท่า หรือขั้นต่ำปริญญาโทหรือเทียบเท่าที่มีตำแหน่งรองศาสตราจารย์หรือเทียบเท่า และมีผลงานทางวิชาการที่ไม่ใช่ส่วนหนึ่งของการศึกษาเพื่อรับปริญญาของตนเอง โดยเป็นผลงานทางวิชาการประเภทงานวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่ตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดในการพิจารณาแต่งตั้งให้บุคคลดำรงตำแหน่งทางวิชาการอย่างน้อย ๑ เรื่อง ในรอบ ๕ ปีย้อนหลัง

๑๕.๒ อาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร จำนวนอย่างน้อย ๓ คน มีคุณวุฒิปริญญาเอกหรือเทียบเท่า หรือขั้นต่ำปริญญาโทหรือเทียบเท่าที่มีตำแหน่งศาสตราจารย์หรือเทียบเท่า และมีผลงานทางวิชาการที่ไม่ใช่ส่วนหนึ่งของการศึกษาเพื่อรับปริญญาของตนเอง โดยเป็นผลงานทางวิชาการประเภทงานวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่ตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดในการพิจารณาแต่งตั้งให้บุคคลดำรงตำแหน่งทางวิชาการอย่างน้อย ๑ เรื่อง ในรอบ ๕ ปีย้อนหลัง

กรณีการตกลงร่วมผลิตกับองค์กรภายนอก ต้องมีอาจารย์ประจำหลักสูตรจากมหาวิทยาลัยเจ้าของหลักสูตรนั้นเป็นอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตรอย่างน้อย ๒ คน

กรณีที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับสาขาวิชาที่ไม่สามารถสรรหาอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตรครบตามจำนวน มหาวิทยาลัยต้องเสนอจำนวนและคุณวุฒิของอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตรที่มีนั้นให้คณะกรรมการพิจารณาเป็นรายกรณี

๑๕.๓ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์ แบ่งออกเป็น ๒ ประเภท คือ

๑๕.๓.๑ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์หลัก ต้องเป็นอาจารย์ประจำหลักสูตร ที่มีคุณวุฒิปริญญาเอกหรือเทียบเท่า หรือขั้นต่ำปริญญาโทหรือเทียบเท่าที่มีตำแหน่งรองศาสตราจารย์หรือเทียบเท่า และมีผลงานทางวิชาการที่ไม่ใช่ส่วนหนึ่งของการศึกษาเพื่อรับปริญญาของตนเอง โดยเป็นผลงานทางวิชาการประเภทงานวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่ตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดในการพิจารณาแต่งตั้งให้บุคคลดำรงตำแหน่งทางวิชาการอย่างน้อย ๓ รายการ ในรอบ ๕ ปีย้อนหลัง

๑๕.๓.๒ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์ร่วม ต้องมีคุณวุฒิและคุณสมบัติดังนี้

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์ร่วมที่เป็นอาจารย์ประจำ ต้องมีอาจารย์ประจำหลักสูตรหรืออาจารย์ประจำหรือนักวิจัยประจำหรือผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ร่วมเป็นที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์อย่างน้อย ๑ คน โดยอาจารย์ประจำหลักสูตรหรืออาจารย์ประจำหรือนักวิจัยประจำต้องมีคุณวุฒิและผลงานทางวิชาการเช่นเดียวกับอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์หลัก

สำหรับอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์ร่วมที่เป็นผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกต้องมีคุณวุฒิปริญญาเอกหรือเทียบเท่า และมีผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารที่มีชื่ออยู่ในฐานข้อมูลที่เป็นที่ยอมรับ ซึ่งตรงหรือสัมพันธ์กับหัวข้อวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์ไม่น้อยกว่า ๑๐ เรื่อง

กรณีผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกที่ไม่มีคุณวุฒิและผลงานทางวิชาการตามที่กำหนดข้างต้น ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกจะต้องเป็นผู้มีความรู้ความเชี่ยวชาญและประสบการณ์สูงมากเป็นที่ยอมรับซึ่งตรงหรือสัมพันธ์กับหัวข้อวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์ โดยผ่านความเห็นชอบจากสภามหาวิทยาลัย

๑๕.๔ อาจารย์ผู้สอบวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์

ต้องประกอบด้วยอาจารย์ประจำหลักสูตร โดยอาจมีอาจารย์ประจำหรือนักวิจัยประจำร่วมเป็นผู้สอบด้วย และผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกมหาวิทยาลัยไม่น้อยกว่า ๒ คน รวมทั้งหมดแล้วไม่น้อยกว่า ๕ คน ทั้งนี้ประธานกรรมการสอบต้องเป็นผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก โดยอาจารย์ผู้สอบวิทยานิพนธ์ต้องมีคุณวุฒิ คุณสมบัติ และผลงานทางวิชาการ ดังนี้

๑๕.๔.๑ กรณีอาจารย์ประจำหลักสูตรหรืออาจารย์ประจำหรือนักวิจัยประจำ ต้องมีคุณวุฒิปริญญาเอกหรือเทียบเท่า หรือขั้นต่ำปริญญาโทหรือเทียบเท่าที่มีตำแหน่งรองศาสตราจารย์หรือเทียบเท่า และมีผลงานทางวิชาการประเภทงานวิจัยที่ไม่ใช่ส่วนหนึ่งของการศึกษาเพื่อรับปริญญาของตนเอง โดยเป็นผลงานทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่ตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดในการพิจารณาแต่งตั้งให้บุคคลดำรงตำแหน่งทางวิชาการอย่างน้อย ๑ เรื่อง ในรอบ ๕ ปีย้อนหลัง

๑๕.๔.๒ กรณีผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ต้องมีคุณวุฒิปริญญาเอกหรือเทียบเท่าและมีผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารที่มีชื่ออยู่ในฐานข้อมูลที่เป็นที่ยอมรับ ซึ่งตรงหรือสัมพันธ์กับหัวข้อวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์ ไม่น้อยกว่า ๑๐ เรื่อง

๑๑

กรณีผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกที่ไม่มีคุณวุฒิและผลงานทางวิชาการตามที่กำหนดข้างต้น ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกจะต้องเป็นผู้ที่มีความรู้ความเชี่ยวชาญและประสบการณ์สูงมากเป็นที่ยอมรับ ซึ่งตรงหรือสัมพันธ์กับหัวข้อวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์ โดยผ่านความเห็นชอบจากสภามหาวิทยาลัย

๑๕.๕ อาจารย์ผู้สอน ต้องเป็นอาจารย์ประจำหรืออาจารย์พิเศษ ที่มีคุณวุฒิขั้นต่ำปริญญาเอกหรือเทียบเท่า หรือขั้นต่ำปริญญาโทหรือเทียบเท่าที่มีตำแหน่งรองศาสตราจารย์หรือเทียบเท่า ในสาขาวิชานั้นหรือสาขาที่สัมพันธ์กัน หรือในสาขาวิชาของรายวิชาที่สอน และต้องมีประสบการณ์ด้านการสอนและมีผลงานทางวิชาการที่ไม่ใช่ส่วนหนึ่งของการศึกษาเพื่อรับปริญญาของตนเอง และเป็นผลงานทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่ตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดในการพิจารณาแต่งตั้งให้บุคคลดำรงตำแหน่งทางวิชาการอย่างน้อย ๑ เรื่อง ในรอบ ๕ ปี ย้อนหลัง

กรณีอาจารย์พิเศษที่ไม่มีคุณวุฒิตามที่กำหนดข้างต้น ต้องเป็นผู้ทรงคุณวุฒิที่มีความรู้และประสบการณ์เป็นที่ยอมรับ ซึ่งตรงหรือสัมพันธ์กับรายวิชาที่สอน โดยผ่านความเห็นชอบจากสภามหาวิทยาลัย ทั้งนี้ หากรายวิชาใดที่มีความจำเป็นต้องใช้อาจารย์พิเศษ ต้องมีอาจารย์ประจำร่วมรับผิดชอบกระบวนการเรียนการสอนและพัฒนานักศึกษา ตลอดระยะเวลาของการจัดการเรียนการสอนรายวิชานั้น ๆ ด้วย

๑๕.๖ อาจารย์ใหม่ที่มีคุณวุฒิระดับปริญญาเอก แม้ยังไม่มีผลงานทางวิชาการหลังสำเร็จการศึกษา อนุโลมให้เป็นอาจารย์ผู้สอนในระดับปริญญาเอกได้ แต่ทั้งนี้หากจะทำหน้าที่เป็นอาจารย์ประจำหลักสูตร และอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ผู้สอบวิทยานิพนธ์ในระดับปริญญาเอก ต้องมีผลงานทางวิชาการประเภทวิจัย ภายหลังสำเร็จการศึกษาอย่างน้อย ๑ เรื่อง ภายใน ๒ ปี หรือ ๒ เรื่อง ภายใน ๔ ปี หรือ ๓ เรื่อง ภายใน ๕ ปี

ข้อ ๑๖ ภาระงานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์หรือการค้นคว้าอิสระ/การศึกษาอิสระ

๑๖.๑ อาจารย์ประจำหลักสูตร ๑ คน ให้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์หลักของนักศึกษาปริญญาโทและปริญญาเอก ตามหลักเกณฑ์ ดังนี้

๑๖.๑.๑ กรณีอาจารย์ประจำหลักสูตรมีคุณวุฒิปริญญาเอกหรือเทียบเท่า และมีผลงานทางวิชาการตามเกณฑ์ ให้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์ของนักศึกษาระดับปริญญาโทและปริญญาเอก รวมได้ไม่เกิน ๕ คน ต่อภาคการศึกษา

๑๖.๑.๒ กรณีอาจารย์ประจำหลักสูตรมีคุณวุฒิปริญญาเอกหรือเทียบเท่า และดำรงตำแหน่งระดับผู้ช่วยศาสตราจารย์หรือเทียบเท่าขึ้นไป หรือมีคุณวุฒิปริญญาโทหรือเทียบเท่าที่มีตำแหน่งรองศาสตราจารย์หรือเทียบเท่าขึ้นไป และมีผลงานทางวิชาการตามเกณฑ์ ให้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์ของนักศึกษาระดับปริญญาโทและปริญญาเอก รวมได้ไม่เกิน ๑๐ คนต่อภาคการศึกษา

๑๖.๑.๓ กรณีอาจารย์ประจำหลักสูตรมีคุณวุฒิปริญญาเอกหรือเทียบเท่า และดำรงตำแหน่งศาสตราจารย์หรือเทียบเท่า ซึ่งมีความจำเป็นต้องดูแลนักศึกษาเกินกว่าจำนวนที่กำหนด ให้เสนอต่อสภามหาวิทยาลัยพิจารณา แต่ทั้งนี้ต้องไม่เกิน ๑๕ คนต่อภาคการศึกษา หากมีความจำเป็นต้องดูแลนักศึกษามากกว่า ๑๕ คน ให้ขอความเห็นชอบจากคณะกรรมการเป็นรายกรณี

๑๖.๒ อาจารย์ประจำหลักสูตร ๑ คน ให้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ/การศึกษาอิสระของนักศึกษาปริญญาโทได้ไม่เกิน ๑๕ คน

หากเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาทั้งวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์และการค้นคว้าอิสระ/การศึกษาอิสระ ให้คิดสัดส่วนจำนวนนักศึกษาที่ทำวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์ ๑ คน เทียบได้กับจำนวนนักศึกษาที่ทำการค้นคว้าอิสระ/การศึกษาอิสระ ๓ คน แต่ทั้งนี้รวมแล้วต้องไม่เกิน ๑๕ คนต่อภาคการศึกษา

๑๖.๓ อาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร ต้องทำหน้าที่อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์ และ/หรือ อาจารย์ผู้สอบวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์ และ/หรืออาจารย์ผู้สอนในหลักสูตรนั้นด้วย

หมวด ๔
การรับบุคคลเข้าศึกษา

ข้อ ๑๗ คุณสมบัติของผู้เข้าศึกษา

๑๗.๑ หลักสูตรประกาศนียบัตรบัณฑิต

เป็นผู้สำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาตรีหรือเทียบเท่า

๑๗.๒ หลักสูตรปริญญาโท

เป็นผู้สำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาตรีหรือเทียบเท่าหรือระดับประกาศนียบัตรบัณฑิต

๑๗.๓ หลักสูตรประกาศนียบัตรบัณฑิตชั้นสูง

เป็นผู้สำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาโทหรือเทียบเท่าหรือระดับประกาศนียบัตรบัณฑิต

๑๗.๔ หลักสูตรปริญญาเอก

เป็นผู้สำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาตรีหรือเทียบเท่าที่มีผลการเรียนดีมาก หรือระดับปริญญาโทหรือเทียบเท่า และมีผลการสอบภาษาอังกฤษได้ตามเกณฑ์ที่คณะกรรมการการอุดมศึกษากำหนด

ทั้งนี้ตั้งแต่ข้อ ๑๗.๑ - ๑๗.๔ ต้องเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในแต่ละหลักสูตรและคุณสมบัติอื่นตามประกาศการรับสมัครเข้าศึกษาของมหาวิทยาลัยโดยจะประกาศให้ทราบล่วงหน้าเป็นคราว ๆ ไป

ข้อ ๑๘ การรับเข้าศึกษา

๑๘.๑ โดยการทดสอบข้อเขียน และ/หรือสอบสัมภาษณ์ หรือวิธีการอื่นใดตามประกาศของมหาวิทยาลัย

๑๘.๒ กรณีการสะสมหน่วยกิตการคัดเลือกให้เข้าศึกษาในบางรายวิชาที่เปิดสอนในระดับบัณฑิตศึกษาโดยเข้าศึกษาเรียนรู้เก็บสะสมหน่วยกิตรายวิชาที่เปิดสอนในระดับบัณฑิตศึกษา อาจขอรับหน่วยกิตหรือไม่ขอรับหน่วยกิตก็ได้ แต่มิใช่เป็นการศึกษาเพื่อขอรับปริญญาจากมหาวิทยาลัย

๑๓

ข้อ ๑๙ การรายงานตัวและขึ้นทะเบียนเป็นนักศึกษา

๑๙.๑ ผู้ผ่านการรับเข้าศึกษาตามข้อ ๑๘.๑ ต้องแจ้งความประสงค์ที่จะเข้าศึกษาโดยส่งเอกสารรายงานตัวเข้าศึกษาพร้อมหลักฐานที่บัณฑิตวิทยาลัย ตามกำหนดในภาคการศึกษาที่ระบุขอเข้าศึกษาและในหลักสูตรสาขาวิชาที่ได้รับการพิจารณาให้เป็นผู้มีสิทธิ์เข้าศึกษา และต้องปฏิบัติตามประกาศของมหาวิทยาลัย

๑๙.๒ ผู้ผ่านการรับเข้าศึกษาตามข้อ ๑๘.๒ เมื่อได้รับการตอบรับให้เข้าศึกษาจากบัณฑิตวิทยาลัย ต้องปฏิบัติตามประกาศกำหนดการลงทะเบียน และการชำระค่าธรรมเนียมการศึกษาของมหาวิทยาลัย

หมวด ๕
ระบบการศึกษา

ข้อ ๒๐ ระบบการจัดการศึกษา

ใช้ระบบทวิภาค โดย ๑ ปีการศึกษาแบ่งออกเป็น ๒ ภาคการศึกษาปกติ ๑ ภาคการศึกษาปกติมีระยะเวลาศึกษาไม่น้อยกว่า ๑๕ สัปดาห์ หรือเทียบเคียงได้ไม่น้อยกว่า ๓๕ สัปดาห์ ส่วนภาคฤดูร้อนให้กำหนดระยะเวลาและจำนวนหน่วยกิตโดยมีสัดส่วนเทียบเคียงกันได้กับการศึกษาภาคปกติ

ในกรณีที่จัดการศึกษาในระบบอื่น ให้มีการนับระยะเวลาในการศึกษาเทียบเคียงได้กับระบบทวิภาค โดยให้สภามหาวิทยาลัยเป็นผู้กำหนด ซึ่งจะต้องแสดงรายละเอียดเกี่ยวกับระบบการศึกษานั้นไว้ในหลักสูตรให้ชัดเจน ประกอบด้วยรายละเอียดเกี่ยวกับระยะเวลาของหน่วยการเรียนรู้เทียบเคียงกับหน่วยกิตในระบบทวิภาค รายวิชาภาคทฤษฎีและรายวิชาภาคปฏิบัติ การฝึกงานหรือการฝึกภาคสนาม การทำโครงงานหรือกิจกรรมการเรียนอื่นใดที่เสริมสร้างการเรียนรู้ที่ได้รับมอบหมาย วิทยานิพนธ์ การศึกษาอิสระให้มีความสอดคล้องและเหมาะสมกับระบบการจัดการศึกษาที่สภามหาวิทยาลัยกำหนด

ข้อ ๒๑ รูปแบบการจัดการศึกษา แบ่งออกเป็น ๓ รูปแบบ ดังนี้

๒๑.๑ การศึกษาในระบบ หมายถึง การศึกษาที่กำหนดจุดมุ่งหมาย วิธีการศึกษา หลักสูตร ระยะเวลาของการศึกษา การวัดและประเมินผล ซึ่งเป็นเงื่อนไขของการสำเร็จการศึกษาที่แน่นอน

๒๑.๒ การศึกษานอกระบบ หมายถึง การศึกษาที่มีความยืดหยุ่นในการกำหนดจุดมุ่งหมาย รูปแบบ วิธีการจัดการศึกษา ระยะเวลาของการศึกษา การวัดและประเมินผล ซึ่งเป็นเงื่อนไขสำคัญของการสำเร็จการศึกษา โดยเนื้อหาและหลักสูตรจะต้องมีความเหมาะสมสอดคล้องกับสภาพปัญหาและความต้องการของบุคคลแต่ละกลุ่ม

๒๑.๓ การศึกษาตามอัธยาศัย หมายถึง การศึกษาที่ให้ผู้เรียนได้เรียนรู้ด้วยตนเองตามความสนใจ ศักยภาพ ความพร้อม และโอกาส โดยศึกษาจากบุคคล ประสบการณ์ สังคม สภาพแวดล้อม สื่อ หรือแหล่งความรู้อื่น ๆ

มหาวิทยาลัยอาจยกเว้นหรือเทียบโอนหน่วยกิตรายวิชาหรือวิทยานิพนธ์จากหลักสูตรระดับบัณฑิตศึกษา ให้กับนักศึกษาที่มีความรู้ความสามารถที่สามารถวัดมาตรฐานได้ ทั้งนี้ นักศึกษาต้องศึกษาให้ครบตามจำนวนหน่วยกิตที่กำหนดไว้ในหลักสูตร เกณฑ์มาตรฐานหลักสูตร และเป็นไปตามหลักเกณฑ์การเทียบโอนหน่วยกิตและผลการศึกษาในระดับอุดมศึกษา ทั้งนี้ให้เป็นไปตามที่มหาวิทยาลัยกำหนด

ข้อ ๒๒ ประเภทของหลักสูตร แบ่งออกเป็น ๓ ประเภท ดังนี้

๒๒.๑ หลักสูตรปกติ (Regular Program) หมายถึง หลักสูตรสาขาวิชาใดสาขาวิชาหนึ่งที่ใช้ภาษาไทยเป็นสื่อหลักในการเรียนการสอน และ/หรืออาจมีบางรายวิชาที่ใช้ภาษาต่างประเทศเป็นสื่อในการเรียนการสอนตามความเหมาะสมหรือความจำเป็นด้วยก็ได้

๒๒.๒ หลักสูตรนานาชาติ (International Program) หมายถึง หลักสูตรสาขาวิชาใดสาขาวิชาหนึ่งที่มีองค์ความรู้และเนื้อหาสาระที่มีความเป็นสากล และมีการจัดกิจกรรมเพื่อส่งเสริมความเป็นนานาชาติ เพื่อมุ่งผลิตบัณฑิตให้มีคุณภาพและมาตรฐานสากล โดยใช้ภาษาต่างประเทศเป็นสื่อในการเรียนการสอน

๒๒.๓ หลักสูตรสองภาษา (Bilingual Program) หมายถึง หลักสูตรที่ใช้ภาษาอังกฤษหรือภาษาต่างประเทศอื่นเป็นสื่อหลักในการเรียนการสอนร่วมกับภาษาไทย

ทั้งนี้การเปิดสอนหลักสูตรสาขาวิชาใดสาขาวิชาหนึ่ง ให้กำหนดประเภทของหลักสูตรที่เปิดสอนเป็นหลักสูตรปกติหรือหลักสูตรนานาชาติหรือหลักสูตรสองภาษา ประเภทใดประเภทหนึ่งเท่านั้น

ข้อ ๒๓ ประเภทของนักศึกษา แบ่งเป็น ๓ ประเภท ดังนี้

๒๓.๑ นักศึกษาปกติ หมายถึง นักศึกษาที่มีคุณสมบัติครบถ้วนและผ่านการพิจารณาคัดเลือกเข้าศึกษาแล้ว

๒๓.๒ นักศึกษาทดลองเรียน หมายถึง นักศึกษาที่ขาดคุณสมบัติ หรือขาดเงื่อนไขของการรับเข้าบางประการ หรือมาสมัครเข้าศึกษาไม่ตรงตามกำหนดภาคการศึกษา ที่สาขาวิชาเห็นว่าน่าจะเปิดโอกาสให้นักศึกษาที่มีความประสงค์จะเข้าศึกษาได้ทดลองเรียน ตามเงื่อนไขเพิ่มเติมบางประการ โดยไม่มีสิทธิรับปริญญาประกาศนียบัตรบัณฑิตหรือประกาศนียบัตรบัณฑิตชั้นสูงจากมหาวิทยาลัย และเมื่อผ่านเงื่อนไขตามที่กำหนดแล้วจึงเปลี่ยนสภาพเป็นนักศึกษาปกติได้ โดยนับระยะเวลาการศึกษาตั้งแต่เข้าศึกษาเป็นนักศึกษาทดลองเรียน

๒๓.๓ นักศึกษาสมทบ หมายถึง นักศึกษาที่กำลังศึกษาระดับปริญญาตรี หรือบุคคลทั่วไปที่มหาวิทยาลัยรับเป็นผู้เรียนให้ลงทะเบียนเรียนรายวิชาระดับบัณฑิตศึกษาภายใต้รูปแบบการจัดการเรียนการสอนรูปแบบใดรูปแบบหนึ่งในหลักสูตรที่มหาวิทยาลัยเปิดสอนเพื่อสะสมผลการเรียนไว้ในระบบคลังหน่วยกิต

ข้อ ๒๔ การคิดหน่วยกิต

๒๔.๑ รายวิชาภาคทฤษฎีที่ใช้เวลาบรรยายหรืออภิปรายปัญหาไม่น้อยกว่า ๑๕ ชั่วโมงต่อภาคการศึกษาปกติ ให้มีค่าเท่ากับ ๑ หน่วยกิต

๒๔.๒ รายวิชาภาคปฏิบัติที่ใช้เวลาฝึกหรือทดลองไม่น้อยกว่า ๓๐ ชั่วโมงต่อภาคการศึกษาปกติ ให้มีค่าเท่ากับ ๑ หน่วยกิต

๒๔.๓ การฝึกงานหรือการฝึกภาคสนามที่ใช้เวลาฝึกไม่น้อยกว่า ๔๕ ชั่วโมงต่อภาคการศึกษาปกติ ให้มีค่าเท่ากับ ๑ หน่วยกิต

๒๔.๔ การทำโครงงานหรือกิจกรรมการเรียนอื่นใดตามที่ได้รับมอบหมายที่ใช้เวลาทำโครงงานหรือกิจกรรมนั้น ๆ ไม่น้อยกว่า ๔๕ ชั่วโมงต่อภาคการศึกษาปกติ ให้มีค่าเท่ากับ ๑ หน่วยกิต

๒๔.๕ การค้นคว้าอิสระที่ใช้เวลาศึกษาค้นคว้าไม่น้อยกว่า ๔๕ ชั่วโมงต่อภาคการศึกษาปกติ ให้มีค่าเท่ากับ ๑ หน่วยกิต

๒๔.๖ วิทยานิพนธ์ที่ใช้เวลาศึกษาค้นคว้าไม่น้อยกว่า ๑๕ ชั่วโมงต่อภาคการศึกษาปกติ ให้มีค่าเท่ากับ ๑ หน่วยกิต

๒๔.๗ กิจกรรมการเรียนอื่นใดที่สร้างการเรียนรู้นอกเหนือจากรูปแบบที่กำหนดข้างต้น การนับระยะเวลาในการทำกิจกรรมนั้นต่อภาคการศึกษาปกติ ให้มีค่าเท่ากับ ๑ หน่วยกิต ให้เป็นไปตามที่สภามหาวิทยาลัยกำหนด

หลักสูตรใดที่จัดการศึกษาในระบบอื่นที่ไม่ใช่ระบบทวิภาค ให้นับระยะเวลาการศึกษาและการคิดหน่วยกิตเทียบเคียงได้กับระบบทวิภาค โดยให้สภามหาวิทยาลัยเป็นผู้กำหนด

หมวด ๖
การลงทะเบียนเรียน

ข้อ ๒๕ การลงทะเบียนเรียน

๒๕.๑ การลงทะเบียนเรียนและการชำระค่าธรรมเนียมการศึกษาให้เป็นไปตามรายละเอียดที่มหาวิทยาลัยกำหนดไว้ในประกาศอัตราค่าธรรมเนียมการศึกษา และชำระค่าธรรมเนียมการศึกษาภายในระยะเวลาที่กำหนดไว้ในประกาศของแต่ละปีการศึกษา

๒๕.๒ จำนวนหน่วยกิตการลงทะเบียนเรียน

๒๕.๒.๑ การลงทะเบียนเรียนภาคปกติ คือ ลงทะเบียนเรียนได้ ไม่เกิน ๑๕ หน่วยกิต ในแต่ละภาคการศึกษาปกติตามระบบทวิภาค ในกรณีที่นักศึกษาที่คาดว่าจะสำเร็จการศึกษา ในภาคการศึกษานั้น นักศึกษาอาจลงทะเบียนเรียนเกินกว่า ๑๕ หน่วยกิต ในภาคการศึกษาปกติ หรือเกิน ๙ หน่วยกิต ในภาคฤดูร้อนได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับดุลยพินิจของอธิการบดี

๒๕.๒.๒ การลงทะเบียนเรียนภาคพิเศษ คือ ลงทะเบียนเรียนได้ ไม่เกิน ๑๒ หน่วยกิต ในแต่ละภาคการศึกษาปกติตามระบบทวิภาค ในกรณีที่นักศึกษาที่คาดว่าจะสำเร็จการศึกษาในภาคการศึกษานั้น นักศึกษาอาจลงทะเบียนเรียนเกินกว่า ๑๒ หน่วยกิต ในภาคการศึกษาปกติ หรือเกินกว่า ๖ หน่วยกิต ในภาคฤดูร้อนได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับดุลยพินิจของอธิการบดี

๒๕.๓ การลงทะเบียนเพื่อรักษาสถานภาพการเป็นนักศึกษา มี ๒ รูปแบบ ดังนี้

๒๕.๓.๑ นักศึกษาที่อยู่ระหว่างลงทะเบียนเรียนตามแผนการเรียน สามารถลาพักการศึกษาได้โดยเป็นตามเงื่อนไขข้อ ๒๐ และชำระค่าธรรมเนียมตามประกาศของมหาวิทยาลัย

๒๕.๓.๒ นักศึกษาที่ลงทะเบียนเรียนครบทุกรายวิชาตามแผนการเรียน แต่ยังไม่สำเร็จการศึกษาเนื่องจากอยู่ระหว่างทำวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์หรือการค้นคว้าอิสระ/การศึกษาอิสระ และ/หรือ ยังไม่สามารถสอบวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์หรือการค้นคว้าอิสระ/การศึกษาอิสระ ให้ปรากฏผลผ่านอย่างสมบูรณ์ และ/หรือส่งเล่มฉบับสมบูรณ์ ต้องชำระค่าธรรมเนียมวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์/การศึกษาอิสระต่อเนื่องทุกภาคการศึกษา จนกว่าจะสำเร็จการศึกษาตามประกาศของมหาวิทยาลัย และนักศึกษาไม่สามารถขอพักการเรียนได้

๒๕.๕ เวลาเรียน

นักศึกษาจะมีสิทธิ์เข้าสอบในรายวิชาภาคทฤษฎีหรือรายวิชาภาคปฏิบัติ หรือรายวิชาที่มีการทดลอง การฝึกงาน หรือการฝึกภาคสนาม ต่อเมื่อมีเวลาเรียนในรายวิชานั้นไม่น้อยกว่าร้อยละ ๘๐ ของเวลาเรียนทั้งหมดของการบรรยายหรือการปฏิบัติการ การทดลอง การฝึกงานหรือการฝึกภาคสนาม

ข้อ ๒๖ การขอเพิ่ม และขอถอนรายวิชา และการขอเปิดรายวิชาใหม่

นักศึกษาจะขอเพิ่ม หรือขอถอนรายวิชาได้ต่อเมื่อได้รับความเห็นชอบจากอาจารย์ผู้รับผิดชอบรายวิชาและประธานคณะกรรมการบริหารหลักสูตร และต้องได้รับอนุมัติจากมหาวิทยาลัย โดยมีเกณฑ์การพิจารณาอนุมัติ ดังต่อไปนี้

๒๖.๑ การขอเพิ่มรายวิชา จะต้องกระทำภายใน ๒ สัปดาห์นับจากวันเปิดภาคการศึกษาของบัณฑิตวิทยาลัยในแต่ละภาคการศึกษาปกติหรือภายในสัปดาห์แรกของการเปิดภาคการศึกษาภาคฤดูร้อน

๒๖.๒ การขอถอนรายวิชา จะกระทำได้เมื่อพ้นสัปดาห์ที่ ๒ นับจากวันเปิดภาคการศึกษาของบัณฑิตวิทยาลัยในแต่ละภาคการศึกษาปกติ หรือเมื่อพ้นสัปดาห์แรกของการเปิดภาคการศึกษาภาคฤดูร้อนจนถึง ๑ สัปดาห์ ก่อนการสอบครั้งสุดท้ายของรายวิชานั้น และจะบันทึกรายวิชาที่ขอถอนลงในใบแสดงผลการศึกษาด้วย

๒๖.๓ การขอเปิดรายวิชาใหม่ ให้กระทำได้ภายในสิบวันนับแต่วันเปิดภาคการศึกษา และให้อยู่ในเกณฑ์ข้อใดข้อหนึ่ง ดังต่อไปนี้

๒๖.๓.๑ กรณีเป็นภาคการศึกษาสุดท้าย

(๑) การลงทะเบียนเรียนภาคปกติ จำนวนหน่วยกิตต้องไม่เกิน ๑๘ หน่วยกิต สำหรับในแต่ละภาคการศึกษาปกติตามระบบทวิภาค และไม่เกิน ๑๒ หน่วยกิตสำหรับภาคฤดูร้อน

(๒) การลงทะเบียนเรียนภาคพิเศษ คือ จำนวนหน่วยกิตต้องไม่เกิน ๑๕ หน่วยกิต สำหรับในแต่ละภาคการศึกษาปกติตามระบบทวิภาค และไม่เกิน ๙ หน่วยกิตสำหรับภาคฤดูร้อน

๒๖.๓.๒ เป็นรายวิชาที่เคยขอถอนออก หรือขอลาพักการศึกษา

๒๖.๓.๓ การขอถอนรายวิชาเรียนในกรณีที่พ้นกำหนดการขอถอน และการเปลี่ยนแปลงวิชาเรียนให้กระทำอย่างช้าที่สุดก่อนกำหนดการสอบปลายภาค ๑๕ วัน

ข้อ ๒๗ การเทียบโอนความรู้ ประสบการณ์ เทียบโอนหน่วยกิต และการรับโอนนักศึกษาจากสถาบันอื่น

๒๗.๑ การเทียบโอนความรู้ ประสบการณ์ เทียบโอนหน่วยกิต และการรับโอนนักศึกษาจากสถาบันอื่น บัณฑิตวิทยาลัยอาจเทียบโอนความรู้และประสบการณ์การทำงานหรือเทียบโอนหน่วยกิตจากการศึกษาในระบบ นอกระบบ การศึกษาตามอัธยาศัย เป็นรายวิชาตามหลักสูตรที่เปิดสอนในระดับบัณฑิตศึกษาได้ ทั้งนี้จะต้องผ่านความเห็นชอบ จากคณะกรรมการการบริหารหลักสูตร คณะกรรมการคลังหน่วยกิต ต้องได้รับอนุมัติจากมหาวิทยาลัย และเป็นไปตามประกาศของมหาวิทยาลัยกำหนด

๒๗.๒ การรับโอนนักศึกษาจากสถาบันอื่น

๒๗.๒.๑ ต้องผ่านความเห็นชอบจากคณะกรรมการบริหารหลักสูตร พิจารณารับโอนนักศึกษาจากสถาบันอื่นที่มีฐานะเทียบเท่ามหาวิทยาลัยได้โดยมีเงื่อนไขและวิธีการตามที่บัณฑิตวิทยาลัยกำหนด เพื่อเสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัยและต้องได้รับอนุมัติจากมหาวิทยาลัย ทั้งนี้การนับระยะเวลาที่ศึกษาในหลักสูตรให้เริ่ม

นับตั้งแต่เข้าศึกษาในสถาบันอุดมศึกษาเดิม

๒๗.๒.๒ นักศึกษาจากสถาบันอื่นที่ได้รับโอนเข้าศึกษาในหลักสูตรระดับบัณฑิตศึกษาจะต้องยอมรับหลักเกณฑ์การเทียบโอนตามหัวข้อการรับและเทียบโอนผลการเรียน

๒๗.๒.๓ นักศึกษารับโอนจะต้องใช้เวลาศึกษาในมหาวิทยาลัยเป็นระยะเวลาไม่น้อยกว่า ๑ ปีการศึกษา แต่ต้องไม่เกินกำหนดเวลาที่กำหนด

ข้อ ๒๘ การย้ายสาขาวิชา การเปลี่ยนระดับการศึกษา และการลงทะเบียนข้ามสถาบัน

๒๘.๑ การย้ายสาขาวิชา

๒๘.๑.๑ การย้ายสาขาวิชาจะสามารถกระทำได้ ในกรณีมีเหตุผลอันสมควร ทั้งนี้โดยความเห็นชอบของคณะกรรมการบริหารหลักสูตรสาขาวิชาเดิม และคณะกรรมการบริหารหลักสูตรสาขาวิชาใหม่ และได้รับอนุมัติจากมหาวิทยาลัย

๒๘.๑.๒ นักศึกษาผู้ขอย้ายสาขาวิชาต้องเรียนในสาขาวิชาเดิมมาแล้ว ไม่น้อยกว่า ๑ ภาคการศึกษา

๒๘.๒ การเปลี่ยนระดับการศึกษา

นักศึกษาในหลักสูตรระดับต่ำกว่าอาจได้รับการพิจารณาให้โอนเข้าศึกษาในหลักสูตรที่สูงกว่า หรือในทางกลับกัน นักศึกษาในหลักสูตรระดับที่สูงกว่าอาจได้รับการพิจารณาให้โอนเข้าศึกษาในหลักสูตรระดับที่ต่ำกว่าได้ ทั้งนี้ให้เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ในหลักสูตรนั้น ๆ และ/หรือประกาศของบัณฑิตวิทยาลัย

๒๘.๓ การลงทะเบียนข้ามสถาบัน

๒๘.๓.๑ นักศึกษาจะขอลงทะเบียนเรียน ณ สถาบันอื่นได้ต่อเมื่อได้รับความเห็นชอบจากประธานคณะกรรมการบริหารหลักสูตร และต้องได้รับอนุมัติจากมหาวิทยาลัย โดยมีเกณฑ์การพิจารณาอนุมัติดังต่อไปนี้

(๑) รายวิชาที่หลักสูตรกำหนด มิได้เปิดสอนในมหาวิทยาลัยในภาคการศึกษาและปีการศึกษานั้นด้วยเหตุผลต่าง ๆ

(๒) รายวิชาที่สถาบันอื่นเปิดสอน ต้องมีเนื้อหาที่เทียบเคียงกันได้หรือมีเนื้อหาสาระครอบคลุม ไม่น้อยกว่าเนื้อหารายวิชาในหลักสูตร

(๓) รายวิชาที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษา หรือการทำวิทยานิพนธ์หรือการศึกษาอิสระของนักศึกษา

๒๘.๓.๒ ให้นำหน่วยกิตและผลการศึกษาของรายวิชาที่นักศึกษาลงทะเบียนเรียนข้ามสถาบันไปเป็นส่วนหนึ่งของการประมวลผลการศึกษาตามหลักสูตรที่นักศึกษาศึกษาอยู่

หมวด ๗
สถานภาพการศึกษา

ข้อ ๒๙ การลาพักการศึกษา

๒๙.๑ นักศึกษายื่นคำร้องขออนุญาตลาพักการศึกษาต่อประธานคณะกรรมการบริหารหลักสูตร และต้องได้รับอนุมัติจากมหาวิทยาลัย โดยถือเกณฑ์การพิจารณาอนุมัติดังต่อไปนี้

๒๙.๑.๑ ถูกเกณฑ์หรือระดมเข้ารับราชการทหารกองประจำการ

๒๙.๑.๒ ได้รับทุนแลกเปลี่ยนนักศึกษาระหว่างประเทศ หรือทุนอื่นใดที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษา หรือการทำวิจัยในหลักสูตรที่มหาวิทยาลัยเห็นสมควรสนับสนุน

๒๙.๑.๓ เจ็บป่วยต้องพักรักษาตัวเป็นเวลานานเกินร้อยละ ๒๐ ของเวลาเรียนทั้งหมด โดยมีใบรับรองแพทย์รับรอง

๒๙.๑.๔ ได้ศึกษาและทำการสอบเสร็จสิ้นไปแล้วอย่างน้อย ๑ ภาคการศึกษาและมีคะแนนเฉลี่ยสะสมไม่ต่ำกว่า ๒.๐๐ โดยมีความจำเป็นส่วนตัว

๒๙.๑.๕ มีเหตุจำเป็นสุดวิสัยหรือเจ็บป่วยกะทันหันให้ยื่นคำร้องขอลาพักการศึกษาภายใน ๑๕ วัน นับจากวันที่ขาดการศึกษา

๒๙.๒ การลาพักการศึกษาตามข้อ ๒๙.๑.๓, ๒๙.๑.๔ และ ๒๙.๑.๕ จะกระทำได้ครั้งละไม่เกิน ๒ ภาคการศึกษาติดต่อกัน ถ้าจำเป็นต้องลาพักการศึกษาต่อไปอีกให้ยื่นคำร้องขอลาพักได้อีกไม่เกิน ๑ ภาคการศึกษา การลาพักตามข้อ ๒๙.๑.๑ ให้เป็นไปตามความต้องการของราชการทหารและการลาพักตามข้อ ๒๙.๑.๒ ให้เป็นไปตามเงื่อนไขของทุนที่ได้รับ

๒๙.๓ ในกรณีที่นักศึกษาได้รับอนุญาตให้ลาพักการศึกษาให้นับเวลาที่ลาพักอยู่ในระยะเวลาการศึกษาด้วย ยกเว้นนักศึกษาที่ได้รับอนุญาตให้ลาพักการศึกษาตามข้อ ๒๙.๑.๑

๒๙.๔ นักศึกษาจะต้องรักษาสภาพการเป็นนักศึกษาในระหว่างที่ได้รับอนุญาตให้ลาพักการศึกษา โดยชำระค่าธรรมเนียมการศึกษาตามระเบียบมหาวิทยาลัย ยกเว้นการลาพักการศึกษาตามข้อ ๒๙.๑.๑ มิฉะนั้น จะถูกจำหน่ายชื่อออกจากมหาวิทยาลัย

๒๙.๕ นักศึกษาที่ได้รับอนุญาตให้ลาพักการศึกษาเมื่อกลับเข้าศึกษาจะต้องยื่นคำร้องขอกลับเข้าศึกษาต่อประธานคณะกรรมการบริหารหลักสูตร และต้องได้รับอนุมัติจากมหาวิทยาลัยก่อนกำหนดการลงทะเบียนไม่น้อยกว่า ๑ สัปดาห์

ข้อ ๓๐ การพ้นสภาพการเป็นนักศึกษา

นักศึกษาจะพ้นสภาพการเป็นนักศึกษาในกรณีดังต่อไปนี้

๓๐.๑ ศึกษาครบถ้วนตามหลักสูตรและได้รับอนุมัติให้สำเร็จการศึกษา

๓๐.๒ ได้รับอนุมัติจากอธิการบดีให้ลาออก

๓๐.๓ อธิการบดีสั่งให้พ้นจากสภาพการเป็นนักศึกษาในกรณีดังต่อไปนี้

๓๐.๓.๑ เป็นนักศึกษาทดลองเรียนตามข้อ ๒๓.๒ ที่ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงสภาพเป็นนักศึกษาปกติได้

๓๐.๓.๒ ได้คะแนนเฉลี่ยประจำภาคการศึกษาต่ำกว่า ๒.๕๐ ติดต่อกันสองภาคการศึกษา

๓๐.๓.๓ ไม่สามารถสำเร็จการศึกษาตามระยะเวลาการศึกษาที่กำหนดไว้ในแต่ละหลักสูตร และ/หรือตามระยะเวลาเรียนข้อ ๓๓

๓๐.๓.๔ ไม่ส่งเอกสารลงทะเบียนเรียน และ/หรือไม่ชำระค่าธรรมเนียมการศึกษาภายในเวลาที่กำหนด

๓๐.๓.๕ ไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขการลาพักการศึกษา

๓๐.๓.๖ ทุจริตในการสอบ และ/หรือทุจริตในการทำวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์หรือการค้นคว้าอิสระ/การศึกษาอิสระ

๓๐.๓.๗ ตาย

๓๐.๓.๘ มหาวิทยาลัยพิจารณาให้พ้นสภาพการเป็นนักศึกษา

ข้อ ๓๑ การคืนสภาพการเป็นนักศึกษา

๓๑.๑ นักศึกษาที่พ้นสภาพการเป็นนักศึกษาหลังจากขึ้นทะเบียนเป็นนักศึกษาแล้ว และพ้นสภาพ ในกรณีข้อ ๓๐.๒ หรือ ๓๐.๓.๑ - ๓๐.๓.๕ และ ๓๐.๓.๘ ยื่นคำร้องขอคืนสภาพการเป็นนักศึกษาได้ภายในกำหนดระยะเวลาการเรียนของแต่ละหลักสูตร ทั้งนี้นับจากวันขึ้นทะเบียนเป็นนักศึกษาของหลักสูตรนั้น ๆ

๓๑.๒ การคืนสภาพการเป็นนักศึกษาต้องได้รับอนุมัติจากอธิการบดีโดยผ่านความเห็นชอบจากประธานคณะกรรมการบริหารหลักสูตรและผู้อำนวยการบัณฑิตวิทยาลัยตามลำดับ

๓๑.๓ นักศึกษาจะได้รับอนุมัติให้กลับเข้าเป็นนักศึกษาในภาคการศึกษาที่อธิการบดีอนุมัติให้คืนสภาพการเป็นนักศึกษา

๓๑.๔ การนับระยะเวลาการศึกษาให้นับรวมระยะเวลาที่นักศึกษาพ้นสภาพเป็นส่วนหนึ่งของระยะเวลาการศึกษาด้วย

๓๑.๕ นักศึกษาต้องชำระค่าธรรมเนียมการคืนสภาพ พร้อมทั้งค่าธรรมเนียมการศึกษาตามระเบียบมหาวิทยาลัยตลอดระยะเวลาที่นักศึกษาพ้นสภาพ

๓๑.๖ นักศึกษาที่ได้รับอนุมัติให้กลับเข้าเป็นนักศึกษาแล้วจะมีสถานภาพ เช่นเดียวกับสถานภาพเดิม ก่อนพ้นสภาพ

ข้อ ๓๒ การเปลี่ยนสถานสภาพนักศึกษาทดลองเรียน ที่ไม่สามารถเปลี่ยนสถานภาพเป็นนักศึกษาปกติได้ ให้ดำเนินการพิจารณาตามข้อบังคับมหาวิทยาลัย ว่าด้วยการดำเนินงานระบบคลังหน่วยกิตระดับอุดมศึกษาโดยอนุโลม

ข้อ ๓๓ ระยะเวลาการศึกษา

๓๓.๑ หลักสูตรประกาศนียบัตรบัณฑิต และหลักสูตรประกาศนียบัตรบัณฑิตชั้นสูงให้ใช้เวลาศึกษาไม่เกิน ๓ ปีการศึกษา

๓๓.๒ หลักสูตรปริญญาโท ให้ใช้เวลาศึกษาไม่เกิน ๕ ปีการศึกษา

๓๓.๓ หลักสูตรปริญญาเอก

๓๓.๓.๑ สำหรับผู้ที่สำเร็จปริญญาตรีแล้วเข้าศึกษาต่อปริญญาเอกให้ใช้เวลาศึกษาไม่เกิน ๘ ปีการศึกษา

๔.๓.๒ สำหรับผู้ที่สำเร็จปริญญาโทแล้วเข้าศึกษาต่อปริญญาเอกให้ใช้เวลาศึกษาไม่เกิน ๒ ปีการศึกษา

นักศึกษาที่ไม่สามารถสำเร็จการศึกษาได้ภายในระยะเวลาที่กำหนด สามารถขอขยายเวลาเรียนได้ไม่เกินครั้งละ ๑ ปีการศึกษาตามเหตุจำเป็น ทั้งนี้ การอนุมัติให้ขยายเวลาเรียนให้เป็นอำนาจของสภามหาวิทยาลัย โดยหลักเกณฑ์ วิธีการ ขั้นตอน และเงื่อนไขการขอขยายเวลาเรียน ให้มหาวิทยาลัยจัดทำเป็นประกาศ

หมวด ๘
การสำเร็จการศึกษา

ข้อ ๑๔ การขอสำเร็จการศึกษาและเกณฑ์การสำเร็จการศึกษา

นักศึกษาผู้คาดว่าจะสำเร็จการศึกษาในแต่ละภาคการศึกษาให้ยื่นคำร้องแสดงความจำนงขอสำเร็จการศึกษาต่อบัณฑิตวิทยาลัยล่วงหน้าอย่างน้อย ๓๐ วันก่อนสิ้นภาคการศึกษาสุดท้าย และวันที่สำเร็จการศึกษา คือวันที่ได้รับการอนุมัติจากคณะกรรมการอนุมัติผลการศึกษาของมหาวิทยาลัย

บัณฑิตวิทยาลัย จะเสนอขออนุมัติประกาศนียบัตรหรือปริญญาบัตรให้แก่นักศึกษาที่ดำเนินการครบตามเงื่อนไข ต่อไปนี้

๑๔.๑ นักศึกษาระดับประกาศนียบัตรบัณฑิตและนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรบัณฑิตชั้นสูง

๑๔.๑.๑ ศึกษารายวิชาต่าง ๆ ครบถ้วนตามโครงสร้างของหลักสูตรและได้รับสัญลักษณ์แสดงผลการศึกษาตามเกณฑ์ที่กำหนด โดยมีคะแนนเฉลี่ยสะสมไม่ต่ำกว่า ๓.๐๐ จากระบบ ๔ ระดับคะแนนหรือเทียบเท่า

๑๔.๑.๒ ข้อกำหนดอื่น ๆ ตามที่แต่ละหลักสูตรกำหนดโดยความเห็นชอบของบัณฑิตวิทยาลัย และให้เป็นไปตามประกาศของมหาวิทยาลัย

๑๔.๒ นักศึกษาระดับปริญญาโท

๑๔.๒.๑ หลักสูตรระดับปริญญาโท แผน ๑

(๑) ศึกษารายวิชาต่าง ๆ ครบถ้วนตามโครงสร้างของหลักสูตรและได้รับสัญลักษณ์แสดงผลการศึกษาตามเกณฑ์ที่กำหนด (ถ้ามี) โดยมีคะแนนเฉลี่ยสะสมไม่ต่ำกว่า ๓.๐๐ จากระบบ ๔ ระดับคะแนนหรือเทียบเท่า

(๒) ได้เสนอวิทยานิพนธ์และสอบผ่านการสอบปากเปล่าขั้นสุดท้ายที่เป็นระบบเปิดให้ผู้สนใจเข้ารับฟังได้ และส่งรูปเล่มวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์ที่จัดพิมพ์ตามข้อกำหนดของบัณฑิตวิทยาลัย สำหรับการสอบปากเปล่าให้ดำเนินการโดยคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่มหาวิทยาลัยแต่งตั้งมีองค์ประกอบเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานหลักสูตรระดับบัณฑิตศึกษา พ.ศ. ๒๕๖๕ ข้อ ๙.๓.๔ และเป็นไปตามประกาศของมหาวิทยาลัยกำหนด

(๓) ผลงานวิทยานิพนธ์หรือส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์ได้รับการตีพิมพ์หรืออย่างน้อยได้รับการเผยแพร่ในรูปแบบบทความหรืองานวัตกรรมหรือสิ่งประดิษฐ์หรือผลงานทางวิชาการอื่น

ซึ่งสามารถเทียบค่นได้ตามที่สภามหาวิทยาลัยกำหนด

(๔) ข้อกำหนดอื่น ๆ ตามที่แต่ละหลักสูตรกำหนด

๓๔.๒.๒ หลักสูตรระดับปริญญาโท แผน ๒

(๑) ศึกษารายวิชาต่าง ๆ ครบถ้วนตามโครงสร้างของหลักสูตรและได้รับสัญลักษณ์แสดงผลการศึกษาตามเกณฑ์ที่กำหนด โดยมีคะแนนเฉลี่ยสะสมไม่ต่ำกว่า ๓.๐๐ จากระบบ ๔ ระดับคะแนนหรือเทียบเท่า

(๒) สอบผ่านการสอบประมวลความรู้ (Comprehensive Examination) ด้วยข้อเขียน และ/หรือปากเปล่าในสาขาวิชานั้น โดยนักศึกษาต้องศึกษารายวิชาบังคับครบถ้วนตามโครงสร้างของหลักสูตรและต้องศึกษารายวิชาที่มีเนื้อหาในการสอบประมวลความรู้นั้น และได้รับสัญลักษณ์แสดงผลการศึกษาตามเกณฑ์ที่กำหนดแล้ว จึงจะมีสิทธิสอบประมวลความรู้

(๓) ได้เสนอรายงานการศึกษาอิสระและสอบปากเปล่าผ่านการสอบการศึกษาอิสระขั้นสุดท้าย ที่เป็นระบบเปิดให้ผู้สนใจเข้ารับฟังได้ และส่งรูปเล่มการศึกษาอิสระฉบับสมบูรณ์ที่จัดพิมพ์ตามข้อกำหนดของบัณฑิตวิทยาลัย สำหรับการสอบปากเปล่าให้ดำเนินการโดยคณะกรรมการสอบการศึกษาอิสระที่มหาวิทยาลัยแต่งตั้ง และเป็นไปตามประกาศของมหาวิทยาลัยกำหนด

(๔) ข้อกำหนดอื่น ๆ ตามที่แต่ละหลักสูตรกำหนด

๓๔.๓ นักศึกษาระดับปริญญาเอก

๓๔.๓.๑ หลักสูตรระดับปริญญาเอก แผน ๑

(๑) กรณีที่เรียนรายวิชาเพิ่มเติมหรือทำกิจกรรมวิชาการอื่นเพิ่มเติมโดยไม่นับหน่วยกิต ต้องมีผลลัพธ์การเรียนรู้ ตามที่หลักสูตรกำหนด

(๒) สอบผ่านการสอบวัดคุณสมบัติ (Qualifying Examination) เพื่อเป็นผู้มีสิทธิ์ขอทำวิทยานิพนธ์

(๓) ได้เสนอวิทยานิพนธ์และสอบผ่านการสอบปากเปล่าขั้นสุดท้ายโดยคณะกรรมการซึ่งจะต้องประกอบด้วยผู้ทรงคุณวุฒิจากภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย และต้องเป็นระบบเปิดให้ผู้สนใจเข้ารับฟังได้ และส่งรูปเล่มวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์ที่จัดพิมพ์ตามข้อกำหนดของบัณฑิตวิทยาลัย สำหรับการสอบปากเปล่าให้ดำเนินการโดยคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่มหาวิทยาลัยแต่งตั้ง มีองค์ประกอบเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานหลักสูตรระดับบัณฑิตศึกษา พ.ศ. ๒๕๖๕ ข้อ ๙.๔.๔ และเป็นไปตามประกาศของมหาวิทยาลัยกำหนด

(๔) ผลงานวิทยานิพนธ์หรือส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์ต้องได้รับการตีพิมพ์หรืออย่างน้อยได้รับการยอมรับให้ตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติที่มีคุณภาพตามประกาศที่คณะกรรมการกำหนดอย่างน้อย ๒ เรื่องหรือได้รับการเผยแพร่หรือยอมรับให้ตีพิมพ์ อย่างน้อย ๑ เรื่องและเป็นผลงานนวัตกรรมหรืองานสร้างสรรค์ที่สามารถนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ สังคม เศรษฐกิจอย่างน้อย ๑ เรื่อง หรือได้รับสิทธิบัตรอย่างน้อย ๑ สิทธิบัตร

กรณีผลงานนวัตกรรมหรือผลงานสร้างสรรค์ต้องได้รับการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกในสาขาเดียวกันหรือที่เกี่ยวข้องอย่างน้อย ๓ คน ที่เป็นผู้มีความรู้ความเชี่ยวชาญและประสบการณ์สูงเป็นที่ยอมรับโดยได้รับความเห็นชอบจากสภามหาวิทยาลัย

สำหรับนักศึกษาระดับปริญญาเอกสายสังคมศาสตร์และมนุษยศาสตร์อาจเผยแพร่ในวารสารระดับชาติที่มีคุณภาพตามที่คณะกรรมการกำหนด

(๕) ข้อกำหนดอื่นๆ ตามที่แต่ละหลักสูตรกำหนด

๓๙.๓.๒ หลักสูตรระดับปริญญาเอก แผน ๒

(๑) ศึกษารายวิชาต่าง ๆ ครบถ้วนตามโครงสร้างของหลักสูตรและได้รับสัญลักษณ์แสดงผลการศึกษาตามเกณฑ์ที่กำหนด โดยมีคะแนนเฉลี่ยสะสมไม่ต่ำกว่า ๓.๐๐ จากระบบ ๔ ระดับคะแนนหรือเทียบเท่า

(๒) สอบผ่านการสอบวัดคุณสมบัติ (Qualifying Examination) เพื่อเป็นผู้มีสิทธิ์ขอทำวิทยานิพนธ์

(๓) ได้เสนอวิทยานิพนธ์และสอบผ่านการสอบปากเปล่าขั้นสุดท้ายโดยคณะกรรมการซึ่งจะต้องประกอบด้วยผู้ทรงคุณวุฒิจากภายในและภายนอกมหาวิทยาลัยและต้องเป็นระบบเปิดให้ผู้สนใจเข้ารับฟังได้ และส่งรูปเล่มวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์ที่จัดพิมพ์ตามข้อกำหนดของบัณฑิตวิทยาลัย สำหรับการสอบปากเปล่าให้ดำเนินการโดยคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่มหาวิทยาลัยแต่งตั้งมีองค์ประกอบเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานหลักสูตรระดับบัณฑิตศึกษา พ.ศ. ๒๕๖๕ ข้อ ๙.๔.๔ และเป็นไปตามประกาศของมหาวิทยาลัยกำหนด

(๔) ผลงานวิทยานิพนธ์หรือส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์ต้องได้รับการตีพิมพ์หรืออย่างน้อยได้รับการยอมรับให้ตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติที่มีคุณภาพตามประกาศ คณะกรรมการกำหนด หรือได้รับสิทธิบัตรหรือเป็นผลงานนวัตกรรมหรือผลงานสร้างสรรค์ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ สังคม และ เศรษฐกิจ

กรณีผลงานนวัตกรรมหรือผลงานสร้างสรรค์ต้องได้รับการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกในสาขาเดียวกันหรือที่เกี่ยวข้องอย่างน้อย ๓ คน ที่เป็นผู้มีความรู้ความเชี่ยวชาญและประสบการณ์สูงเป็นที่ยอมรับโดยได้รับความเห็นชอบจากสภามหาวิทยาลัย

สำหรับนักศึกษาระดับปริญญาเอกสายสังคมศาสตร์และมนุษยศาสตร์อาจเผยแพร่ในวารสารระดับชาติที่มีคุณภาพตามที่คณะกรรมการกำหนด

(๕) ข้อกำหนดอื่น ๆ ตามที่แต่ละหลักสูตรกำหนด

หมวด ๙
การประเมินผลการเรียน

ข้อ ๑๕ การประเมินผลการศึกษา ให้กระทำเมื่อสิ้นภาคการศึกษาของแต่ละภาค

ข้อ ๑๖ สัญลักษณ์แสดงผลการศึกษาแต่ละรายวิชา เป็นดังนี้

๑๖.๑ สัญลักษณ์ซึ่งมีค่าระดับคะแนน ผลการสอบของแต่ละรายวิชาแสดงได้ด้วยสัญลักษณ์ต่าง ๆ ซึ่งมีความหมายและค่าระดับคะแนน ดังนี้

สัญลักษณ์	ความหมาย	ค่าระดับคะแนน
A	ดีเยี่ยม (Excellent)	๔.๐๐
B+	ดีมาก (Very Good)	๓.๕๐ – ๓.๗๙
B	ดี (Good)	๓.๐๐ – ๓.๔๙
C+	ค่อนข้างดี (Fairly Good)	๒.๕๐ – ๒.๗๙
C	พอใช้ (Fair)	๒.๐๐ – ๒.๔๙
D+	อ่อน (Poor)	๑.๕๐ – ๑.๗๙
D	อ่อนมาก (Very Poor)	๑.๐๐ – ๑.๔๙
F	ตก (Fail)	ต่ำกว่า ๑.๐๐

๑๖.๒ สัญลักษณ์ซึ่งไม่มีค่าระดับคะแนน ผลการสอบของแต่ละรายวิชาแสดงได้ด้วยสัญลักษณ์ต่าง ๆ ซึ่งมีความหมาย ดังนี้

สัญลักษณ์	ความหมาย
S	พอใจ (Satisfactory)
U	ไม่พอใจ (Unsatisfactory)
I	รอการประเมินผล (Incomplete)
P	การศึกษายังไม่สิ้นสุด (In Progress)
W	การถอนรายวิชา (Withdrawal)
Au	การศึกษาโดยไม่นับหน่วยกิต (Audit)
X	ยังไม่ได้รับผลการประเมิน (No Report)
T	การโอนหน่วยกิต (Transfer of Credit)
CS	หน่วยกิตที่ได้จากการทดสอบมาตรฐาน (Credits from Standardized Test)
CE	หน่วยกิตที่ได้จากการทดสอบที่คณะกรรมการบริหารหลักสูตรจัดสอบ (Credits from Examination)
CT	หน่วยกิตที่ได้จากการประเมิน หรืออบรมที่จัดโดยหน่วยงานต่าง ๆ (Credits from Training)
CP	หน่วยกิตจากการเสนอแฟ้มสะสมผลงาน (Credits from Portfolio)

ข้อ ๓๗ รายวิชาที่อยู่ในหมวดวิชาแกนและหมวดวิชาบังคับของหลักสูตร จะต้องได้สัญลักษณ์ไม่ต่ำกว่า B และรายวิชาที่อยู่ในหมวดวิชาเลือกของหลักสูตรจะต้องได้สัญลักษณ์ไม่ต่ำกว่า C ถ้าได้สัญลักษณ์ต่ำกว่าที่ระบุไว้ข้างต้น ต้องลงทะเบียนเรียนในกระบวนวิชานั้นซ้ำอีกจนกระทั่งได้สัญลักษณ์ไม่ต่ำกว่า B ในหมวดวิชาแกนและหมวดวิชาบังคับ และถ้าเป็นรายวิชาในหมวดวิชาเลือก สามารถลงทะเบียนรายวิชาอื่นแทนได้ จนกระทั่งได้สัญลักษณ์ไม่ต่ำกว่า C ในกรณีที่นักศึกษาลงทะเบียนเรียนซ้ำให้นำค่าระดับคะแนนของสัญลักษณ์ที่ได้รับจากการประเมินครั้งสุดท้ายแสดงในระเบียนผลการเรียน

ข้อ ๓๘ การให้ F กระทำได้ในกรณีดังต่อไปนี้

๓๘.๑ นักศึกษาเข้าสอบและ/หรือมีผลงานที่ประเมินผลว่าตก

๓๘.๒ นักศึกษาขาดสอบโดยไม่แสดงเหตุผลจำเป็นสุดวิสัยและไม่ได้รับอนุญาตจากอาจารย์ผู้สอน ประธานคณะกรรมการบริหารหลักสูตร และไม่ได้รับอนุญาตจากผู้อำนวยการบัณฑิตวิทยาลัย

๓๘.๓ นักศึกษาไม่ได้รับอนุญาตให้เข้าสอบคือ มีเวลาเรียนในรายวิชานั้นน้อยกว่าร้อยละ ๘๐ ของเวลาเรียนทั้งหมดของการบรรยาย หรือการปฏิบัติ การทดลอง การฝึกปฏิบัติหรือการศึกษาที่เทียบเท่าการฝึกงานหรือการฝึกภาคสนาม

๓๘.๔ นักศึกษาทำผิดข้อกำหนดในการสอบของแต่ละรายวิชาได้รับการตัดสินให้ตก

๓๘.๕ เปลี่ยนจากสัญลักษณ์ I เพราะนักศึกษาไม่สอบและ/หรือไม่ส่งผลการปฏิบัติงานภายในเงื่อนไขระยะเวลาของการประเมินผล I ในแต่ละกรณี

ข้อ ๓๙ การให้ S หรือ U กระทำได้เฉพาะรายวิชาที่ไม่มีหน่วยกิตหรือมีหน่วยกิต ดังนี้

๓๙.๑ การให้สัญญลักษณ์ S จะกระทำได้ ก็ต่อเมื่อผลการประเมินเป็นที่พอใจ เฉพาะในกรณีต่อไปนี้

๓๙.๑.๑ รายวิชาที่หลักสูตรกำหนดไว้ว่ามีการประเมินผลอย่างไม่เป็นลำดับขั้นหรือกำหนดไว้ว่าไม่นับหน่วยกิต

๓๙.๑.๒ กระประเมินผลการทำวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์หรือการค้นคว้าอิสระ/การศึกษาอิสระในแต่ละภาคการศึกษาโดยอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์หรือการค้นคว้าอิสระ/การศึกษาอิสระหลัก

๓๙.๑.๓ การประเมินผลการสอบประมวลความรู้ โดยคณะกรรมการสอบประมวลความรู้

๓๙.๑.๔ การประเมินผลการสอบวัดคุณสมบัติ โดยคณะกรรมการสอบคุณสมบัติ

๓๙.๑ การให้สัญลักษณ์ U จะกระทำได้ ก็ต่อเมื่อผลการประเมินรายวิชาหรือทำวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์หรือการค้นคว้าอิสระ/การศึกษาอิสระ หรือผลการสอบประมวลความรู้หรือการสอบวัดคุณสมบัติไม่เป็นที่พอใจ

ข้อ ๔๐ การให้ I กระทำได้ในกรณี ดังต่อไปนี้

๔๐.๑ นักศึกษาไม่ได้สอบและ/หรือไม่ส่งผลงาน เพราะป่วยโดยมีใบรับรองแพทย์รับรองแต่นักศึกษา ต้องมีเวลาเรียนอย่างน้อยร้อยละ ๘๐

๔๐.๒ นักศึกษาไม่ได้สอบและ/หรือไม่ได้ส่งผลงานด้วยเหตุสุดวิสัยให้อยู่ในดุลพินิจของอาจารย์ผู้สอนและประธานคณะกรรมการบริหารหลักสูตร

๔๐.๓ อาจารย์ผู้สอนและประธานคณะกรรมการบริหารหลักสูตรเห็นสมควรให้รอการประเมิน

ข้อ ๔๑ อาจารย์ผู้รับผิดชอบวิชาต้องระบุสาเหตุของการให้ I ดังนี้

๔๑.๑ เมื่อมีการกำหนดให้สอบใหม่หรือส่งผลงานเพิ่มเติมภายใน ๑ เดือน นับจากวันที่อาจารย์ผู้รับผิดชอบวิชาแจ้งผลการสอบ

๔๑.๒ เมื่อมีการกำหนดให้ปฏิบัติงานเพิ่มเติมในภาคการศึกษาถัดไป

๔๑.๓ เมื่อมีการกำหนดให้เรียนซ้ำวิชาเดิมในโอกาสแรกที่วิชานั้นเปิดสอน

ข้อ ๔๒ การเปลี่ยนสัญลักษณ์ I นักศึกษาจะต้องดำเนินการตามกรณีที่ได้รับสัญลักษณ์ I ดังนี้

๔๒.๑ สอบใหม่หรือส่งผลงานเพิ่มเติมภายใน ๑ เดือนนับจากวันที่อาจารย์ผู้สอนแจ้งผลการสอบ

๔๒.๒ ปฏิบัติงานเพิ่มเติมและได้รับการประเมินผลใหม่ภายในภาคการศึกษาถัดไป

๔๒.๓ ให้เรียนซ้ำอีก ๑ ครั้ง ในโอกาสแรกที่วิชานั้นเปิดสอน

ข้อ ๔๓ การให้ P กระทำได้เฉพาะรายวิชาที่มีการสอบหรือปฏิบัติงานต่อเนื่องกันมากกว่า ๑ ภาคการศึกษา และ/หรือการศึกษาในรายวิชานั้นยังไม่สิ้นสุด

ข้อ ๔๔ การให้ W กระทำได้ในกรณีดังต่อไปนี้

๔๔.๑ ในรายวิชาที่นักศึกษาได้รับอนุญาตให้ถอนการศึกษาจะกระทำเมื่อพ้นสัปดาห์ที่ ๒ นับจากวันเปิดภาคการศึกษาของโปรแกรมวิชาในแต่ละภาคการศึกษาปกติ หรือเมื่อพ้นสัปดาห์แรกของ การเปิดภาคการศึกษาฤดูร้อนจนถึง ๑ สัปดาห์ก่อนการสอบครั้งสุดท้ายของรายวิชานั้น และจะบันทึกรายวิชาที่ขอถอนลงในใบแสดงผลการเรียนด้วย

๔๔.๒ นักศึกษาได้รับอนุญาตให้ลาพักการศึกษา

๔๔.๓ นักศึกษาถูกสั่งพักการศึกษา

ข้อ ๔๕ การให้ Au กระทำได้เฉพาะรายวิชาที่นักศึกษาขอเข้าร่วมศึกษาโดยไม่นับหน่วยกิต และต้องมีเวลาเรียนหรือปฏิบัติการไม่น้อยกว่าร้อยละ ๘๐ แต่หากนักศึกษามีเวลาเรียนหรือปฏิบัติการน้อยกว่าร้อยละ ๘๐ จะต้องประเมินผลด้วยสัญลักษณ์ U

ข้อ ๔๖ การให้ X กระทำได้เฉพาะรายวิชาที่ยังไม่ได้รับรายงานผลการประเมินการศึกษาของรายวิชานั้น ๆ ตามกำหนด

ข้อ ๔๗ สัญลักษณ์แสดงการประเมินผลความก้าวหน้าในการทำวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์หรือการค้นคว้าอิสระ/การศึกษาอิสระ

การประเมินผลความก้าวหน้าในการทำวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์หรือการศึกษาอิสระ/การค้นคว้าอิสระของนักศึกษาในแต่ละภาคการศึกษา ให้ประเมินด้วยสัญลักษณ์ "P" หรือ "S" หรือ "U" ซึ่งมีความหมายดังนี้

"P" (In Progress) หมายถึง ความก้าวหน้าของผลงานการศึกษาวิจัยยังอยู่ในขั้นกำลังดำเนินการ ยังไม่สามารถประเมินได้ว่าในขณะที่ทำการประเมินอยู่ในระดับเป็นที่น่าพอใจหรือไม่เป็นที่พอใจ

"S" (Satisfactory) หมายถึง ความก้าวหน้าของผลงานการศึกษาวิจัยเป็นที่พอใจ

"U" (Unsatisfactory) หมายถึง ความก้าวหน้าของผลงานการศึกษาวิจัยไม่เป็นที่พอใจ คือ อยู่ในกรณีใดกรณีหนึ่ง ดังต่อไปนี้

(๑) นักศึกษาลงทะเบียนทำวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์หรือการค้นคว้าอิสระ/การศึกษาอิสระแล้วในภาคการศึกษานั้น แต่ยังมิได้ดำเนินการจัดทำโครงร่างวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์หรือการค้นคว้าอิสระ/การศึกษาอิสระ

(๒) นักศึกษาไม่ปฏิบัติตามแผนงานวิจัยที่กำหนด

หากนักศึกษามีความประสงค์ขอสอบปากเปล่าในภาคเรียนสุดท้ายของการลงทะเบียนวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์หรือการค้นคว้าอิสระ/การศึกษาอิสระสามารถกระทำได้ โดยอาจารย์ที่ได้รับแต่งตั้งเป็นอาจารย์ผู้สอนวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์หรือการค้นคว้าอิสระ/การศึกษาอิสระในภาคเรียนนั้นจะต้องส่งการประเมินวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์หรือการค้นคว้าอิสระ/การศึกษาอิสระด้วยสัญลักษณ์ "P" ถึงบัณฑิตวิทยาลัยก่อน นักศึกษาจึงจะมีสิทธิ์สอบปากเปล่าได้ และเรียนรายวิชาต่าง ๆ ครบถ้วนตามโครงสร้างของหลักสูตร และได้รับสัญลักษณ์แสดงผลการศึกษาตามเกณฑ์ที่กำหนด โดยมีคะแนนเฉลี่ยสะสมไม่ต่ำกว่า ๓.๐๐ ทั้งนี้ วิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์หรือการค้นคว้าอิสระ/การศึกษาอิสระไม่นับเป็นรายวิชา

การส่งผลการประเมินด้วยสัญลักษณ์ "S" จะกระทำได้เมื่อนักศึกษาได้สอบปากเปล่าและดำเนินการแก้ไขตามคำแนะนำของคณะกรรมการและทำรูปเล่มฉบับสมบูรณ์ตามที่มหาวิทยาลัยกำหนด โดยอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์หลักหรืออาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ/การศึกษาอิสระหลักเป็นผู้ประเมิน โดยให้ส่งผลการประเมินพร้อมกับเล่มวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์หรือการค้นคว้าอิสระ/การศึกษาอิสระฉบับสมบูรณ์

ข้อ ๔๘ การตัดสินผลการสอบวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์หรือการค้นคว้าอิสระ/การศึกษาอิสระ ให้ใช้คำที่แสดงระดับคุณภาพโดยรวมที่เหมาะสมกับการแสดงออกของนักศึกษาในการสอบ โดยเลือกจากคำดังต่อไปนี้

๔๘.๑ ดีเยี่ยม (Excellent) ใช้กับกรณีที่คณะกรรมการสอบมีความเห็นเป็นเอกฉันท์ว่าความสามารถของนักศึกษาในการแสดงผลงานวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์หรือการค้นคว้าอิสระ/การศึกษาอิสระ พร้อมทั้งการตอบข้อซักถามอยู่ในระดับดีมาก โดยมีเนื้อหาสาระที่ถูกต้อง และครบถ้วนสมบูรณ์

๔๘.๒ ดี (Good) ใช้กับกรณีที่คณะกรรมการสอบมีความเห็นเป็นเอกฉันท์ว่าความสามารถของนักศึกษาในการแสดงผลงานวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์หรือการค้นคว้าอิสระ/การศึกษาอิสระ พร้อมทั้งการตอบข้อซักถามอยู่ในระดับพอใจยิ่ง โดยมีเนื้อหาสาระที่ถูกต้อง และครบถ้วนสมบูรณ์

๔๘.๓ ผ่าน (Pass) ใช้กับกรณีที่คณะกรรมการสอบมีความเห็นเป็นเอกฉันท์ว่าความสามารถของนักศึกษาในการแสดงผลงานวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์หรือการค้นคว้าอิสระ/การศึกษาอิสระ พร้อมทั้งตอบข้อซักถามได้เป็นที่น่าพอใจ โดยมีเนื้อหาสาระที่ต้องปรับปรุงเพียงเล็กน้อย

๔๘.๔ ผ่านอย่างมีเงื่อนไข (Pass with Conditions) ใช้กับกรณีที่คณะกรรมการสอบมีความเห็นเป็นเอกฉันท์ว่าความสามารถของนักศึกษาในการแสดงผลงานวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์หรือการค้นคว้า

อิสระ/การศึกษาอิสระ พร้อมทั้งตอบข้อซักถามอยู่ในระดับพอใจ แต่ยังเห็นสมควรให้มีการปรับปรุงแก้ไขหรือเพิ่มเติมสาระสำคัญ ให้ถูกต้องและครบถ้วนสมบูรณ์ และ/หรือปรับวิธีการเรียบเรียงใหม่ตามที่คณะกรรมการเสนอแนะไว้เป็นลายลักษณ์อักษรและส่งให้อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์ ภายใน ๙๐ วัน นับแต่วันที่ศึกษาสอบวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์ สำหรับการค้นคว้าอิสระ/การศึกษาอิสระ ภายใน ๖๐ วัน เมื่อคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์หรือการค้นคว้าอิสระ/การศึกษาอิสระให้ความเห็นชอบแก้ไขปรับปรุงนั้นแล้ว ให้ถือว่า "ผ่าน""

๔๘.๕ ไม่ผ่าน (Fail) ใช้กับกรณีที่คณะกรรมการสอบมีความเห็นเป็นเอกฉันท์ว่าความสามารถของนักศึกษาในการแสดงผลงานวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์หรือการค้นคว้าอิสระ/การศึกษาอิสระ และ/หรือการตอบข้อซักถามอยู่ในระดับไม่พอใจ และนักศึกษาไม่มีความเข้าใจอย่างแท้จริงเนื้อหาสาระ และ/หรือวิธีการที่นักศึกษาทำวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์หรือการค้นคว้าอิสระ/การศึกษาอิสระ

โดยให้มีการรายงานผลการสอบวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์หรือการค้นคว้าอิสระ/การศึกษาอิสระที่แสดงระดับคุณภาพเฉพาะข้อ ๔๘.๓ และ ๔๘.๔ ท้ายชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์หรือการค้นคว้าอิสระ/การศึกษาอิสระด้วย

ข้อ ๔๙ การลงโทษนักศึกษาที่ทุจริต

๔๙.๑ การลงโทษนักศึกษาที่ทุจริตในการสอบ ให้อธิการบดีแต่งตั้งคณะกรรมการคณะหนึ่ง จำนวน ๕ คนประกอบด้วยคณบดีที่หลักสูตรสังกัดเป็นประธาน รองคณบดีรับผิดชอบงานวิชาการของคณะ/วิทยาลัย/สำนักวิชาที่หลักสูตรสังกัดเป็นกรรมการ ประธานคณะกรรมการบริหารหลักสูตรที่นักศึกษาสังกัดเป็นกรรมการ อาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตรและอาจารย์ประจำหลักสูตรจำนวน ๒ คน เป็นกรรมการ โดยให้กรรมการจากอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตรและอาจารย์ประจำหลักสูตรจำนวน ๑ คนทำหน้าที่เป็นเลขานุการ โดยให้คณะกรรมการมีหน้าที่ดังนี้

(๑) รวบรวมและแสวงหาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

(๒) ประชุมเพื่อตรวจสอบและกลั่นกรองข้อมูล

(๓) สรุปและนำเสนอแนวทางในการดำเนินการต่ออธิการบดีพิจารณาและวินิจฉัย สั่งการ

ทั้งนี้ กรณีคณะกรรมการพบพฤติกรรมทุจริต อาจเสนอแนวทางการลงโทษพร้อมข้อมูลประกอบเสนอต่ออธิการบดี ดังนี้

(๑) ให้ได้สัญลักษณ์ F ในรายวิชาที่ทุจริต และ/หรือ

(๒) ให้ได้สัญลักษณ์ F ทุกรายวิชาที่ลงทะเบียนเรียนในภาคการศึกษานั้น และ/หรือ

(๓) ให้ได้สัญลักษณ์ F ทุกรายวิชาที่ลงทะเบียนเรียนในภาคการศึกษานั้น และให้พักการศึกษาในภาคการศึกษาถัดไปไม่น้อยกว่า ๑ ภาคการศึกษา และ/หรือ

(๔) พ้นสภาพการเป็นนักศึกษา นักศึกษาที่ถูกสั่งให้พ้นสภาพการเป็นนักศึกษาหมดสิทธิ์ที่จะเข้าศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษาของมหาวิทยาลัยตลอดไป

๔๙.๒ การลงโทษนักศึกษาที่ทุจริตในการทำวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์หรือการศึกษาอิสระ/การค้นคว้าอิสระ

เมื่อเกิดกรณีกล่าวหาว่ามีการทุจริตในการทำวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์หรือการค้นคว้าอิสระ/การศึกษาอิสระ ให้อธิการบดีแต่งตั้งคณะกรรมการขึ้นเพื่อพิจารณาสอบสวน อำนาจหน้าที่และการสอบสวนให้ทำเป็น ประกาศมหาวิทยาลัย การลงโทษนักศึกษาที่ทุจริตในการทำวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์หรือการค้นคว้าอิสระ/การศึกษาอิสระให้พิจารณาตามสมควรแก่กรณี ดังต่อไปนี้

๔๙.๒.๑ กรณีที่มิได้เป็นการจงใจหรือเป็นกรณีที่นักศึกษาละเลย การดำเนินการตามขั้นตอนการทำวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์หรือการค้นคว้าอิสระ/การศึกษาอิสระที่กำหนดไว้ และไม่ร้ายแรง อาจปรับให้การสอบวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์หรือการค้นคว้าอิสระ/การศึกษาอิสระ ปรากฏผลเป็น "ไม่สอบ" และให้นักศึกษาเริ่มขั้นตอนการทำวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์หรือการค้นคว้าอิสระ/การศึกษาอิสระใหม่

๔๙.๒.๒ ในกรณีที่เป็นการทุจริตอย่างร้ายแรง ให้อธิการบดีสั่งให้พ้นสภาพนักศึกษา และในกรณีที่สำเร็จการศึกษาแล้ว ให้เสนอสภามหาวิทยาลัยถอดถอนปริญญาต่อไป

ข้อ ๕๐ การนับจำนวนหน่วยกิต

๕๐.๑ การนับจำนวนหน่วยกิตสะสมของนักศึกษาเพื่อให้ครบตามที่หลักสูตรกำหนดให้นับเฉพาะจำนวนหน่วยกิตที่กำหนดในหลักสูตรของรายวิชาที่สอบได้เท่านั้น

ในกรณีที่นักศึกษาลงทะเบียนเรียนรายวิชาใดมากกว่าหนึ่งครั้งให้นับเฉพาะจำนวนหน่วยกิตครั้งสุดท้ายที่ประเมินผลว่าสอบได้ ไปคิดเป็นหน่วยกิตสะสมเพียงครั้งเดียว

๕๐.๒ การรวมจำนวนหน่วยกิตเพื่อใช้ในการคำนวณคะแนนเฉลี่ย ให้นับหน่วยกิตของทุกรายวิชาที่มีค่าระดับคะแนน ในกรณีที่นักศึกษาลงทะเบียนเรียนรายวิชาใดมากกว่าหนึ่งครั้งให้นับจำนวนหน่วยกิตครั้งสุดท้ายไปใช้ในการคำนวณคะแนนเฉลี่ย

ข้อ ๕๑ การคิดคะแนนเฉลี่ย

คะแนนเฉลี่ยมี ๒ ประเภท คือ คะแนนเฉลี่ยประจำภาค และคะแนนเฉลี่ยสะสม การคำนวณคะแนนเฉลี่ยให้ทำดังนี้

๕๑.๑ คะแนนเฉลี่ยประจำภาค ให้คำนวณจากผลการศึกษาของนักศึกษาในภาคการศึกษานั้น โดยเอาผลรวมของผลคูณของหน่วยกิตกับค่าระดับคะแนนของผลการศึกษาแต่ละรายวิชาเป็นตัวตั้งหารด้วยจำนวนหน่วยกิตรวมของรายวิชาที่ผลการศึกษามีค่าระดับคะแนนในภาคการศึกษานั้น ๆ ให้มีทศนิยมสองตำแหน่งโดยปัดเศษจากตำแหน่งที่สาม

๕๑.๒ คะแนนเฉลี่ยสะสม ให้คำนวณจากผลการศึกษาของนักศึกษาตั้งแต่เริ่มเข้าศึกษาในหลักสูตรนั้นจนถึงการประเมินผลครั้งสุดท้าย โดยเอาผลรวมของผลคูณของหน่วยกิตกับคะแนนประจำของผลการศึกษาแต่ละรายวิชาเป็นตัวตั้ง หารด้วยจำนวนหน่วยกิตรวมของรายวิชาทั้งหมดที่ศึกษาและผลการศึกษาที่มีค่าระดับคะแนน ในกรณีที่นักศึกษาลงทะเบียนเรียนรายวิชาใดมากกว่าหนึ่งครั้งให้นับจำนวนหน่วยกิตครั้งสุดท้ายไปใช้ในการคำนวณคะแนนเฉลี่ย ให้มีทศนิยม ๒ ตำแหน่ง โดยปัดเศษจากตำแหน่งที่สาม

ในกรณีที่นักศึกษาลงทะเบียนเรียนซ้ำให้นำค่าระดับคะแนนของสัญลักษณ์ที่ได้รับจากการประเมินครั้งสุดท้ายมาคำนวณคะแนนเฉลี่ย

ข้อ ๕๒ นักศึกษาต้องเป็นฝ่ายรับผิดชอบค่าลงทะเบียนตามอัตราที่มหาวิทยาลัยกำหนด

ข้อ ๕๓ หลักสูตรใดมีมาตรฐานคุณวุฒิระดับบัณฑิตศึกษาเฉพาะสาขา ให้ปฏิบัติตามเกณฑ์มาตรฐานคุณวุฒิระดับบัณฑิตศึกษาเฉพาะสาขานั้น ๆ ด้วย

ข้อ ๕๔ คณะกรรมการอนุมัติผลการเรียน ได้รับการแต่งตั้งจากสภามหาวิทยาลัยเป็นผู้อนุมัติผลการเรียนระดับบัณฑิตศึกษา ประกอบด้วย

๕๔.๑ อธิการบดี เป็นประธานกรรมการ

๕๔.๒ รองอธิการบดีจำนวนหนึ่งคนเป็นรองประธานกรรมการ และอีกหนึ่งคนเป็นกรรมการ

๕๔.๓ คณบดีในหน่วยงานที่จัดการศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษา เป็นกรรมการ

๕๔.๔ กรรมการสภามหาวิทยาลัยจากคณาจารย์ประจำ จำนวนสองคนเป็นกรรมการ

๕๔.๕ ผู้อำนวยการบัณฑิตวิทยาลัย เป็นกรรมการและเลขานุการ

๕๔.๖ นายทะเบียนมหาวิทยาลัย รองผู้อำนวยการบัณฑิตวิทยาลัย และหัวหน้าสำนักงานบัณฑิตวิทยาลัย เป็นผู้ช่วยเลขานุการการ กรรมการตามข้อ ๕๔.๒ และ ๕๔.๔ ให้แต่ละกลุ่มเลือกกันเอง

ในกรณีที่ผู้ดำรงตำแหน่งตาม ๕๔.๑ - ๕๔.๓ ๕๔.๕ หรือ ๕๔.๖ ไม่อยู่ หรือไม่อาจปฏิบัติหน้าที่ได้ให้ผู้รักษาราชการแทนในตำแหน่งดังกล่าวเป็นผู้ทำหน้าที่แทนให้ถือว่าวันที่คณะกรรมการดังกล่าวอนุมัติผลการเรียน เป็นวันสำเร็จการศึกษา ทั้งนี้ ให้มหาวิทยาลัยออกใบรับรองการศึกษาและระเบียนแสดงผลการเรียนให้แก่นักศึกษา

หมวด ๑๐
ปริญญาบัตรและใบแสดงผลการศึกษา

ข้อ ๕๕ การออกหลักฐานการศึกษา เมื่อนักศึกษาสำเร็จการศึกษาแล้ว มหาวิทยาลัยจะออกหลักฐานการศึกษา ดังนี้

๕๕.๑ ใบรายงานผลการศึกษา (Transcript)

๕๕.๒ ใบรับรองสำเร็จการศึกษา

หลักฐานการศึกษาตามข้อ ๕๕.๑ และ ๕๕.๒ จะออกให้เมื่อคณะกรรมการอนุมัติผลการเรียนได้ประชุมอนุมัติผลการเรียนแล้ว

๕๕.๓ ใบรับรองคุณวุฒิ จะออกให้เมื่อสภามหาวิทยาลัยอนุมัติให้ปริญญาแล้ว

๕๕.๔ ปริญญาบัตร นักศึกษาจะได้รับในพิธีพระราชทานปริญญาบัตรหรือนักศึกษาได้รับด้วยเหตุจำเป็นอย่างยิ่งโดยอธิการบดี

ประกาศ ณ วันที่ ๒๓ ธันวาคม พ.ศ. ๒๕๖๕

(ศาสตราจารย์เกียรติคุณสมพงศ์ รัตยศักดิ์พันธุ์)
นายกสภามหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

ภาคผนวก จ ข้อบังคับมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายว่าด้วยการดำเนินงานระบบคลังหน่วยกิต ระดับอุดมศึกษา พ.ศ. 2566

ข้อบังคับมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
ว่าด้วยการดำเนินงานคลังหน่วยกิตในระดับอุดมศึกษา
พ.ศ. ๒๕๖๖

โดยที่เป็นการสมควรให้มีข้อบังคับ ว่าด้วยการดำเนินงานคลังหน่วยกิตในระดับอุดมศึกษา ของมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๓๘ (๒) แห่งพระราชบัญญัติมหาวิทยาลัยราชภัฏ พ.ศ. ๒๕๔๗ และประกาศคณะกรรมการมาตรฐานการอุดมศึกษา เรื่อง แนวทางการดำเนินงานคลังหน่วยกิตในระดับอุดมศึกษา พ.ศ. ๒๕๖๕ และตามมติสภามหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ในคราวประชุมครั้งที่ ๙/๒๕๖๖ เมื่อวันที่ ๒๖ พฤษภาคม ๒๕๖๖ จึงออกข้อบังคับไว้ดังต่อไปนี้

ข้อ ๑ ข้อบังคับนี้เรียกว่า "ข้อบังคับมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ว่าด้วยการดำเนินงานคลังหน่วยกิตในระดับอุดมศึกษา พ.ศ. ๒๕๖๖"

ข้อ ๒ ให้ใช้ข้อบังคับนี้ตั้งแต่วันถัดจากวันประกาศเป็นต้นไป

ข้อ ๓ ให้ยกเลิก

"ข้อบังคับมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ว่าด้วยการจัดการศึกษาต่อเนื่อง พ.ศ. ๒๕๕๘"

"ข้อบังคับมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ว่าด้วยการจัดการศึกษาต่อเนื่อง (ฉบับที่ ๒) พ.ศ. ๒๕๕๘"

"ข้อบังคับมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ว่าด้วยการจัดการศึกษาต่อเนื่อง (ฉบับที่ ๓) พ.ศ. ๒๕๖๐"

"ข้อบังคับมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ว่าด้วยการดำเนินงานคลังหน่วยกิต ระดับอุดมศึกษา พ.ศ. ๒๕๖๓"

บรรดากฎ ระเบียบ ข้อบังคับ ประกาศ หรือคำสั่งใดของมหาวิทยาลัยในส่วนที่กำหนดไว้แล้วในข้อบังคับนี้ หรือซึ่งขัดหรือแย้งกับข้อบังคับนี้ ให้ใช้ข้อบังคับนี้แทน

ข้อ ๔ ในข้อบังคับนี้

"มหาวิทยาลัย" หมายความว่า มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

"สภามหาวิทยาลัย" หมายความว่า สภามหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

"สภาวิชาการ" หมายความว่า สภาวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

"หน่วยงานรับผิดชอบการจัดการศึกษาในคลังหน่วยกิต" หมายความว่า หน่วยงานที่มหาวิทยาลัยมอบหมายให้รับผิดชอบการดำเนินการจัดการศึกษาในคลังหน่วยกิต ตามข้อบังคับนี้

"นักศึกษา" หมายความว่า ผู้ที่มหาวิทยาลัยรับเข้าศึกษาในหลักสูตรระดับอนุปริญญา ระดับปริญญาตรี และระดับบัณฑิตศึกษาของมหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ฉ ประกาศคณะกรรมการมาตรฐานการอุดมศึกษา
เรื่องเกณฑ์มาตรฐานหลักสูตรระดับ บัณฑิตศึกษา พ.ศ. 2565

หน้า ๒๑
เล่ม ๑๓๙ ตอนพิเศษ ๒๓๒ ง ราชกิจจานุเบกษา ๙ กันยายน ๒๕๖๕

ประกาศคณะกรรมการมาตรฐานการอุดมศึกษา

เรื่อง เกณฑ์มาตรฐานหลักสูตรระดับบัณฑิตศึกษา พ.ศ. ๒๕๖๕

อาศัยอำนาจตามความในข้อ ๒๑ แห่งกฎกระทรวงมาตรฐานหลักสูตรการศึกษาระดับอุดมศึกษา พ.ศ. ๒๕๖๕ ประกอบกับมติคณะกรรมการมาตรฐานการอุดมศึกษา ในคราวประชุมครั้งที่ ๖/๒๕๖๕ (นัดพิเศษ) เมื่อวันที่ ๓๐ มิถุนายน พ.ศ. ๒๕๖๕ จึงออกประกาศไว้ ดังต่อไปนี้

๑. ประกาศนี้เรียกว่า "ประกาศคณะกรรมการมาตรฐานการอุดมศึกษา เรื่อง เกณฑ์มาตรฐานหลักสูตรระดับบัณฑิตศึกษา พ.ศ. ๒๕๖๕"

๒. ประกาศนี้ให้ใช้บังคับตั้งแต่วันที่ ๒๗ กันยายน พ.ศ. ๒๕๖๕ เป็นต้นไป

ให้ใช้ประกาศนี้สำหรับหลักสูตรระดับประกาศนียบัตรบัณฑิต (การศึกษาหลังปริญญาตรี) ระดับประกาศนียบัตรบัณฑิตชั้นสูง (การศึกษาหลังประกาศนียบัตรบัณฑิต หรือปริญญาโท) ระดับปริญญาโท และระดับปริญญาเอกทุกสาขาวิชา โดยใช้สำหรับหลักสูตรที่จะเปิดใหม่และหลักสูตรปรับปรุงของสถาบันอุดมศึกษาของรัฐและเอกชน

๓. ในประกาศนี้

"คณะกรรมการ" หมายถึง คณะกรรมการมาตรฐานการอุดมศึกษา

"อาจารย์ประจำ" หมายถึง บุคคลที่ดำรงตำแหน่งอาจารย์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ รองศาสตราจารย์ ศาสตราจารย์ และตำแหน่งอื่นที่เทียบเท่าในสถาบันอุดมศึกษาแห่งนั้นตามที่สภาสถาบันอุดมศึกษากำหนด หรือบุคคลในองค์กรภายนอกที่มีการตกลงร่วมผลิต ซึ่งมีหน้าที่รับผิดชอบตามพันธกิจของการอุดมศึกษา และมีความเข้าใจเกี่ยวกับมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษา

สำหรับอาจารย์ประจำที่สถาบันอุดมศึกษารับเข้าใหม่ตั้งแต่เกณฑ์มาตรฐานนี้เริ่มใช้บังคับ ต้องมีคะแนนทดสอบความสามารถภาษาอังกฤษได้ตามเกณฑ์ที่สภาสถาบันอุดมศึกษากำหนด

"อาจารย์ประจำหลักสูตร" หมายถึง อาจารย์ประจำที่มีคุณวุฒิตรงหรือสัมพันธ์กับสาขาวิชาของหลักสูตรที่สภาสถาบันอุดมศึกษาเห็นชอบหรืออนุมัติ มีหน้าที่สอนและค้นคว้าวิจัยในสาขาวิชาดังกล่าว ทั้งนี้ สามารถเป็นอาจารย์ประจำหลักสูตรหลายหลักสูตรได้ในเวลาเดียวกัน

"คุณวุฒิที่สัมพันธ์กับสาขาวิชาของหลักสูตร" หมายถึง คุณวุฒิที่กำหนดไว้ในมาตรฐานสาขาวิชา หากสาขาวิชาใดยังไม่มีประกาศมาตรฐานสาขาวิชา หรือประกาศมาตรฐานสาขาวิชาไม่ได้กำหนดเรื่องนี้ไว้ ให้หมายถึงคุณวุฒิที่เกี่ยวข้องกับวิชาการหรือวิชาชีพของหลักสูตร หรือคุณวุฒิอื่นแต่มีประสบการณ์ตรงที่เกี่ยวข้องกับหลักสูตรเป็นที่ประจักษ์ที่จะส่งเสริมให้การเรียนการสอนในหลักสูตรสาขาวิชานั้นบรรลุผลลัพธ์การเรียนรู้ของนักศึกษาได้ตามที่กำหนดไว้ในหลักสูตร โดยการพิจารณาคุณวุฒิที่สัมพันธ์กันให้อยู่ในดุลยพินิจของสภาสถาบันอุดมศึกษา

"อาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร" หมายถึง อาจารย์ประจำหลักสูตรที่มีภาระหน้าที่ในการบริหารและพัฒนาหลักสูตรและการเรียนการสอน ตั้งแต่การวางแผน การควบคุมคุณภาพ การติดตามประเมินผล และการพัฒนาหลักสูตร อาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตรต้องอยู่ประจำหลักสูตรนั้นตลอดระยะเวลาที่จัดการศึกษา โดยจะเป็นอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตรเกินกว่า ๑ หลักสูตรในเวลาเดียวกันไม่ได้ ยกเว้นหลักสูตรพหุวิทยาการหรือสหวิทยาการ ให้เป็นอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตรได้อีกหนึ่งหลักสูตร ในกรณีนี้ อาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตรสามารถซ้ำได้ไม่เกิน ๒ คน

สำหรับหลักสูตรระดับปริญญาโทและปริญญาเอกในสาขาวิชาเดียวกัน สามารถใช้อาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตรชุดเดียวกันได้

"อาจารย์พิเศษ" หมายถึง ผู้สอนที่ไม่ใช่อาจารย์ประจำ

"นักวิจัยประจำ" หมายถึง บุคคลที่ดำรงตำแหน่งนักวิจัยในสถาบันอุดมศึกษาที่เปิดสอนหลักสูตรนั้น ที่มีหน้าที่ค้นคว้าวิจัยทางวิชาการ และปฏิบัติหน้าที่เต็มเวลา

"การตกลงร่วมผลิต" หมายถึง การทำข้อตกลงร่วมมือกันอย่างเป็นทางการระหว่างสถาบันอุดมศึกษากับองค์กรภายนอกในการพัฒนาและบริหารหลักสูตร โดยผ่านความเห็นชอบของสภาสถาบันอุดมศึกษาและองค์กรภายนอกนั้น ๆ

"องค์กรภายนอก" หมายถึง สถาบันอุดมศึกษาในหรือต่างประเทศที่ได้รับการรับรองจากหน่วยงานที่รับผิดชอบการศึกษาของประเทศนั้น หรือเป็นหน่วยราชการระดับกรมหรือเทียบเท่าหรือหน่วยงานรัฐวิสาหกิจ หรือองค์การมหาชน หรือบริษัทเอกชนที่จดทะเบียนในตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทยเท่านั้น

หากเป็นบริษัทเอกชนที่ไม่ได้จดทะเบียนในตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทย ให้อยู่ในดุลยพินิจของสภาสถาบันอุดมศึกษา โดยต้องแสดงศักยภาพและความพร้อมในการร่วมผลิตบัณฑิตของบริษัทดังกล่าว และต้องให้ได้คุณภาพตามมาตรฐานการอุดมศึกษา

๔. ชื่อประกาศนียบัตรและชื่อปริญญา

๔.๑ ประกาศนียบัตรบัณฑิต ให้ใช้ชื่อว่า "ประกาศนียบัตรบัณฑิต (Graduate Diploma)" อักษรย่อ "ป.บัณฑิต (Grad. Dip.)" แล้วตามด้วยชื่อสาขาวิชาต่อท้าย

๔.๒ ประกาศนียบัตรบัณฑิตชั้นสูง ให้ใช้ชื่อว่า "ประกาศนียบัตรบัณฑิตชั้นสูง (Higher Graduate Diploma)" อักษรย่อ "ป.บัณฑิตชั้นสูง (Higher Grad. Dip.)" แล้วตามด้วยชื่อสาขาวิชาต่อท้าย

๔.๓ ปริญญาโทและปริญญาเอก สถาบันอุดมศึกษาที่มีการตราพระราชกฤษฎีกาว่าด้วยปริญญาในสาขาวิชา และอักษรย่อสำหรับสาขาวิชาไว้แล้ว ให้ใช้ชื่อปริญญาตามที่กำหนดในพระราชกฤษฎีกานั้น ในกรณีที่ปริญญาใดยังมิได้กำหนดชื่อไว้ในพระราชกฤษฎีกา หรือกรณีที่

สถาบันอุดมศึกษาใดไม่มีการตราพระราชกฤษฎีกาว่าด้วยปริญญาในสาขาวิชาและอักษรย่อสำหรับสาขาวิชา ให้ใช้ชื่อปริญญาตามหลักเกณฑ์การกำหนดชื่อปริญญาที่คณะกรรมการกำหนด

๕. ปรัชญา และวัตถุประสงค์

๕.๑ หลักสูตรประกาศนียบัตรบัณฑิตและประกาศนียบัตรบัณฑิตชั้นสูง มุ่งเน้นการพัฒนานักวิชาการและนักวิชาชีพให้มีความชำนาญในสาขาวิชาเฉพาะ เพื่อให้มีความรู้ความเชี่ยวชาญสามารถปฏิบัติงานได้ดียิ่งขึ้น โดยมีความสัมพันธ์สอดคล้องกับแผนพัฒนาการศึกษาระดับอุดมศึกษาของชาติ ปรัชญาอุดมศึกษา ปรัชญาของสถาบันอุดมศึกษา และมาตรฐานวิชาการและวิชาชีพ

๕.๒ หลักสูตรปริญญาโทและปริญญาเอก มุ่งเน้นการพัฒนานักวิชาการและนักวิชาชีพที่มีความรู้ความสามารถระดับสูงในสาขาวิชาต่าง ๆ โดยกระบวนการวิจัยเพื่อให้สามารถบุกเบิกแสวงหาความรู้ใหม่ได้อย่างมีอิสระ รวมทั้งมีความสามารถในการสร้างสรรค์จรรโลงความก้าวหน้าทางวิชาการเชื่อมโยงและบูรณาการศาสตร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องได้อย่างต่อเนื่อง โดยมีความสัมพันธ์สอดคล้องกับแผนพัฒนาการศึกษาระดับอุดมศึกษาของชาติ ปรัชญาอุดมศึกษา ปรัชญาของสถาบันอุดมศึกษา และมาตรฐานวิชาการและวิชาชีพที่เป็นสากล มีคุณธรรมและจรรยาบรรณทางวิชาการและวิชาชีพ

ทั้งนี้ ในระดับปริญญาโท มุ่งให้มีความรู้ความเข้าใจในกระบวนการสร้างและประยุกต์ใช้ความรู้ใหม่เพื่อการพัฒนางานและสังคม ในขณะที่ระดับปริญญาเอก มุ่งให้มีความสามารถในการค้นคว้าวิจัยเพื่อสรรค์สร้างองค์ความรู้ใหม่หรือนวัตกรรม ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนางาน สังคม ประเทศ และประชาคมโลก

๖. ระบบการจัดการศึกษา ใช้ระบบทวิภาค โดย ๑ ปีการศึกษาแบ่งออกเป็น ๒ ภาคการศึกษาปกติ ๑ ภาคการศึกษาปกติมีระยะเวลาศึกษาไม่น้อยกว่า ๑๕ สัปดาห์ หรือเทียบเคียงได้ไม่น้อยกว่า ๑๕ สัปดาห์ สถาบันอุดมศึกษาที่เปิดการศึกษาภาคฤดูร้อน ให้กำหนดระยะเวลาและจำนวนหน่วยกิต โดยมีสัดส่วนเทียบเคียงกันได้กับการศึกษาภาคปกติ

สถาบันอุดมศึกษาที่จัดการศึกษาในระบบอื่น ให้มีการนับระยะเวลาในการศึกษาเทียบเคียงได้กับระบบทวิภาค โดยให้สภาสถาบันอุดมศึกษาเป็นผู้กำหนด ซึ่งจะต้องแสดงรายละเอียดเกี่ยวกับระบบการศึกษานั้นไว้ในหลักสูตรให้ชัดเจน ประกอบด้วยรายละเอียดเกี่ยวกับระยะเวลาของหน่วยการเรียนรู้เทียบเคียงกับหน่วยกิตในระบบทวิภาค รายวิชาภาคทฤษฎีและรายวิชาภาคปฏิบัติ การฝึกงานหรือการฝึกภาคสนาม การทำโครงงานหรือกิจกรรมอื่นใดที่เสริมสร้างการเรียนรู้ที่ได้รับมอบหมาย วิทยานิพนธ์ การค้นคว้าอิสระ ให้มีความสอดคล้องและเหมาะสมกับระบบการจัดการศึกษาที่สภาสถาบันอุดมศึกษากำหนด

๗. การคิดหน่วยกิตตามระบบทวิภาค

๗.๑ รายวิชาภาคทฤษฎีที่ใช้เวลาบรรยายหรืออภิปรายปัญหาไม่น้อยกว่า ๑๕ ชั่วโมงต่อภาคการศึกษาปกติ ให้มีค่าเท่ากับ ๑ หน่วยกิต

๗.๒ รายวิชาภาคปฏิบัติที่ใช้เวลาฝึกหรือทดลองไม่น้อยกว่า ๓๐ ชั่วโมงต่อภาคการศึกษาปกติ ให้มีค่าเท่ากับ ๑ หน่วยกิต

๗.๓ การฝึกงานหรือการฝึกภาคสนามที่ใช้เวลาฝึกไม่น้อยกว่า ๔๕ ชั่วโมงต่อภาคการศึกษาปกติ ให้มีค่าเท่ากับ ๑ หน่วยกิต

๗.๔ การทำโครงงานหรือกิจกรรมการเรียนอื่นใดตามที่ได้รับมอบหมายที่ใช้เวลาทำโครงงานหรือกิจกรรมนั้น ๆ ไม่น้อยกว่า ๔๕ ชั่วโมงต่อภาคการศึกษาปกติ ให้มีค่าเท่ากับ ๑ หน่วยกิต

๗.๕ การค้นคว้าอิสระที่ใช้เวลาศึกษาค้นคว้าไม่น้อยกว่า ๔๕ ชั่วโมงต่อภาคการศึกษาปกติ ให้มีค่าเท่ากับ ๑ หน่วยกิต

๗.๖ วิทยานิพนธ์ที่ใช้เวลาศึกษาค้นคว้าไม่น้อยกว่า ๔๕ ชั่วโมงต่อภาคการศึกษาปกติ ให้มีค่าเท่ากับ ๑ หน่วยกิต

๗.๗ กิจกรรมการเรียนอื่นใดที่สร้างการเรียนรู้นอกเหนือจากรูปแบบที่กำหนดข้างต้น การนับระยะเวลาในการทำกิจกรรมนั้นต่อภาคการศึกษาปกติ ให้มีค่าเท่ากับ ๑ หน่วยกิต ให้เป็นไปตามที่สภาสถาบันอุดมศึกษากำหนด

สถาบันอุดมศึกษาที่จัดการศึกษาในระบบอื่นที่ไม่ใช่ระบบทวิภาค ให้นับระยะเวลาการศึกษาและการคิดหน่วยกิตเทียบเคียงได้กับระบบทวิภาค โดยให้สภาสถาบันอุดมศึกษาดังกล่าวเป็นผู้กำหนด

๘. โครงสร้างหลักสูตร

๘.๑ ประกาศนียบัตรบัณฑิตและประกาศนียบัตรบัณฑิตชั้นสูง ให้มีจำนวนหน่วยกิตรวมไม่น้อยกว่า ๒๔ หน่วยกิต

๘.๒ ปริญญาโท ให้มีจำนวนหน่วยกิตรวมไม่น้อยกว่า ๓๖ หน่วยกิต โดยแบ่งการศึกษาเป็น ๒ แผน คือ

แผน ๑ แบบวิชาการ เน้นการเรียนรู้การทำวิจัย โดยการทำวิทยานิพนธ์สร้างองค์ความรู้ในศาสตร์สาขาวิชานั้น ทั้งนี้ สัดส่วนหน่วยกิตของวิทยานิพนธ์และหน่วยกิตของการศึกษารายวิชา ให้เป็นไปตามที่สภาสถาบันอุดมศึกษากำหนด โดยอาจเป็นวิทยานิพนธ์อย่างเดียว หรือมีทั้งการศึกษารายวิชาและทำวิทยานิพนธ์ ซึ่งต้องทำวิทยานิพนธ์อย่างน้อย ๑๒ หน่วยกิต โดยไม่อาจศึกษารายวิชาอย่างเดียวได้

แผน ๒ แบบวิชาชีพ เน้นการศึกษารายวิชาและการค้นคว้าอิสระเชิงการประยุกต์ใช้ความรู้ในวิชาชีพโดยไม่ต้องทำวิทยานิพนธ์ ทั้งนี้ ให้มีการค้นคว้าอิสระไม่น้อยกว่า ๓ หน่วยกิต และไม่เกิน ๖ หน่วยกิต

๘.๓ ปริญญาเอก แบ่งการศึกษาเป็น ๒ แผน โดยเน้นการวิจัยเพื่อพัฒนานักวิชาการและนักวิชาชีพชั้นสูง คือ

แผน ๑ เป็นแผนการศึกษาที่เน้นการวิจัยโดยมีการทำวิทยานิพนธ์ที่ก่อให้เกิดความรู้ใหม่ สถาบันอุดมศึกษาอาจกำหนดให้เรียนรายวิชาเพิ่มเติมหรือทำกิจกรรมทางวิชาการอื่นเพิ่มขึ้นก็ได้ โดยไม่นับหน่วยกิต แต่จะต้องมีผลสัมฤทธิ์ตามที่สถาบันอุดมศึกษากำหนด ดังนี้

แผน ๑.๑ ผู้เข้าศึกษาที่สำเร็จปริญญาโท จะต้องทำวิทยานิพนธ์ ไม่น้อยกว่า ๔๘ หน่วยกิต

แผน ๑.๒ ผู้เข้าศึกษาที่สำเร็จปริญญาตรี จะต้องทำวิทยานิพนธ์ ไม่น้อยกว่า ๗๒ หน่วยกิต

แผน ๒ เป็นแผนการศึกษาที่เน้นการวิจัยโดยมีการทำวิทยานิพนธ์ที่มีคุณภาพสูง และก่อให้เกิดความก้าวหน้าทางวิชาการและวิชาชีพ และศึกษารายวิชาเพิ่มเติม ดังนี้

แผน ๒.๑ ผู้เข้าศึกษาที่สำเร็จปริญญาโท จะต้องทำวิทยานิพนธ์ ไม่น้อยกว่า ๓๖ หน่วยกิต และศึกษารายวิชาอีกไม่น้อยกว่า ๑๒ หน่วยกิต

แผน ๒.๒ ผู้เข้าศึกษาที่สำเร็จปริญญาตรี จะต้องทำวิทยานิพนธ์ ไม่น้อยกว่า ๔๘ หน่วยกิต และศึกษารายวิชาอีกไม่น้อยกว่า ๒๔ หน่วยกิต

๙. คุณวุฒิ คุณสมบัติ และจำนวนอาจารย์

๙.๑ ประกาศนียบัตรบัณฑิต

๙.๑.๑ อาจารย์ประจำหลักสูตร มีคุณวุฒิขั้นต่ำปริญญาโทหรือเทียบเท่าและมีผลงานทางวิชาการที่ไม่ใช่ส่วนหนึ่งของการศึกษาเพื่อรับปริญญาของตนเอง และเป็นผลงานทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่ตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดในการพิจารณาแต่งตั้งให้บุคคลดำรงตำแหน่งทางวิชาการอย่างน้อย ๓ เรื่อง ในรอบ ๕ ปีย้อนหลัง โดยอย่างน้อย ๑ เรื่อง ต้องเป็นผลงานวิจัย

๙.๑.๒ อาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร จำนวนอย่างน้อย ๓ คน มีคุณวุฒิปริญญาเอกหรือเทียบเท่า หรือขั้นต่ำปริญญาโทหรือเทียบเท่าที่มีตำแหน่งรองศาสตราจารย์หรือเทียบเท่า และมีผลงานทางวิชาการที่ไม่ใช่ส่วนหนึ่งของการศึกษาเพื่อรับปริญญาของตนเอง และเป็นผลงานทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่ตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดในการพิจารณาแต่งตั้งให้บุคคลดำรงตำแหน่งทางวิชาการอย่างน้อย ๓ เรื่องในรอบ ๕ ปีย้อนหลัง โดยอย่างน้อย ๑ เรื่อง ต้องเป็นผลงานวิจัย

กรณีมีการตกลงร่วมผลิตกับองค์กรภายนอก ต้องมีอาจารย์ประจำหลักสูตรจากสถาบันอุดมศึกษาเจ้าของหลักสูตรนั้นเป็นอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตรอย่างน้อย ๒ คน

กรณีที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับสาขาวิชาที่ไม่สามารถสรรหาอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตรครบตามจำนวน สถาบันอุดมศึกษาต้องเสนอจำนวนและคุณวุฒิของอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตรที่มีนั้นให้คณะกรรมการพิจารณาเป็นรายกรณี

๙.๑.๓ อาจารย์ผู้สอน อาจเป็นอาจารย์ประจำหรืออาจารย์พิเศษที่มีคุณวุฒิขั้นต่ำปริญญาโทหรือเทียบเท่า ในสาขาวิชานั้นหรือสาขาวิชาที่สัมพันธ์กัน หรือในสาขาวิชาของรายวิชาที่สอน และต้องมีประสบการณ์ด้านการสอนและมีผลงานทางวิชาการที่ไม่ใช่ส่วนหนึ่งของการศึกษาเพื่อรับปริญญาของตนเอง และเป็นผลงานทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่ตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดในการพิจารณาแต่งตั้งให้บุคคลดำรงตำแหน่งทางวิชาการอย่างน้อย ๑ เรื่อง ในรอบ ๕ ปีย้อนหลัง

กรณีอาจารย์พิเศษที่ไม่มีคุณวุฒิตามที่กำหนดข้างต้น ต้องเป็นผู้ทรงคุณวุฒิที่มีความรู้และประสบการณ์เป็นที่ยอมรับ ซึ่งตรงหรือสัมพันธ์กับรายวิชาที่สอน โดยผ่านความเห็นชอบจากสภาสถาบันอุดมศึกษาแห่งนั้น ทั้งนี้ หากรายวิชาใดมีความจำเป็นต้องใช้อาจารย์พิเศษ ต้องมีอาจารย์ประจำร่วมรับผิดชอบกระบวนการเรียนการสอนและพัฒนานักศึกษา ตลอดระยะเวลาของการจัดการเรียนการสอนรายวิชานั้น ๆ ด้วย

๙.๑.๔ อาจารย์ใหม่ที่มีคุณวุฒิระดับปริญญาเอก แม้ยังไม่มีผลงานทางวิชาการหลังสำเร็จการศึกษา อนุโลมให้เป็นอาจารย์ผู้สอนในระดับประกาศนียบัตรบัณฑิตได้ แต่ทั้งนี้หากจะทำหน้าที่เป็นอาจารย์ประจำหลักสูตร และอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร ต้องมีผลงานทางวิชาการภายหลังสำเร็จการศึกษาอย่างน้อย ๑ เรื่อง ภายใน ๒ ปี หรือ ๒ เรื่อง ภายใน ๔ ปี หรือ ๓ เรื่อง ภายใน ๕ ปี

๙.๒ ประกาศนียบัตรบัณฑิตชั้นสูง

๙.๒.๑ อาจารย์ประจำหลักสูตร มีคุณวุฒิปริญญาเอกหรือเทียบเท่า หรือขั้นต่ำปริญญาโทหรือเทียบเท่าที่มีตำแหน่งรองศาสตราจารย์หรือเทียบเท่า และมีผลงานทางวิชาการที่ไม่ใช่ส่วนหนึ่งของการศึกษาเพื่อรับปริญญาของตนเอง และเป็นผลงานทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่ตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดในการพิจารณาแต่งตั้งให้บุคคลดำรงตำแหน่งทางวิชาการอย่างน้อย ๓ เรื่อง ในรอบ ๕ ปีย้อนหลัง โดยอย่างน้อย ๑ เรื่อง ต้องเป็นผลงานวิจัย

๙.๒.๒ อาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร จำนวนอย่างน้อย ๓ คน มีคุณวุฒิปริญญาเอกหรือเทียบเท่า หรือขั้นต่ำปริญญาโทหรือเทียบเท่าที่มีตำแหน่งศาสตราจารย์หรือเทียบเท่า และมีผลงานทางวิชาการที่ไม่ใช่ส่วนหนึ่งของการศึกษาเพื่อรับปริญญาของตนเอง และเป็นผลงานทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่ตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดในการพิจารณาแต่งตั้งให้บุคคลดำรงตำแหน่งทางวิชาการอย่างน้อย ๓ เรื่อง ในรอบ ๕ ปีย้อนหลัง โดยอย่างน้อย ๑ เรื่อง ต้องเป็นผลงานวิจัย

กรณีมีการตกลงร่วมผลิตกับองค์กรภายนอก ต้องมีอาจารย์ประจำหลักสูตรจากสถาบันอุดมศึกษาเจ้าของหลักสูตรนั้นเป็นอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตรอย่างน้อย ๒ คน

กรณีที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับสาขาวิชาที่ไม่สามารถสรรหาอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตรครบตามจำนวน สถาบันอุดมศึกษาต้องเสนอจำนวนและคุณวุฒิของอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตรที่มีนั้นให้คณะกรรมการพิจารณาเป็นรายกรณี

๙.๒.๓ อาจารย์ผู้สอน อาจเป็นอาจารย์ประจำหรืออาจารย์พิเศษ ที่มีคุณวุฒิปริญญาเอกหรือเทียบเท่า หรือขั้นต่ำปริญญาโทหรือเทียบเท่าที่มีตำแหน่งรองศาสตราจารย์หรือเทียบเท่าในสาขาวิชานั้นหรือสาขาวิชาที่สัมพันธ์กัน หรือในสาขาวิชาของรายวิชาที่สอน และต้องมีประสบการณ์ด้านการสอนและมีผลงานทางวิชาการที่ไม่ใช่ส่วนหนึ่งของการศึกษาเพื่อรับปริญญาของตนเอง และเป็นผลงานทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่ตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดในการพิจารณาแต่งตั้งให้บุคคลดำรงตำแหน่งทางวิชาการอย่างน้อย ๑ เรื่อง ในรอบ ๕ ปีย้อนหลัง

กรณีอาจารย์พิเศษที่ไม่มีคุณวุฒิตามที่กำหนดข้างต้น ต้องเป็นผู้ทรงคุณวุฒิที่มีความรู้และประสบการณ์เป็นที่ยอมรับ ซึ่งตรงหรือสัมพันธ์กับรายวิชาที่สอน โดยผ่านความเห็นชอบจากสภาสถาบันอุดมศึกษาแห่งนั้น ทั้งนี้ หากรายวิชาใดมีความจำเป็นต้องใช้อาจารย์พิเศษ ต้องมีอาจารย์ประจำร่วมรับผิดชอบกระบวนการเรียนการสอนและพัฒนานักศึกษา ตลอดระยะเวลาของการจัดการเรียนการสอนรายวิชานั้น ๆ ด้วย

๙.๒.๔ อาจารย์ใหม่ที่มีคุณวุฒิระดับปริญญาเอก แม้ยังไม่มีผลงานทางวิชาการหลังสำเร็จการศึกษา อนุโลมให้เป็นอาจารย์ผู้สอนในระดับประกาศนียบัตรบัณฑิตชั้นสูงได้ แต่ทั้งนี้หากจะทำหน้าที่เป็นอาจารย์ประจำหลักสูตร และอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร ต้องมีผลงานทางวิชาการภายหลังสำเร็จการศึกษาอย่างน้อย ๑ เรื่อง ภายใน ๒ ปี หรือ ๒ เรื่อง ภายใน ๔ ปี หรือ ๓ เรื่อง ภายใน ๕ ปี

๙.๓ ปริญญาโท

๙.๓.๑ อาจารย์ประจำหลักสูตร มีคุณวุฒิขั้นต่ำปริญญาโทหรือเทียบเท่า และมีผลงานทางวิชาการที่ไม่ใช่ส่วนหนึ่งของการศึกษาเพื่อรับปริญญาของตนเอง โดยเป็นผลงานทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่ตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดในการพิจารณาแต่งตั้งให้บุคคลดำรงตำแหน่งทางวิชาการอย่างน้อย ๓ เรื่อง ในรอบ ๕ ปีย้อนหลัง และอย่างน้อย ๑ เรื่อง ต้องเป็นผลงานวิจัย

๙.๓.๒ อาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร จำนวนอย่างน้อย ๓ คน มีคุณวุฒิปริญญาเอกหรือเทียบเท่า หรือขั้นต่ำปริญญาโทหรือเทียบเท่าที่มีตำแหน่งรองศาสตราจารย์หรือเทียบเท่า และมีผลงานทางวิชาการที่ไม่ใช่ส่วนหนึ่งของการศึกษาเพื่อรับปริญญาของตนเอง โดยเป็นผลงานทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่ตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดในการพิจารณาแต่งตั้งให้บุคคลดำรงตำแหน่งทางวิชาการอย่างน้อย ๓ เรื่องในรอบ ๕ ปีย้อนหลัง และอย่างน้อย ๑ เรื่อง ต้องเป็นผลงานวิจัย

กรณีมีการตกลงร่วมผลิตกับองค์กรภายนอก ต้องมีอาจารย์ประจำหลักสูตรจากสถาบันอุดมศึกษาเจ้าของหลักสูตรนั้นเป็นอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตรอย่างน้อย ๒ คน

กรณีที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับสาขาวิชาที่ไม่สามารถสรรหาอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตรครบตามจำนวน สถาบันอุดมศึกษาต้องเสนอจำนวนและคุณวุฒิของอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตรที่มีนั้นให้คณะกรรมการพิจารณาเป็นรายกรณี

กรณีผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกที่ไม่มีคุณวุฒิและผลงานทางวิชาการตามที่กำหนดข้างต้น ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกจะต้องเป็นผู้มีความรู้ความเชี่ยวชาญและประสบการณ์สูงเป็นที่ยอมรับซึ่งตรงหรือสัมพันธ์กับหัวข้อวิทยานิพนธ์ โดยผ่านความเห็นชอบจากสภาสถาบันอุดมศึกษาแห่งนั้น

๙.๓.๕ อาจารย์ผู้สอน ต้องเป็นอาจารย์ประจำหรืออาจารย์พิเศษ ที่มีคุณวุฒิขั้นต่ำปริญญาโทหรือเทียบเท่า ในสาขาวิชานั้นหรือสาขาวิชาที่สัมพันธ์กัน หรือในสาขาวิชาของรายวิชาที่สอนและต้องมีประสบการณ์ด้านการสอนและมีผลงานทางวิชาการที่ไม่ใช่ส่วนหนึ่งของการศึกษาเพื่อรับปริญญาของตนเอง และเป็นผลงานทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่ตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดในการพิจารณาแต่งตั้งให้บุคคลดำรงตำแหน่งทางวิชาการ อย่างน้อย ๑ เรื่อง ในรอบ ๕ ปีย้อนหลัง

กรณีอาจารย์พิเศษที่ไม่มีคุณวุฒิตามที่กำหนดข้างต้น ต้องเป็นผู้ทรงคุณวุฒิที่มีความรู้และประสบการณ์เป็นที่ยอมรับ ซึ่งตรงหรือสัมพันธ์กับรายวิชาที่สอน โดยผ่านความเห็นชอบจากสภาสถาบันอุดมศึกษาแห่งนั้น ทั้งนี้ หากรายวิชาใดมีความจำเป็นต้องใช้อาจารย์พิเศษ ต้องมีอาจารย์ประจำร่วมรับผิดชอบกระบวนการเรียนการสอนและพัฒนานักศึกษา ตลอดระยะเวลาของการจัดการเรียนการสอนรายวิชานั้น ๆ ด้วย

๙.๓.๖ อาจารย์ใหม่ที่มีคุณวุฒิระดับปริญญาเอก แม้ยังไม่มีผลงานทางวิชาการหลังสำเร็จการศึกษา อนุโลมให้เป็นอาจารย์ผู้สอนในระดับปริญญาโทได้ แต่ทั้งนี้หากจะทำหน้าที่เป็นอาจารย์ประจำหลักสูตร อาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ผู้สอบวิทยานิพนธ์ในระดับปริญญาโท ต้องมีผลงานทางวิชาการภายหลังสำเร็จการศึกษาอย่างน้อย ๑ เรื่อง ภายใน ๒ ปี หรือ ๒ เรื่อง ภายใน ๔ ปี หรือ ๓ เรื่อง ภายใน ๕ ปี

๙.๔ ปริญญาเอก

๙.๔.๑ อาจารย์ประจำหลักสูตร มีคุณวุฒิปริญญาเอกหรือเทียบเท่า หรือขั้นต่ำปริญญาโทหรือเทียบเท่าที่มีตำแหน่งรองศาสตราจารย์หรือเทียบเท่า และมีผลงานทางวิชาการที่ไม่ใช่ส่วนหนึ่งของการศึกษาเพื่อรับปริญญาของตนเอง โดยเป็นผลงานทางวิชาการประเภทงานวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่ตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดในการพิจารณาแต่งตั้งให้บุคคลดำรงตำแหน่งทางวิชาการอย่างน้อย ๓ เรื่อง ในรอบ ๕ ปีย้อนหลัง

๙.๔.๒ อาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร จำนวนอย่างน้อย ๓ คน มีคุณวุฒิปริญญาเอกหรือเทียบเท่า หรือขั้นต่ำปริญญาโทหรือเทียบเท่าที่มีตำแหน่งศาสตราจารย์หรือเทียบเท่า และมีผลงานทางวิชาการที่ไม่ใช่ส่วนหนึ่งของการศึกษาเพื่อรับปริญญาของตนเอง โดยเป็นผลงานทางวิชาการประเภทงานวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่ตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดในการพิจารณาแต่งตั้งให้บุคคลดำรงตำแหน่งทางวิชาการอย่างน้อย ๓ เรื่อง ในรอบ ๕ ปีย้อนหลัง

กรณีมีการตกลงร่วมผลิตกับองค์กรภายนอก ต้องมีอาจารย์ประจำหลักสูตรจากสถาบันอุดมศึกษาเจ้าของหลักสูตรนั้นเป็นอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตรอย่างน้อย ๒ คน

กรณีที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับสาขาวิชาที่ไม่สามารถสรรหาอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตรครบตามจำนวน สถาบันอุดมศึกษาต้องเสนอจำนวนและคุณวุฒิของอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตรที่มีนั้นให้คณะกรรมการพิจารณาเป็นรายกรณี

๙.๔.๓ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ แบ่งออกเป็น ๒ ประเภท คือ

๑) อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ต้องเป็นอาจารย์ประจำหลักสูตรที่มีคุณวุฒิปริญญาเอกหรือเทียบเท่า หรือขั้นต่ำปริญญาโทหรือเทียบเท่าที่มีตำแหน่งรองศาสตราจารย์หรือเทียบเท่า และมีผลงานทางวิชาการที่ไม่ใช่ส่วนหนึ่งของการศึกษาเพื่อรับปริญญาของตนเอง โดยเป็นผลงานทางวิชาการประเภทงานวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่ตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดในการพิจารณาแต่งตั้งให้บุคคลดำรงตำแหน่งทางวิชาการอย่างน้อย ๓ รายการ ในรอบ ๕ ปีย้อนหลัง

๒) อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ต้องมีอาจารย์ประจำหลักสูตรหรืออาจารย์ประจำหรือนักวิจัยประจำหรือผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ร่วมเป็นที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์อย่างน้อย ๑ คน โดยอาจารย์ประจำหลักสูตรหรืออาจารย์ประจำหรือนักวิจัยประจำต้องมีคุณวุฒิและผลงานทางวิชาการเช่นเดียวกับอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

สำหรับอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมที่เป็นผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกต้องมีคุณวุฒิปริญญาเอกหรือเทียบเท่า และมีผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารที่มีชื่ออยู่ในฐานข้อมูลที่เป็นที่ยอมรับ ซึ่งตรงหรือสัมพันธ์กับหัวข้อวิทยานิพนธ์ไม่น้อยกว่า ๑๐ เรื่อง

กรณีผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกที่ไม่มีคุณวุฒิและผลงานทางวิชาการตามที่กำหนดข้างต้น ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกจะต้องเป็นผู้มีความรู้ความเชี่ยวชาญและประสบการณ์สูงมากเป็นที่ยอมรับ ซึ่งตรงหรือสัมพันธ์กับหัวข้อวิทยานิพนธ์ โดยผ่านความเห็นชอบจากสภาสถาบันอุดมศึกษาแห่งนั้น

๙.๔.๔ อาจารย์ผู้สอบวิทยานิพนธ์ ต้องประกอบด้วยอาจารย์ประจำหลักสูตรโดยอาจมีอาจารย์ประจำหรือนักวิจัยประจำร่วมเป็นผู้สอบด้วย และผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกสถาบันอุดมศึกษาไม่น้อยกว่า ๒ คน รวมทั้งหมดแล้วไม่น้อยกว่า ๕ คน ทั้งนี้ ประธานกรรมการสอบต้องเป็นผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก โดยอาจารย์ผู้สอบวิทยานิพนธ์ต้องมีคุณวุฒิ คุณสมบัติ และผลงานทางวิชาการ ดังนี้

๑) กรณีอาจารย์ประจำหลักสูตรหรืออาจารย์ประจำหรือนักวิจัยประจำต้องมีคุณวุฒิปริญญาเอกหรือเทียบเท่า หรือขั้นต่ำปริญญาโทหรือเทียบเท่าที่มีตำแหน่งรองศาสตราจารย์หรือเทียบเท่า และมีผลงานทางวิชาการประเภทงานวิจัยที่ไม่ใช่ส่วนหนึ่งของการศึกษาเพื่อรับปริญญาของตนเอง โดยเป็นผลงานทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่ตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดในการพิจารณาแต่งตั้งให้บุคคลดำรงตำแหน่งทางวิชาการอย่างน้อย ๓ เรื่อง ในรอบ ๕ ปีย้อนหลัง

๒) กรณีผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ต้องมีคุณวุฒิปริญญาเอกหรือเทียบเท่าและมีผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารที่มีชื่ออยู่ในฐานข้อมูลที่เป็นที่ยอมรับ ซึ่งตรงหรือสัมพันธ์กับหัวข้อวิทยานิพนธ์ไม่น้อยกว่า ๑๐ เรื่อง

กรณีผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกที่ไม่มีคุณวุฒิและผลงานทางวิชาการตามที่กำหนดข้างต้น ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกจะต้องเป็นผู้มีความรู้ความเชี่ยวชาญและประสบการณ์สูงมากเป็นที่ยอมรับ ซึ่งตรงหรือสัมพันธ์กับหัวข้อวิทยานิพนธ์ โดยผ่านความเห็นชอบจากสภาสถาบันอุดมศึกษาแห่งนั้น

๙.๔.๕ อาจารย์ผู้สอน ต้องเป็นอาจารย์ประจำหรืออาจารย์พิเศษ ที่มีคุณวุฒิปริญญาเอกหรือเทียบเท่า หรือขั้นต่ำปริญญาโทหรือเทียบเท่าที่มีตำแหน่งรองศาสตราจารย์หรือเทียบเท่าในสาขาวิชานั้นหรือสาขาวิชาที่สัมพันธ์กัน หรือในสาขาวิชาของรายวิชาที่สอน และต้องมีประสบการณ์ด้านการสอนและมีผลงานทางวิชาการที่ไม่ใช่ส่วนหนึ่งของการศึกษาเพื่อรับปริญญาของตนเองและเป็นผลงานทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่ตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดในการพิจารณาแต่งตั้งให้บุคคลดำรงตำแหน่งทางวิชาการอย่างน้อย ๑ เรื่อง ในรอบ ๕ ปีย้อนหลัง

กรณีอาจารย์พิเศษที่ไม่มีคุณวุฒิตามที่กำหนดข้างต้น ต้องเป็นผู้ทรงคุณวุฒิที่มีความรู้และประสบการณ์เป็นที่ยอมรับ ซึ่งตรงหรือสัมพันธ์กับรายวิชาที่สอน โดยผ่านความเห็นชอบจากสภาสถาบันอุดมศึกษาแห่งนั้น ทั้งนี้ หากรายวิชาใดมีความจำเป็นต้องใช้อาจารย์พิเศษ ต้องมีอาจารย์ประจำร่วมรับผิดชอบกระบวนการเรียนการสอนและพัฒนานักศึกษา ตลอดระยะเวลาของการจัดการเรียนการสอนรายวิชานั้น ๆ ด้วย

๙.๔.๖ อาจารย์ใหม่ที่มีคุณวุฒิระดับปริญญาเอก แม้ยังไม่มีผลงานทางวิชาการหลังสำเร็จการศึกษา อนุโลมให้เป็นอาจารย์ผู้สอนในระดับปริญญาเอกได้ แต่ทั้งนี้ หากจะทำหน้าที่เป็นอาจารย์ประจำหลักสูตร อาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ผู้สอบวิทยานิพนธ์ในระดับปริญญาเอก ต้องมีผลงานทางวิชาการประเภทงานวิจัย ภายหลังสำเร็จการศึกษาอย่างน้อย ๑ เรื่อง ภายใน ๒ ปี หรือ ๒ เรื่อง ภายใน ๔ ปี หรือ ๓ เรื่อง ภายใน ๕ ปี

๑๐. ภาระงานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และการค้นคว้าอิสระ

๑๐.๑ อาจารย์ประจำหลักสูตร ๓ คน ให้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลักของนักศึกษาระดับปริญญาโทและปริญญาเอกตามหลักเกณฑ์ ดังนี้

๑) กรณีอาจารย์ประจำหลักสูตรมีคุณวุฒิปริญญาเอกหรือเทียบเท่า และมีผลงานทางวิชาการตามเกณฑ์ ให้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ของนักศึกษาระดับปริญญาโทและปริญญาเอกรวมได้ไม่เกิน ๕ คน ต่อภาคการศึกษา

๒) กรณีอาจารย์ประจำหลักสูตรมีคุณวุฒิปริญญาเอกหรือเทียบเท่า และดำรงตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์หรือเทียบเท่าขึ้นไป หรือมีคุณวุฒิปริญญาโทหรือเทียบเท่าที่มีตำแหน่งรองศาสตราจารย์หรือเทียบเท่าขึ้นไป และมีผลงานทางวิชาการตามเกณฑ์ ให้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ของนักศึกษาระดับปริญญาโทและปริญญาเอกรวมได้ไม่เกิน ๑๐ คนต่อภาคการศึกษา

๓) กรณีอาจารย์ประจำหลักสูตรมีคุณวุฒิปริญญาเอกหรือเทียบเท่า และดำรงตำแหน่งศาสตราจารย์หรือเทียบเท่า ซึ่งมีความจำเป็นต้องดูแลนักศึกษาเกินกว่าจำนวนที่กำหนด ให้เสนอต่อสภาสถาบันอุดมศึกษาพิจารณา แต่ทั้งนี้ ต้องไม่เกิน ๑๕ คนต่อภาคการศึกษา หากมีความจำเป็นต้องดูแลนักศึกษามากกว่า ๑๕ คน ให้ขอความเห็นชอบจากคณะกรรมการเป็นรายกรณี

๑๐.๒ อาจารย์ประจำหลักสูตร ๑ คน ให้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระของนักศึกษาระดับปริญญาโทได้ไม่เกิน ๑๕ คน

หากเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาทั้งวิทยานิพนธ์และการค้นคว้าอิสระ ให้คิดสัดส่วนจำนวนนักศึกษาที่ทำวิทยานิพนธ์ ๑ คน เทียบได้กับจำนวนนักศึกษาที่ค้นคว้าอิสระ ๓ คน แต่ทั้งนี้รวมแล้วต้องไม่เกิน ๑๕ คนต่อภาคการศึกษา

๑๐.๓ อาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร ต้องทำหน้าที่อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และ/หรืออาจารย์ผู้สอบวิทยานิพนธ์ และ/หรืออาจารย์ผู้สอนในหลักสูตรนั้นด้วย

๑๑. คุณสมบัติของผู้เข้าศึกษา

๑๑.๑ ประกาศนียบัตรบัณฑิต จะต้องเป็นผู้สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีหรือเทียบเท่า

๑๑.๒ ประกาศนียบัตรบัณฑิตชั้นสูง จะต้องเป็นผู้สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรบัณฑิตหรือปริญญาโทหรือเทียบเท่า

๑๑.๓ ปริญญาโท จะต้องเป็นผู้สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีหรือเทียบเท่า

๑๑.๔ ปริญญาเอก จะต้องเป็นผู้สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีหรือเทียบเท่าที่มีผลการเรียนดีมาก หรือปริญญาโทหรือเทียบเท่า และมีผลการสอบภาษาอังกฤษตามเกณฑ์ที่สภาสถาบันอุดมศึกษากำหนด

๑๒. จำนวนหน่วยกิตในการลงทะเบียนเรียนและระยะเวลาการศึกษาในแต่ละหลักสูตรและระดับการศึกษา ให้เป็นไปตามที่สภาสถาบันอุดมศึกษากำหนด

๑๓. เกณฑ์การสำเร็จการศึกษา นักศึกษาจะต้องปฏิบัติ ดังนี้

๑๓.๑ ประกาศนียบัตรบัณฑิตและประกาศนียบัตรบัณฑิตชั้นสูง ต้องเรียนครบตามจำนวนหน่วยกิตที่กำหนดไว้ในหลักสูตร และต้องได้ระดับคะแนนเฉลี่ยไม่ต่ำกว่า ๓.๐๐ จากระบบ ๔ ระดับคะแนนหรือเทียบเท่า และบรรลุผลลัพธ์การเรียนรู้เป็นไปตามมาตรฐานคุณวุฒิระดับบัณฑิตศึกษา

๑๓.๒ ปริญญาโท

๑๓.๒.๑ แผน ๑ ศึกษารายวิชาครบถ้วนตามที่กำหนดในหลักสูตร (ถ้ามี) โดยจะต้องได้ระดับคะแนนเฉลี่ยไม่ต่ำกว่า ๓.๐๐ จากระบบ ๔ ระดับคะแนนหรือเทียบเท่า และเสนอวิทยานิพนธ์และสอบผ่านการสอบปากเปล่าขั้นสุดท้าย จนบรรลุผลลัพธ์การเรียนรู้ตามมาตรฐานคุณวุฒิระดับบัณฑิตศึกษา สำหรับการสอบปากเปล่าให้ดำเนินการโดยคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่สถาบันอุดมศึกษาแต่งตั้ง ซึ่งมีองค์ประกอบตามข้อ ๙.๓.๔ โดยเป็นระบบเปิดให้ผู้สนใจเข้ารับฟังได้

และผลงานวิทยานิพนธ์หรือส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์ได้รับการตีพิมพ์ หรืออย่างน้อยได้รับการเผยแพร่ในรูปแบบบทความหรือนวัตกรรมหรือสิ่งประดิษฐ์หรือผลงานทางวิชาการอื่นซึ่งสามารถสืบค้นได้ตามที่สภาสถาบันอุดมศึกษากำหนด

๑๓.๒.๒ แผน ๒ ศึกษารายวิชาครบถ้วนตามที่กำหนดในหลักสูตร โดยจะต้องได้ระดับคะแนนเฉลี่ยไม่ต่ำกว่า ๓.๐๐ จากระบบ ๔ ระดับคะแนนหรือเทียบเท่า และสอบผ่านการสอบประมวลความรู้ ด้วยข้อเขียนและ/หรือปากเปล่าในสาขาวิชานั้น พร้อมทั้งเสนอรายงานการค้นคว้าอิสระและสอบผ่านการสอบปากเปล่าขั้นสุดท้าย จนบรรลุผลลัพธ์การเรียนรู้ตามมาตรฐานคุณวุฒิระดับบัณฑิตศึกษา สำหรับการสอบปากเปล่าให้ดำเนินการโดยคณะกรรมการสอบที่สถาบันอุดมศึกษานั้นแต่งตั้ง ตามหลักเกณฑ์ที่สภาสถาบันอุดมศึกษากำหนด และเป็นระบบเปิดให้ผู้สนใจเข้ารับฟังได้

๑๓.๓ ปริญญาเอก

๑๓.๓.๑ แผน ๑ สอบผ่านการสอบวัดคุณสมบัติ เพื่อเป็นผู้มีสิทธิขอทำวิทยานิพนธ์ เสนอวิทยานิพนธ์ และสอบผ่านการสอบปากเปล่าขั้นสุดท้ายจนบรรลุผลลัพธ์การเรียนรู้ตามมาตรฐานคุณวุฒิระดับบัณฑิตศึกษา สำหรับการสอบปากเปล่าให้ดำเนินการโดยคณะกรรมการที่สถาบันอุดมศึกษาแต่งตั้งตามข้อ ๙.๔.๔ ซึ่งจะต้องประกอบด้วยผู้ทรงคุณวุฒิจากภายในและภายนอกสถาบันอุดมศึกษา และต้องเป็นระบบเปิดให้ผู้สนใจเข้ารับฟังได้ เกณฑ์การวัดผลสัมฤทธิ์ในการสอบประกอบด้วย องค์ความรู้ใหม่ซึ่งพิจารณาจากข้อความแห่งการริเริ่ม และความรู้ความเข้าใจในวิทยานิพนธ์ของนักศึกษา

สำหรับผลงานวิทยานิพนธ์หรือส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์ต้องได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่หรืออย่างน้อยได้รับการยอมรับให้ตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติที่มีคุณภาพตามประกาศที่คณะกรรมการกำหนด อย่างน้อย ๒ เรื่อง หรือ

ผลงานวิทยานิพนธ์หรือส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์ต้องได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่หรืออย่างน้อยได้รับการยอมรับให้ตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารระดับนานาชาติที่มีคุณภาพตามประกาศที่คณะกรรมการกำหนด อย่างน้อย ๑ เรื่อง และเป็นผลงานนวัตกรรม หรือผลงานสร้างสรรค์ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ เชิงสังคมและเศรษฐกิจ อย่างน้อย ๑ เรื่อง หรือได้รับสิทธิบัตร อย่างน้อย ๑ สิทธิบัตร

กรณีผลงานนวัตกรรม หรือผลงานสร้างสรรค์ วิทยานิพนธ์ต้องได้รับการประเมินจากคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกในสาขาเดียวกันหรือเกี่ยวข้องอย่างน้อย ๓ คน ที่เป็นผู้มีความรู้ความเชี่ยวชาญและประสบการณ์สูงเป็นที่ยอมรับ โดยได้รับความเห็นชอบจากสภาสถาบันอุดมศึกษา

สำหรับนักศึกษาระดับปริญญาเอกกลุ่มสาขาวิชาสังคมศาสตร์และมนุษยศาสตร์อาจเผยแพร่ในวารสารระดับชาติที่มีคุณภาพตามที่คณะกรรมการกำหนด

๑๓.๓.๒ แผน ๒ ศึกษารายวิชาครบถ้วนตามที่กำหนดในหลักสูตร โดยจะต้องได้ระดับคะแนนเฉลี่ยไม่ต่ำกว่า ๓.๐๐ จากระบบ ๔ ระดับคะแนนหรือเทียบเท่า สอบผ่านการสอบวัดคุณสมบัติเพื่อเป็นผู้มีสิทธิขอทำวิทยานิพนธ์ เสนอวิทยานิพนธ์ และสอบผ่านการสอบปากเปล่าขั้นสุดท้าย

จนบรรลุผลลัพธ์การเรียนรู้ตามมาตรฐานคุณวุฒิระดับบัณฑิตศึกษา สำหรับการสอบปากเปล่าให้ดำเนินการโดยคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่สถาบันอุดมศึกษานั้นแต่งตั้ง ตามข้อ ๙.๔.๔ ซึ่งจะต้องประกอบด้วยผู้ทรงคุณวุฒิจากภายในและภายนอกสถาบันอุดมศึกษา และต้องเป็นระบบเปิดให้ผู้สนใจเข้ารับฟังได้ เกณฑ์การวัดผลสัมฤทธิ์ในการสอบประกอบด้วย องค์ความรู้ใหม่ซึ่งพิจารณาจากข้อความแห่งการริเริ่มและความรู้ความเข้าใจในวิทยานิพนธ์ของนักศึกษา

สำหรับผลงานวิทยานิพนธ์หรือส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์ต้องได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ หรืออย่างน้อยได้รับการยอมรับให้ตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารระดับนานาชาติที่มีคุณภาพตามประกาศที่คณะกรรมการกำหนด หรือได้รับสิทธิบัตร หรือเป็นผลงานนวัตกรรม หรือผลงานสร้างสรรค์ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ เชิงสังคมและเศรษฐกิจ

กรณีผลงานนวัตกรรม หรือผลงานสร้างสรรค์ วิทยานิพนธ์ต้องได้รับการประเมินจากคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกในสาขาเดียวกันหรือเกี่ยวข้องอย่างน้อย ๓ คน ที่เป็นผู้มีความรู้ความเชี่ยวชาญและประสบการณ์สูงเป็นที่ยอมรับ โดยได้รับความเห็นชอบจากสภาสถาบันอุดมศึกษา

สำหรับนักศึกษาระดับปริญญาเอกกลุ่มสาขาวิชาสังคมศาสตร์และมนุษยศาสตร์อาจเผยแพร่ในวารสารระดับชาติที่มีคุณภาพตามที่คณะกรรมการกำหนด

๑๓.๔ การพ้นสภาพโดยไม่สำเร็จการศึกษาของนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาให้เป็นไปตามที่สภาสถาบันอุดมศึกษากำหนด

๑๔. ปริญญาบัตรและใบแสดงผลการศึกษา

การออกใบปริญญาบัตรและใบแสดงผลการศึกษา ให้ระบุชื่อปริญญา ชื่อสาขาวิชาและชื่อรายวิชา ให้ตรงกับที่ระบุไว้ในเอกสารหลักสูตรฉบับที่คณะกรรมการรับรอง พร้อมทั้งระบุหัวข้อวิทยานิพนธ์หรือการค้นคว้าอิสระที่สอดคล้องกับสาขาวิชา

๑๕. การประกันคุณภาพของหลักสูตร ให้ทุกหลักสูตรกำหนดระบบการประกันคุณภาพของหลักสูตรตามที่สภาสถาบันอุดมศึกษากำหนด

๑๖. การพัฒนาหลักสูตร ให้ทุกหลักสูตรพัฒนาหลักสูตรให้ทันสมัยโดยมีการประเมินและรายงานผลการดำเนินการของหลักสูตรทุกปีการศึกษาเพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปปรับปรุงพัฒนาหลักสูตรเป็นระยะ ๆ อย่างน้อยตามรอบระยะเวลาของหลักสูตร หรือทุกรอบ ๕ ปี

๑๗. ในกรณีที่ไม่สามารถปฏิบัติตามแนวทางดังกล่าวได้ หรือมีความจำเป็นต้องปฏิบัตินอกเหนือจากที่กำหนดไว้ในประกาศนี้ ให้อยู่ในดุลยพินิจของคณะกรรมการ และให้ถือคำวินิจฉัยของคณะกรรมการนั้นเป็นที่สุด

ประกาศ ณ วันที่ ๑๘ กรกฎาคม พ.ศ. ๒๕๖๕
ศาสตราจารย์เกียรติคุณกิตติชัย วัฒนานิกร
ประธานกรรมการมาตรฐานการอุดมศึกษา

ภาคผนวก ช ประกาศคณะกรรมการมาตรฐานการอุดมศึกษาเรื่องรายละเอียดผลลัพธ์การเรียนรู้ตามมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษา พ.ศ. 2565

ประกาศคณะกรรมการมาตรฐานการอุดมศึกษา
เรื่อง รายละเอียดผลลัพธ์การเรียนรู้ตามมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษา พ.ศ. ๒๕๖๕

อาศัยอำนาจตามความในข้อ ๗ วรรคสอง แห่งกฎกระทรวงมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษา พ.ศ. ๒๕๖๕ คณะกรรมการมาตรฐานการอุดมศึกษา ในการประชุมครั้งที่ ๕/๒๕๖๕ เมื่อวันที่ ๑๑ พฤษภาคม พ.ศ. ๒๕๖๕ จึงมีมติออกประกาศไว้ ดังต่อไปนี้

๑. ประกาศนี้เรียกว่า "ประกาศคณะกรรมการมาตรฐานการอุดมศึกษา เรื่อง รายละเอียดผลลัพธ์การเรียนรู้ตามมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษา พ.ศ. ๒๕๖๕"

๒. ประกาศนี้ให้ใช้บังคับหลังจากประกาศในราชกิจจานุเบกษา และตั้งแต่วันที่ ๒๗ กันยายน ๒๕๖๕ เป็นต้นไป

๓. ในประกาศนี้

"สถาบันอุดมศึกษา" หมายความว่า สถาบันที่จัดการอุดมศึกษาระดับปริญญาและระดับต่ำกว่าปริญญาทั้งที่เป็นของรัฐและของเอกชน

"มาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษา" หมายความว่า ข้อกำหนดเกี่ยวกับผลลัพธ์การเรียนรู้ของผู้เรียนที่เกิดขึ้นจากการศึกษาตามมาตรฐานหลักสูตรการศึกษาระดับอุดมศึกษาที่กำหนดขึ้นตามระดับการศึกษาแต่ละระดับ

"ผลลัพธ์การเรียนรู้" หมายความว่า ผลที่เกิดขึ้นแก่ผู้เรียนผ่านกระบวนการเรียนรู้ที่ได้จากการศึกษา ฝึกอบรม หรือประสบการณ์ที่เกิดขึ้นจากการฝึกปฏิบัติ หรือการเรียนรู้จริงในที่ทำงานระหว่างการศึกษา

๔. ผลลัพธ์การเรียนรู้ตามคุณวุฒิแต่ละระดับ ต้องสอดคล้องกับอัตลักษณ์ของหลักสูตร สถาบันอุดมศึกษา วิชาชีพ ประเทศชาติ และบริบทโลก ประกอบด้วยอย่างน้อย ๕ ด้าน ได้แก่

๔.๑ ความรู้ (Knowledge) หมายถึง สิ่งที่สั่งสมมาจากการศึกษาเล่าเรียน การค้นคว้า หรือประสบการณ์ที่เกิดจากหลักสูตร ซึ่งเป็นสิ่งที่จำเป็นและเพียงพอต่อการนำไปปฏิบัติ หรือต่อยอดความรู้ในการประกอบอาชีพ ดำรงชีวิต อยู่ร่วมกันในสังคม และพัฒนาอย่างยั่งยืน สำหรับการดำรงชีวิตในยุคดิจิทัล

๔.๒ ทักษะ (Skills) หมายถึง ความสามารถที่เกิดจากการเรียนรู้ ฝึกฝนปฏิบัติให้เกิดความแคล่วคล่อง ว่องไว และชำนาญ เพื่อพัฒนางาน พัฒนาวิชาชีพหรือวิชาการ พัฒนาตน และพัฒนาสังคม สำหรับการดำรงชีวิตในยุคดิจิทัล

๔.๓ จริยธรรม (Ethics) หมายถึง พฤติกรรมหรือการกระทำระดับบุคคลที่สะท้อนถึงความเป็นผู้มีคุณธรรม ศีลธรรม และจรรยาบรรณ เพื่อประโยชน์ส่วนรวมและส่วนตน ทั้งต่อหน้าและลับหลังผู้อื่น

๔.๔ ลักษณะบุคคล (Character) หมายถึง บุคลิกภาพ ลักษณะนิสัย และค่านิยมที่สะท้อนคุณลักษณะเฉพาะศาสตร์ วิชาชีพ และสถาบัน โดยพัฒนาผ่านการเรียนรู้ และการฝึกประสบการณ์จากหลักสูตร ให้มีความเหมาะสมกับแต่ละระดับมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษา

๕. รายละเอียดผลลัพธ์การเรียนรู้แต่ละด้านในข้อ ๔ ตามคุณวุฒิแต่ละระดับ เป็นไปตามเอกสารแนบท้ายประกาศฉบับนี้

๖. สถาบันอุดมศึกษาต้องแสดงความรับผิดชอบที่ตรวจสอบได้ในการผลิตบัณฑิตให้ได้ผลลัพธ์การเรียนรู้ที่กำหนดในหลักสูตร โดยออกแบบและพัฒนาระบบและกลไก หรือวิธีการ พร้อมหลักฐานเชิงประจักษ์ สำหรับการตรวจสอบภหลักสูตรการศึกษาและตรวจสอบการดำเนินการจัดการศึกษา เพื่อการรับรองมาตรฐานการอุดมศึกษาของหลักสูตรการศึกษา

ประกาศ ณ วันที่ ๒๐ เดือน กรกฎาคม พ.ศ. ๒๕๖๕

(ศาสตราจารย์เกียรติคุณกิตติชัย วัฒนานิกร)
ประธานกรรมการมาตรฐานการอุดมศึกษา

รายละเอียดผลลัพธ์การเรียนรู้แต่ละด้านตามคุณวุฒิแต่ละระดับ

ความรู้ (Knowledge)

ความรู้ (Knowledge) หมายถึง สิ่งที่สั่งสมมาจากการศึกษาเล่าเรียน การค้นคว้า หรือประสบการณ์ที่เกิดจากหลักสูตร ซึ่งเป็นสิ่งที่จำเป็นและเพียงพอต่อการนำไปปฏิบัติหรือต่อยอดความรู้ในการประกอบอาชีพ ดำรงชีวิต อยู่ร่วมกันในสังคม และพัฒนาอย่างยั่งยืน สำหรับการดำรงชีวิตในยุคดิจิทัล

โครงสร้างของความรู้สำหรับแต่ละระดับคุณวุฒิ มีดังนี้

๑. ความรู้เชิงสาระ/หลักการ ความรู้เชิงกระบวนการ และความรู้ที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิต

๒. * ความรู้ที่จำเป็นต่อการเชื่อมโยง การปรับใช้ การต่อยอดความรู้ที่นำไปสู่การพัฒนาและการทำงานร่วมกัน

* หมายเหตุ ยกเว้นคุณวุฒิระดับอนุปริญญา

อนุปริญญา	ปริญญาตรี	ประกาศนียบัตรบัณฑิต	ปริญญาโท	ประกาศนียบัตรบัณฑิตชั้นสูง	ปริญญาเอก
ความรู้ที่จำเป็นและเพียงพอสำหรับการนำไปใช้ทำงานตามบทบาทหน้าที่	ความรู้ที่จำเป็นและเพียงพอต่อการนำไปปฏิบัติ ต่อยอดความรู้ ปรับใช้ความรู้เพื่อการพัฒนางาน	ความรู้ที่จำเป็นและเพียงพอต่อการนำไปปฏิบัติ ต่อยอดความรู้ และเชื่อมโยงความรู้ใหม่เพื่อพัฒนาวิชาชีพ	ความรู้ที่จำเป็นและเพียงพอต่อการนำไปปฏิบัติ ต่อยอดความรู้ และเชื่อมโยงความรู้ใหม่เพื่อการค้นพบ และสร้างสิ่งใหม่ที่เป็นที่ยอมรับ	ความรู้ที่จำเป็นและเพียงพอต่อการนำไปปฏิบัติ ต่อยอดความรู้ และเชื่อมโยงสร้างองค์ความรู้ใหม่เชิงปฏิบัติในการแก้ปัญหาทางวิชาชีพแบบองค์รวม และเป็นที่ยอมรับ	ความรู้ที่จำเป็นและเพียงพอต่อการนำไปปฏิบัติ ต่อยอดความรู้ เชื่อมโยงความรู้ และการใช้กระบวนการวิจัยเพื่อสร้างองค์ความรู้ใหม่ที่นำไปสู่การแก้ปัญหาแบบองค์รวมซึ่งเป็นที่ยอมรับและอ้างอิงได้ และหรือปรับใช้ในบริบทอื่นได้

การสร้างสิ่งใหม่ หมายถึง กระบวนการวิจัยและพัฒนา ซึ่งทำให้ได้ผลผลิตใหม่ที่เป็นสิ่งประดิษฐ์ สิ่งของ กระบวนการ ระบบ แนวคิด อันเป็นสิ่งที่สร้างขึ้นจากความรู้ ความคิดริเริ่ม หรือความคิดสร้างสรรค์ใหม่ หรือมีการพัฒนา ต่อยอด ประยุกต์ และปรับปรุง ให้สามารถใช้ได้อย่างเหมาะสม และสอดคล้องกับบริบทใหม่ วิถีชีวิตใหม่ หรือความต้องการใหม่

การสร้างองค์ความรู้ใหม่ หมายถึง กระบวนการวิจัยที่ใช้วิธีวิทยาการวิจัยประเภทต่าง ๆ ซึ่งทำให้ได้ผลผลิต หรือข้อค้นพบจากการวิจัย เป็นแนวคิด ทฤษฎี หรือสาระความรู้ใหม่ที่ช่วยในการส่งเสริมหรือพัฒนาศาสตร์ในสาขานั้น หรือส่งเสริมให้เกิดการสร้างศาสตร์ใหม่แบบบูรณาการ

๔

ทักษะ (Skills)

ทักษะ (Skills) หมายถึง ความสามารถที่เกิดจากการเรียนรู้ ฝึกฝนปฏิบัติให้เกิดความแคล่วคล่อง ว่องไว ชำนาญ เพื่อพัฒนางาน พัฒนาวิชาชีพหรือวิชาการ พัฒนาตน และพัฒนาสังคม สำหรับการดำรงชีวิตในยุคดิจิทัล

โครงสร้างของทักษะสำหรับแต่ละระดับคุณวุฒิ มีดังนี้

๑. ทักษะการปฏิบัติงานตามวิชาชีพ หรือตามสาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง

๒. ทักษะทั่วไป ประกอบด้วยทักษะการเรียนรู้ ทักษะส่วนบุคคล ทักษะการทำงานร่วมกับผู้อื่นที่นำไปสู่การพัฒนางาน วิชาชีพ การดำรงชีวิตและการทำงานเพื่อสร้างสรรค์องค์กร และสังคม ซึ่งเหมาะสมกับการดำรงชีวิตในยุคดิจิทัล

อนุปริญญา	ปริญญาตรี	ประกาศนียบัตรบัณฑิต	ปริญญาโท	ประกาศนียบัตรบัณฑิตชั้นสูง	ปริญญาเอก
๑. ทักษะการเรียนรู้การเรียนรู้ด้วยตนเองในการปฏิบัติงานได้ตามแนวปฏิบัติที่กำหนด ๒. ทักษะด้านดิจิทัล	๑. ทักษะการเรียนรู้การเรียนรู้ด้วยตนเองในการปฏิบัติ และการปรับปรุงพัฒนางานเพื่อการประกอบอาชีพ ๒. ทักษะด้านดิจิทัล	๑. ทักษะการเรียนรู้การเรียนรู้ด้วยตนเองในการปฏิบัติ และการปรับปรุงพัฒนางานให้มีความเป็นมืออาชีพ ๒. ทักษะด้านดิจิทัล	๑. ทักษะการเรียนรู้การเรียนรู้ด้วยตนเอง และทักษะการสร้างความรู้ในการปฏิบัติ การคิดริเริ่มสร้างสิ่งใหม่ เพื่อสร้างความรู้ใหม่เชิงวิชาการหรือวิชาชีพ ๒. ทักษะด้านดิจิทัล	๑. ทักษะการเรียนรู้การเรียนรู้ด้วยตนเอง และทักษะการสร้างความรู้ในการปฏิบัติ การคิดริเริ่มสร้างสรรค์ เพื่อสร้างความรู้ใหม่เชิงวิชาการหรือวิชาชีพในระดับเป็นที่ยอมรับ และเป็นแนวปฏิบัติได้ ๒. ทักษะด้านดิจิทัล	๑. ทักษะการเรียนรู้การเรียนรู้ด้วยตนเอง และทักษะการสร้างความรู้ในการปฏิบัติ การคิดริเริ่มสร้างสรรค์ เพื่อสร้างองค์ความรู้ใหม่เชิงวิชาการหรือวิชาชีพในระดับที่อ้างอิงหรือปรับใช้ในบริบทอื่นได้ ๒. ทักษะด้านดิจิทัล

หลักสูตรต้องอ้างอิงทักษะจากกรอบแนวคิดทักษะการเรียนรู้ในศตวรรษที่ ๒๑ และ Top ๑๐ Skills ของ World Economic Forum

ตัวอย่างทักษะ : ทักษะการแสวงหาความรู้ด้วยตนเอง (inquiry skills) การคิดเชิงวิพากษ์และคิดอย่างมีวิจารณญาณ (critical thinking) การแสดงเหตุผล (reasoning) ความคิดสร้างสรรค์ (creativity) การเรียนรู้ (learning) การสื่อสาร (communication) ความร่วมมือรวมพลัง (collaboration) การทำงานเป็นทีม (team working) ความเป็นผู้นำ (leadership) ความเป็นผู้ประกอบการ (entrepreneurship) การแก้ไขปัญหา (problem solving) การอยู่ร่วมกับผู้อื่น ทักษะการทำงานที่หลากหลาย (multitasking skills)

๕

จริยธรรม (Ethics)
จริยธรรม (Ethics) หมายถึง พฤติกรรมหรือการกระทำระดับบุคคลที่สะท้อนถึงความเป็นผู้มีคุณธรรม ศีลธรรม และจรรยาบรรณ เพื่อประโยชน์ส่วนรวมและส่วนตน ทั้งต่อหน้าและลับหลังผู้อื่น โครงสร้างของจริยธรรมสำหรับแต่ละระดับคุณวุฒิ มีดังนี้ ๑. การกระทำที่เป็นไปตามกฎศีลา และเกิดประโยชน์ต่อสังคม ๒. การหลีกเลี่ยงการกระทำสิ่งที่ผิดกฎศีลาของสังคม และไม่ทำผิดกฎหมาย ทั้งนี้ หลักสูตรต้องกำหนดจริยธรรมที่เหมาะสมกับสาขาวิชาในแต่ละระดับคุณวุฒิ และจริยธรรมเฉพาะวิชาชีพที่กำหนดโดยสภาวิชาชีพ หรือประชาคมวิชาชีพ หรือจรรยาบรรณในการประกอบอาชีพ **ตัวอย่างจริยธรรม** : การกระทำที่มีจริยธรรม เช่น ความซื่อสัตย์สุจริต ความเอื้อเฟื้อเผื่อแผ่ ความมีจิตใจเมตตา ความโอบอ้อมอารี การมีจิตสาธารณะ การรักษาสิ่งแวดล้อม เป็นต้น การกระทำที่ไม่ถูกจริยธรรม เช่น การคัดลอกผลงาน การทุจริตทางวิชาการ การละเมิดทรัพย์สินทางปัญญา การละเมิดสิทธิเสรีภาพ การลักขโมย การทุจริตการสอบ การฉ้อโกง การไม่กระทำตามสัญญา การโฆษณาสรรพคุณของสินค้าเกินจริง การกระทำที่เอื้อประโยชน์ต่อพวกพ้องที่ไม่ถูกต้อง เป็นต้น

๖

ลักษณะบุคคล (Character)
ลักษณะบุคคล (Character) หมายถึง บุคลิกภาพ ลักษณะนิสัย ค่านิยม ที่สะท้อนคุณลักษณะเฉพาะศาสตร์ วิชาชีพ และสถาบัน โดยพัฒนาผ่านการเรียนรู้และการฝึกประสบการณ์จากหลักสูตร ให้มีความเหมาะสมกับแต่ละระดับมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษา โครงสร้างของลักษณะบุคคลสำหรับแต่ละระดับคุณวุฒิ มีดังนี้ ๑. ลักษณะบุคคลทั่วไป ๒. ลักษณะบุคคลตามวิชาชีพ หรือตามศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง **ตัวอย่างลักษณะบุคคล** : บุคลิกที่น่าเชื่อถือ เป็นมิตร มีเสน่ห์ เป็นผู้นำ นิสัยใฝ่รู้ใฝ่เรียน กล้าแสดงออก กล้าตัดสินใจ มีเมตตา กรุณา รักการทำงานเป็นทีม ช่างสังเกต คิดอย่างมีวิจารณญาณ มีเหตุผล ค่านิยมยึดมั่นในอุดมการณ์ที่ถูกต้อง การรักษาสิ่งแวดล้อม ความพอเพียง ความเท่าเทียมกันในสังคม ความรับผิดชอบต่อสังคม ยอมรับความแตกต่างในสังคม ใช้จ่ายอย่างมีเหตุผล ความรับผิดชอบ อดทนในการทำงานตามวิชาชีพ ความรอบคอบ ความละเอียดถี่ถ้วน เป็นแบบอย่างได้ บุคลิกภาพดี มีการสื่อสารที่ดี คิดเป็นระบบ เชื่อมั่นในตนเอง มีสุนทรียนิยม มีศิลปนิสัย มีจินตนาการ มีความคิดสร้างสรรค์ รักการเล่น รักการแสดง เป็นนักบริหารจัดการ มีความคิดเชิงตรรกะ ความเป็นผู้ประกอบการ การรู้ดิจิทัล (digital literacy) และการรู้เท่าทันสื่อ (media literacy) เช่น การรู้เทคโนโลยี (technology literacy) การรู้สารสนเทศ (information literacy) การรู้เกี่ยวกับสิ่งที่เห็น (visual literacy) การรู้การสื่อสาร (communication literacy) การรู้สังคม (social literacy) เป็นต้น ทั้งนี้ ทุกหลักสูตรต้องกำหนดลักษณะบุคคลที่เป็นลักษณะบุคคลทั่วไปที่เหมาะสมสอดคล้องกับอัตลักษณ์ของหลักสูตรและสถาบัน ส่วนหลักสูตรวิชาชีพ ควรกำหนดลักษณะบุคคลเฉพาะวิชาชีพตามมาตรฐานวิชาชีพด้วย โดยอาจเลือกลักษณะบุคคลทั่วไปมากำหนดเป็นคุณสมบัติที่เป็นจุดเน้นให้สอดคล้องกับเป้าหมายของหลักสูตร

ภาคผนวก ซ ผลลัพธ์การเรียนรู้ของบลูม (Bloom' Taxonomy of Education Objectives)

Bloom's Taxonomy of Learning Domains

Cognitive Domain: thinking			
Levels/ Categories	Other verbs	ตัวอย่างคำกริยา	ความหมาย
Create	Generate, plan, compose, develop, create, invent, organize, construct, produce, compile, design, devise.	วางแผน พัฒนา สร้าง ปรับปรุง ผลิต ออกแบบ ประมวล ประดิษฐ์	สามารถผลิตคิดค้น หรือพัฒนารูปแบบ สิ่งของ กระบวนการ วิธีการขึ้นมาใหม่
Evaluate	Rank, assess, monitor, check, test, judge.	เรียงลำดับ ประเมิน ตรวจสอบ ทดสอบ ตัดสิน วิจารณ ลงความเห็น	สามารถคิด แยกแยะวิเคราะห์ ประเมินส่วนประกอบต่างๆจน สามารถใช้ในการตัดสินใจได้
Analyze	Analyze, break down, compare, select, contrast, deconstruct, discriminate, distinguish, identify, outline.	วิเคราะห์ เปรียบเทียบ เลือก แยกแยะ ให้ความเห็น วิจัยณ์ จำแนกความแตกต่าง ร่างภาพ	สามารถคิด แยกแยะออกเป็น ส่วนประกอบต่างๆ มองเห็น ความสำคัญและความสัมพันธ์ แล้วจึงวิเคราะห์ได้
Apply	Implement, organize, dramatize, solve, construct, demonstrate, discover, manipulate, modify, operate, predict, prepare, produce, relate, show, solve, choose.	เปลี่ยน แก้ปัญหา ปรับปรุง สาธิต ทำนาย คาดคะเน จัดเตรียม จัดการ เชื่อมโยงความสัมพันธ์ แสดง เลือก ค้นพบ	มีความสามารถนำความรู้ไปใช้ในการแก้ปัญหา หรือนำไปปรับใช้งานตามสถานการณ์
Understand	Illustrate, defend, compare, estimate, explain, classify, generalize, interpret, paraphrase, predict, rewrite, summarize, translate.	เปรียบเทียบ อธิบาย แยกประเภท จัดกลุ่ม สรุป ให้ความเห็น คาดการณ์ สรุป แปลความ	มีความสามารถในการจับสาระสำคัญ โดยแสดงออกมาให้เห็นได้ในรูปแบบต่างๆ
Remember	Define, describe, identify, know, label, list, match, name, outline, recall, recognize, reproduce, select, state, locate.	บอก จำแนก ระบุ จับคู่ บรรยาย จำลอง	มีความสามารถในการจดจำ รับรู้ และสามารถระลึกได้เมื่อต้องการ

Anderson & Krathwohl (2001)

Affective Domain: feeling			
Levels/ Categories	Other verbs	ตัวอย่างคำกริยา	ความหมาย
Internalizing Value	Act, display, discriminate, influence, listen, modify, perform, practice, propose, qualify, question, revise, serve, solve, verify.	แสดงออก จักชวน ปรับเปลี่ยน แยกแยะ วินิจฉัย ปรับปรุง แก้ไข ปฏิบัติเป็นกิจวัตร แนะนำ ส่งเสริม ให้ความช่วยเหลือ	เป็นการนำค่านิยมที่ยึดถือมาใช้ปฏิบัติจนเป็นพฤติกรรมที่ดี
Organization	Adhere, alter, arrange, combine, compare, complete, defend, explain, formulate, generalize, identify, integrate, modify, order, organize, prepare, relate.	จำแนก จัดลำดับ ผสมผสาน ปรับปรุง เปรียบเทียบ มุ่งมั่น เปลี่ยนแปลง ประสาน ให้ความเห็น อธิบาย กำหนดวิธี สังการ จัดระเบียบ	มีการรวบรวมค่านิยม แนวคิด กรอบปฏิบัติต่างๆ มาจัดระบบ และตัดสินใจเลือกนำมาปฏิบัติในรูปแบบที่เป็นของตนเองหรือด้วยเหตุผล
Valuing	Complete, demonstrate, differentiate, explain, follow, form, initiate, invite, join, justify, propose, read, report, select, share, study, work.	วิเริ่ม เลือก แสวงหา นำมาใช้ แสดงออก อธิบาย วิเริ่ม เชิญชวน เข้าร่วม อ่าน รายงาน แบ่งปัน เรียนรู้ ปฏิบัติงาน	มีการแสดงออกว่าให้ความสำคัญกับค่านิยมที่รับทราบมา จนทำให้เกิดการเลือกที่จะปฏิบัติตามด้วยตนเอง
Responding	Answer, assist, aid, comply, conform, discuss, greet, help, label, perform, practice, present, read, recite, report, select, tell, write.	อภิปราย เลือก เขียนชื่อกำกับ ช่วยเหลือ เชื่อฟัง ทำตาม จำบอก อธิบาย	มีการแสดงออกมาให้เห็นว่า มีความพึงใจ หรือยินยอม หรือเห็นด้วย
Receiving	Ask, choose, describe, follow, give, hold, identify, locate, name, point to, select, sit, erect, reply, use.	ถาม เลือก ชี้ ทำตาม ยอมรับ ใช้ตอบ	มีการยอมรับ รับรู้ความรู้สึก และสามารถแสดงออกมาว่ารับรู้

Krathwohl *et al.* (1973)

Psychomotor Domain: doing			
Levels/ Categories	Other verbs	ตัวอย่างคำกริยา	ความหมาย
Naturalization	Arrange, build, combine, compose, construct, create, design, initiate, make, originate	แก้ไขปัญหา เปลี่ยนแปลง สร้าง ปรับแต่ง เชื่อมโยง พัฒนา ออกแบบ	สามารถทำตามขั้นตอนต่างๆ จนเกิดความชำนาญ เป็นธรรมชาติ สามารถปรับเปลี่ยนหรือดัดแปลงจนเป็นความชำนาญเฉพาะ
Articulation	Construct, conduct, solve, combine, coordinate, integrate, adapt, develop, formulate, modify, master, organize, refine	แก้ไขปัญหา เปลี่ยนแปลง สร้าง ปรับแต่ง เชื่อมโยง พัฒนา	สามารถทำตามขั้นตอนต่างๆได้อย่างชำนาญ จนมีความต่อเนื่อง จนสามารถพัฒนาหรือเชื่อมโยงขั้นตอนต่างๆเข้าด้วยกัน
Precision	Demonstrate, complete, show, perfect, calibrate, control	ทำได้อย่างสมบูรณ์ สามารถถ่ายทอด แสดง สาธิตได้ ควบคุม	สามารถทำตามขั้นตอนต่างๆได้อย่างสมบูรณ์ ถูกต้อง แม่นยำ มีการฝึกทำจนเกิดความชำนาญ
Manipulation	Re-create, build, perform, execute, implement	ปรับปรุง สร้าง พัฒนา จัดการ แปลผล ดำเนินการ	สามารถทำตามขั้นตอน หรือทำตามแบบที่วางไว้ได้ด้วยตนเอง
Imitation	Copy, follow, replicate, repeat, adhere	เลียนแบบ ทำตาม ทำซ้ำ ปฏิบัติตาม	มีความสามารถในการทำสิ่งต่างๆ โดยการเลียนแบบ

Dave (1975)

ภาคผนวก ฌ ตารางแสดงวิธีการจัดกระบวนการเรียนรู้ที่ก่อให้เกิดการพัฒนาผลลัพธ์การเรียนรู้ในแต่ละด้าน

รายวิชา	PLOs	YLOs	CLOs	กลยุทธ์การจัดการเรียนรู้ (กลยุทธ์การจัดการเรียนการสอน)	กลยุทธ์การวัดผลประเมินผล
AICS9101 วิทยาการคำนวณ (Computing Science)	1	1	- อธิบายแนวคิดพื้นฐานของการคำนวณและการใช้คอมพิวเตอร์ในการแก้ปัญหา -วิเคราะห์และออกแบบอัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพสำหรับการคำนวณ -พัฒนาโปรแกรมที่ใช้หลักการคำนวณเพื่อแก้ปัญหาเฉพาะทาง	-บรรยายเชิงลึก -การเรียนรู้ผ่านโครงงาน -การทดลองและฝึกปฏิบัติจริง -การอภิปรายกลุ่ม	-การสอบข้อเขียน -การให้คะแนนจากโครงงานและการนำเสนอ -การวิเคราะห์และแก้ปัญหาผ่านแบบฝึกหัด
AICS9102 การเขียนโปรแกรมและหลักการอัลกอริทึม (Programming Languages and Algorithm Concepts)	1	1	-อธิบายหลักการของภาษาการเขียนโปรแกรมและอัลกอริทึม -วิเคราะห์และออกแบบอัลกอริทึมที่เหมาะสมกับโจทย์ปัญหา -พัฒนาโค้ดโดยใช้ภาษาการเขียนโปรแกรมสมัยใหม่	-บรรยายเชิงลึก -การเรียนรู้ผ่านโครงงาน -การทดลองและฝึกปฏิบัติจริง -การอภิปรายกลุ่ม	-การสอบข้อเขียน -การให้คะแนนจากโครงงานและการนำเสนอ -การวิเคราะห์และแก้ปัญหาผ่านแบบฝึกหัด
AICS9103 รากฐานของปัญญาประดิษฐ์ (Foundations of Artificial Intelligence)	1	1	-อธิบายหลักการพื้นฐานของปัญญาประดิษฐ์ รวมถึงตัวแทนชาญฉลาด การแทนความรู้ และการค้นหา -วิเคราะห์และประยุกต์ใช้การเรียนรู้ของเครื่อง การวางแผน และการประมวลผลภาษาธรรมชาติในการแก้ปัญหาต่าง ๆ	-บรรยายเชิงลึก -การเรียนรู้ผ่านโครงงาน -การทดลองและฝึกปฏิบัติจริง -การอภิปรายกลุ่ม	-การสอบข้อเขียน -การให้คะแนนจากโครงงานและการนำเสนอ -การวิเคราะห์และแก้ปัญหาผ่านแบบฝึกหัด
สัมมนาด้านปัญญาประดิษฐ์	2,3	1	-วิเคราะห์และประเมินเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์และ	-การอภิปรายกลุ่มและ	-การประเมินการนำเสนอ

รายวิชา	PLOs	YLOs	CLOs	กลยุทธ์การจัดการเรียนรู้ (กลยุทธ์การจัดการเรียนการสอน)	กลยุทธ์การวัดผลประเมินผล
และวิทยาการคำนวณ Seminar on Artificial Intelligence and Computing Science			วิทยาการคำนวณในบริบทต่าง ๆ เช่น ธุรกิจ นวัตกรรม และการวิจัย. -นำเสนอแนวคิดเชิงสร้างสรรค์ผ่านกระบวนการสัมมนาอย่างมีประสิทธิภาพ พร้อมทั้งแสดงออกถึงคุณธรรม จริยธรรม และจรรยาบรรณของนักวิจัย.	สัมมนา -การเรียนรู้จากกรณีศึกษา -การบูรณาการจริยธรรมกับการปฏิบัติจริง	-การประเมินงานวิจัย -การประเมินบทความวิชาการ -การประเมินพฤติกรรมเชิงจริยธรรม
AICS9201 การเรียนรู้ของเครื่อง Machine Learning	1	1	-สร้างและประยุกต์ใช้การเรียนรู้ของเครื่องแบบมีผู้สอนด้วยเทคนิคต่าง ๆ เช่น การถดถอยเชิงเส้น โครงข่ายประสาทเทียม และซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชชีน. -สร้างและประยุกต์ใช้การเรียนรู้ของเครื่องแบบไม่มีผู้สอน เช่น การจัดกลุ่มโดยอาศัยระยะทาง และการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักในงานด้านต่าง ๆ	-บรรยายเชิงลึก -การเรียนรู้ผ่านโครงงาน -การทดลองและฝึกปฏิบัติจริง -การอภิปรายกลุ่ม	-การสอบข้อเขียน -การให้คะแนนจากโครงงานและการนำเสนอ -การวิเคราะห์และแก้ปัญหาผ่านแบบฝึกหัด
AICS9202 การเรียนรู้เชิงลึก Deep Learning	1	1	-สร้างและฝึกอบรมโครงข่ายประสาทเทียม รวมถึงโครงข่ายประสาทแบบแพร่ย้อนกลับ คอนโวลูชัน และโครงข่ายแบบเกิดซ้ำ. -อธิบายหลักการของข้อมูลขนาดใหญ่ และวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่สำหรับการเรียนรู้เชิงลึก.	-บรรยายเชิงลึก -การเรียนรู้ผ่านโครงงาน -การทดลองและฝึกปฏิบัติจริง -การอภิปรายกลุ่ม	-การสอบข้อเขียน -การให้คะแนนจากโครงงานและการนำเสนอ -การวิเคราะห์และแก้ปัญหาผ่านแบบฝึกหัด
AICS9203	1	1	-สร้างและฝึกอบรมโครงข่ายประสาทเทียม รวมถึง	-บรรยายเชิงลึก	-การสอบข้อเขียน

รายวิชา	PLOs	YLOs	CLOs	กลยุทธ์การจัดการเรียนรู้ (กลยุทธ์การจัดการเรียนการสอน)	กลยุทธ์การวัดผลประเมินผล
ปัญญาประดิษฐ์ในเทคโนโลยีอัจฉริยะ Artificial Intelligence in Smart Technology			โครงข่ายประสาทแบบแพร่ย้อนกลับ คอนโวลูชัน และโครงข่ายแบบเกิดซ้ำ. -อธิบายหลักการของข้อมูลขนาดใหญ่ และวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่สำหรับการเรียนรู้เชิงลึก.	-การเรียนรู้ผ่านโครงงาน -การทดลองและฝึกปฏิบัติจริง -การอภิปรายกลุ่ม	-การให้คะแนนจากโครงงานและการนำเสนอ -การวิเคราะห์และแก้ปัญหาผ่านแบบฝึกหัด
AICS9204 ปัญญาประดิษฐ์: การเข้าใจภาษา (Artificial Intelligence: Natural Language Understanding)	1	1	-พัฒนาปัญญาประดิษฐ์ในเทคโนโลยีอัจฉริยะ เช่น ระบบผู้เชี่ยวชาญ โครงข่ายประสาทเทียม และระบบควบคุมอัตโนมัติ. -วิเคราะห์และอภิปรายการใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการสร้างนวัตกรรม เช่น การแพทย์อัจฉริยะ เกษตรอัจฉริยะ และบ้านอัจฉริยะ.	-บรรยายเชิงลึก -การเรียนรู้ผ่านโครงงาน -การทดลองและฝึกปฏิบัติจริง -การอภิปรายกลุ่ม	-การสอบข้อเขียน -การให้คะแนนจากโครงงานและการนำเสนอ -การวิเคราะห์และแก้ปัญหาผ่านแบบฝึกหัด
AICS9205 เหมืองข้อมูล (Data Mining)	1	1	-สร้างเหมืองข้อมูลโดยใช้แนวคิดและเทคนิคการขุดข้อมูล เช่น การจัดกลุ่ม คลังข้อมูล และ OLAP. -วิเคราะห์และประยุกต์ใช้การทำเหมืองเว็บ การจำแนกและการคาดการณ์ข้อมูลในงานด้านต่าง ๆ.	-บรรยายเชิงลึก -การเรียนรู้ผ่านโครงงาน -การทดลองและฝึกปฏิบัติจริง -การอภิปรายกลุ่ม	-การสอบข้อเขียน -การให้คะแนนจากโครงงานและการนำเสนอ -การวิเคราะห์และแก้ปัญหาผ่านแบบฝึกหัด
AICS9206	1	1	-บูรณาการและอธิบายโซลูชัน Big Data ในมิติต่าง ๆ	-บรรยายเชิงลึก	-การสอบข้อเขียน

รายวิชา	PLOs	YLOs	CLOs	กลยุทธ์การจัดการเรียนรู้ (กลยุทธ์การจัดการเรียนการสอน)	กลยุทธ์การวัดผลประเมินผล
ข้อมูลขนาดใหญ่ Big Data			เช่น การรวบรวม จัดเก็บ และจัดการข้อมูล. -วิเคราะห์และเลือกใช้เทคโนโลยี เครื่องมือ และแพลตฟอร์มที่เหมาะสมสำหรับการประมวลผล Big Data.	-การเรียนรู้ผ่านโครงงาน -การทดลองและฝึกปฏิบัติจริง -การอภิปรายกลุ่ม	-การให้คะแนนจากโครงงานและการนำเสนอ -การวิเคราะห์และแก้ปัญหาผ่านแบบฝึกหัด
AICS9207 การวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ BigData Analysis	1	1	-บูรณาการการใช้เหมืองข้อมูลเพื่ออธิบายลักษณะและความสัมพันธ์ในข้อมูลขนาดใหญ่ -ใช้เครื่องมือและเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่	-บรรยายเชิงลึก -การเรียนรู้ผ่านโครงงาน -การทดลองและฝึกปฏิบัติจริง -การอภิปรายกลุ่ม	-การสอบข้อเขียน -การให้คะแนนจากโครงงานและการนำเสนอ -การวิเคราะห์และแก้ปัญหาผ่านแบบฝึกหัด
AICS9208 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ (Statistical Analysis)	1	1	-บูรณาการการใช้เทคนิคทางสถิติที่ครอบคลุมสถิติเชิงพรรณนา สถิติเชิงอนุมาน การวิเคราะห์ความสัมพันธ์และการถดถอย เทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูลหลายตัวแปรและวิธีการทางสถิติขั้นสูง -ประยุกต์ใช้ซอฟต์แวร์ทางสถิติและความรู้ทางสถิติร่วมกับศาสตร์อื่นเพื่อพัฒนานวัตกรรมหรือแก้ปัญหาวิจัยที่ซับซ้อนอย่างเป็นระบบ	-บรรยายเชิงลึก -การเรียนรู้ผ่านโครงงาน -การทดลองและฝึกปฏิบัติจริง -การอภิปรายกลุ่ม	-การสอบข้อเขียน -การให้คะแนนจากโครงงานและการนำเสนอ -การวิเคราะห์และแก้ปัญหาผ่านแบบฝึกหัด
AICS9209 การคำนวณเชิงสถิติสมัยใหม่	1	1	-บูรณาการการใช้เทคนิคการคำนวณเชิงสถิติที่ทันสมัยสำหรับการจัดการข้อมูลขนาดใหญ่และการคำนวณทาง	-บรรยายเชิงลึก -การเรียนรู้ผ่าน	-การสอบข้อเขียน -การให้คะแนนจากโครงงานและ

รายวิชา	PLOs	YLOs	CLOs	กลยุทธ์การจัดการเรียนรู้ (กลยุทธ์การจัดการเรียนการสอน)	กลยุทธ์การวัดผลประเมินผล
(Modern Statistical Computing)			สถิติที่มีประสิทธิภาพในบริบทของปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ -พัฒนาอัลกอริธึมทางสถิติผ่านเครื่องมือคำนวณเชิงตัวเลข เช่น R, Python และซอฟต์แวร์เฉพาะทาง เพื่อออกแบบและดำเนินการคำนวณทางสถิติที่ซับซ้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ	โครงงาน -การทดลองและฝึกปฏิบัติจริง -การอภิปรายกลุ่ม	การนำเสนอ -การวิเคราะห์และแก้ปัญหาผ่านแบบฝึกหัด
AICS9210 วิทยาศาสตร์เชิงคำนวณ Computational Science	1	1	-บูรณาการหลักการคำนวณทางคณิตศาสตร์ สถิติ และคอมพิวเตอร์ เพื่อสร้างอัลกอริธึมและเขียนโปรแกรมในการคำนวณ -ประยุกต์ใช้สถาปัตยกรรมคอมพิวเตอร์และการประมวลผลในการแก้ปัญหาผ่านการเขียนโปรแกรมได้อย่างชำนาญ	-บรรยายเชิงลึก -การเรียนรู้ผ่านโครงงาน -การทดลองและฝึกปฏิบัติจริง -การอภิปรายกลุ่ม	-การสอบข้อเขียน -การให้คะแนนจากโครงงานและการนำเสนอ -การวิเคราะห์และแก้ปัญหาผ่านแบบฝึกหัด
AICS9211 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Analysis)	1	1	-ร้างและวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) เช่น การกระจายตัวของปรากฏการณ์ การวิเคราะห์กลุ่ม (Clustering) และรูปแบบเชิงพื้นที่ -ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศในการสร้างแบบจำลองเชิงพื้นที่ (Spatial Modeling) และการวิเคราะห์ข้อมูลหลายตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่ รวมถึงการวิเคราะห์ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม (Remote Sensing)	-บรรยายเชิงลึก -การเรียนรู้ผ่านโครงงาน -การทดลองและฝึกปฏิบัติจริง -การอภิปรายกลุ่ม	-การสอบข้อเขียน -การให้คะแนนจากโครงงานและการนำเสนอ -การวิเคราะห์และแก้ปัญหาผ่านแบบฝึกหัด
AICS9212	1	1	-บูรณาการการใช้พีชคณิตเชิงเส้น, แคลคูลัส, สถิติและ	-บรรยายเชิงลึก	-การสอบข้อเขียน

รายวิชา	PLOs	YLOs	CLOs	กลยุทธ์การจัดการเรียนรู้ (กลยุทธ์การจัดการเรียนการสอน)	กลยุทธ์การวัดผลประเมินผล
คณิตศาสตร์สำหรับปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ (Mathematics for Artificial Intelligence and Computing Science)			ความน่าจะเป็น, ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข, การหาค่าที่เหมาะสมที่สุด และตรรกศาสตร์เชิงคำนวณในการพัฒนาอัลกอริธึมการเรียนรู้ของเครื่องและระบบเครือข่ายประสาทเทียม -ประยุกต์ใช้แนวคิดทางคณิตศาสตร์ในเทคนิคการคำนวณขั้นสูงต่าง ๆ และฝึกปฏิบัติผ่านการแก้ปัญหาจริงในอุตสาหกรรมและงานวิจัย	-การเรียนรู้ผ่านโครงงาน -การทดลองและฝึกปฏิบัติจริง -การอภิปรายกลุ่ม	-การให้คะแนนจากโครงงานและการนำเสนอ -การวิเคราะห์และแก้ปัญหาผ่านแบบฝึกหัด
AICS9213 การพัฒนาองค์กรด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ (Digital Transformation using Artificial Intelligence and Computing Science)	1	1	-สร้างกลยุทธ์ในการปรับเปลี่ยนองค์กรเข้าสู่ยุคดิจิทัลโดยนำเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) และวิทยาการคำนวณ (Computing) มาประยุกต์ใช้ในกระบวนการธุรกิจ -การวางแผนกลยุทธ์ดิจิทัล การประเมินผลกระทบของเทคโนโลยีที่มีต่อองค์กร และการสร้างนวัตกรรมเพื่อความยั่งยืนในยุคเศรษฐกิจดิจิทัล	-บรรยายเชิงลึก -การเรียนรู้ผ่านโครงงาน -การทดลองและฝึกปฏิบัติจริง -การอภิปรายกลุ่ม	-การสอบข้อเขียน -การให้คะแนนจากโครงงานและการนำเสนอ -การวิเคราะห์และแก้ปัญหาผ่านแบบฝึกหัด
AICS9214 หัวข้อพิเศษทางปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ (Special Topic on Artificial Intelligence and	1	1	-บูรณาการองค์ความรู้ทางด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณเพื่อแก้ไขปัญหาจากหัวข้อที่น่าสนใจในปัจจุบันในด้านวิทยาศาสตร์ วิศวกรรม ธุรกิจ หรือสุขภาพ -จัดทำรายงานและเสนอแนวทางการพัฒนางานวิจัยเกี่ยวกับหัวข้อที่เลือกศึกษาภายใต้คำแนะนำของอาจารย์	-บรรยายเชิงลึก -การเรียนรู้ผ่านโครงงาน -การทดลองและฝึกปฏิบัติจริง -การอภิปรายกลุ่ม	-การสอบข้อเขียน -การให้คะแนนจากโครงงานและการนำเสนอ -การวิเคราะห์และแก้ปัญหาผ่านแบบฝึกหัด

รายวิชา	PLOs	YLOs	CLOs	กลยุทธ์การจัดการเรียนรู้ (กลยุทธ์การจัดการเรียนการสอน)	กลยุทธ์การวัดผลประเมินผล
Computing Science)			ที่ปรึกษา		
AICS9301 สัมมนาด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ (Seminar in Artificial Intelligence and Computing Science)	2,3	1,2	-บูรณาการความรู้ในสาขาปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณ และนำเสนอแนวคิดเชิงสร้างสรรค์ในรูปแบบสัมมนา -ส่งเสริมการแสดงออกถึงสภาวะผู้นำในงานวิจัยและวิชาชีพโดยยึดมั่นในหลักคุณธรรม จริยธรรม และจรรยาบรรณที่เหมาะสมสำหรับนักวิจัย	-การอภิปรายกลุ่มและสัมมนา -การเรียนรู้จากกรณีศึกษา -การบูรณาการจริยธรรมกับการปฏิบัติจริง	-การประเมินการนำเสนอ -การประเมินงานวิจัย -การประเมินบทความวิชาการ -การประเมินพฤติกรรมเชิงจริยธรรม
AICS9302 สัมมนาด้านการใช้ปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณสำหรับงานด้านการศึกษา (Seminar in Artificial Intelligence and Computing Science for Education)	2,3	1,2	-บูรณาการความรู้ในสาขาปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณในบริบทด้านการศึกษา และนำเสนอแนวคิดเชิงสร้างสรรค์ในรูปแบบสัมมนา -ส่งเสริมการแสดงออกถึงสภาวะผู้นำในงานวิจัยและวิชาชีพโดยยึดมั่นในหลักคุณธรรม จริยธรรม และจรรยาบรรณที่เหมาะสมสำหรับนักวิจัย	-การอภิปรายกลุ่มและสัมมนา -การเรียนรู้จากกรณีศึกษา -การบูรณาการจริยธรรมกับการปฏิบัติจริง	-การประเมินการนำเสนอ -การประเมินงานวิจัย -การประเมินบทความวิชาการ -การประเมินพฤติกรรมเชิงจริยธรรม
AICS9303 สัมมนาด้านการใช้ปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณสำหรับงาน	2,3	1,2	-บูรณาการความรู้ในสาขาปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณในบริบทด้านวิทยาศาสตร์และสาธารณสุขศาสตร์ และนำเสนอแนวคิดเชิงสร้างสรรค์ในรูปแบบสัมมนา -ส่งเสริมการแสดงออกถึงสภาวะผู้นำในงานวิจัยและ	-การอภิปรายกลุ่มและสัมมนา -การเรียนรู้จากกรณีศึกษา	-การประเมินการนำเสนอ -การประเมินงานวิจัย -การประเมินบทความวิชาการ -การประเมินพฤติกรรมเชิง

รายวิชา	PLOs	YLOs	CLOs	กลยุทธ์การจัดการเรียนรู้ (กลยุทธ์การจัดการเรียนการสอน)	กลยุทธ์การวัดผลประเมินผล
ด้านวิทยาศาสตร์และสาธารณสุขศาสตร์ (Seminar in Artificial Intelligence and Computing Science for Science and Health Care)			วิชาชีพโดยยึดมั่นในหลักคุณธรรม จริยธรรม และจรรยาบรรณที่เหมาะสมสำหรับนักวิจัย	-การบูรณาการจริยธรรมกับการปฏิบัติจริง	จริยธรรม
AICS9304 สัมมนาด้านการใช้ปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณสำหรับงานด้านสังคม ธุรกิจ การเกษตร และสิ่งแวดล้อม (Seminar in Artificial Intelligence and Computing Science for Social Sience, Bussiness, Agriculture and Environmental Subject)	2,3	1,2	-บูรณาการความรู้ในสาขาปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการคำนวณในบริบทด้านสังคม ธุรกิจ การเกษตร และสิ่งแวดล้อม และนำเสนอแนวคิดเชิงสร้างสรรค์ในรูปแบบสัมมนา -ส่งเสริมการแสดงออกถึงสภาวะผู้นำในงานวิจัยและวิชาชีพโดยยึดมั่นในหลักคุณธรรม จริยธรรม และจรรยาบรรณที่เหมาะสมสำหรับนักวิจัย	-การอภิปรายกลุ่มและสัมมนา -การเรียนรู้จากกรณีศึกษา -การบูรณาการจริยธรรมกับการปฏิบัติจริง	-การประเมินการนำเสนอ -การประเมินงานวิจัย -การประเมินบทความวิชาการ -การประเมินพฤติกรรมเชิงจริยธรรม

รายวิชา	PLOs	YLOs	CLOs	กลยุทธ์การจัดการเรียนรู้ (กลยุทธ์การจัดการเรียนการสอน)	กลยุทธ์การวัดผลประเมินผล
AICS9401 ดุษฎีนิพนธ์ 1.1 (Dissertation)	1,2,3,	1,2,3	-อธิบายกรอบแนวคิดและองค์ประกอบของวิทยานิพนธ์ รวมถึงหลักการค้นคว้าและทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้อย่างเป็นระบบ -กำหนดประเด็นโจทย์หรือหัวข้อวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งพัฒนาเอกสารแสดงความคิดรวบยอดเกี่ยวกับวิทยานิพนธ์และสังเคราะห์เอกสารที่เกี่ยวข้องได้อย่างมีเหตุผลและเป็นระบบ -ออกแบบและพัฒนาเครื่องมือและวิธีการวิจัย ที่เหมาะสมกับโจทย์วิจัย รวมถึงจัดทำโครงร่างวิทยานิพนธ์เพื่อนำเสนอต่อคณะกรรมการได้ -ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล และวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการวิจัยโดยใช้วิธีการที่ถูกต้องตามหลักวิชาการ -รายงานความก้าวหน้าวิทยานิพนธ์ต่ออาจารย์ที่ปรึกษา พร้อมทั้งได้รับคำแนะนำและปรับปรุงการดำเนินงานวิจัยได้อย่างต่อเนื่อง -จัดทำวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งเรียบเรียงผลการวิจัยในรูปแบบบทความวิชาการที่สามารถตีพิมพ์เผยแพร่ตามเกณฑ์สำเร็จการศึกษาได้ -ปฏิบัติตนตามจรรยาบรรณทางวิชาการและจริยธรรมในการวิจัย รวมถึงสามารถนำองค์ความรู้หรือผลการวิจัยไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อสังคมได้	-การเรียนรู้จากกรณีศึกษา -การเรียนรู้ผ่านการวิจัย -การกระตุ้นความคิดสร้างสรรค์ - การทำงานกลุ่มแบบข้ามสาขา -การฝึกสื่อสารวิชาการ -การเรียนรู้เชิงจริยธรรม	-การประเมินการนำเสนอ -การประเมินการทำงานกลุ่ม -การประเมินงานวิจัย -การประเมินบทความวิชาการ -การประเมินพฤติกรรมเชิงจริยธรรม

รายวิชา	PLOs	YLOs	CLOs	กลยุทธ์การจัดการเรียนรู้ (กลยุทธ์การจัดการเรียนการสอน)	กลยุทธ์การวัดผลประเมินผล
AICS9402 ดุษฎีนิพนธ์ 2.1 (Dissertation)	1,2,3	1,2,3	-อธิบายกรอบแนวคิดและองค์ประกอบของวิทยานิพนธ์ รวมถึงหลักการค้นคว้าและทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้อย่างเป็นระบบ -กำหนดประเด็นโจทย์หรือหัวข้อวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งพัฒนาเอกสารแสดงความคิดรวบยอดเกี่ยวกับวิทยานิพนธ์และสังเคราะห์เอกสารที่เกี่ยวข้องได้อย่างมีเหตุผลและเป็นระบบ -ออกแบบและพัฒนาเครื่องมือและวิธีการวิจัย ที่เหมาะสมกับโจทย์วิจัย รวมถึงจัดทำโครงร่างวิทยานิพนธ์เพื่อนำเสนอต่อคณะกรรมการได้ -ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล และวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการวิจัยโดยใช้วิธีการที่ถูกต้องตามหลักวิชาการ -รายงานความก้าวหน้าวิทยานิพนธ์ต่ออาจารย์ที่ปรึกษา พร้อมทั้งได้รับคำแนะนำและปรับปรุงการดำเนินงานวิจัยได้อย่างต่อเนื่อง -จัดทำวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งเรียบเรียงผลการวิจัยในรูปแบบบทความวิชาการที่สามารถตีพิมพ์เผยแพร่ตามเกณฑ์สำเร็จการศึกษาได้ -ปฏิบัติตนตามจรรยาบรรณทางวิชาการและจริยธรรมในการวิจัย รวมถึงสามารถนำองค์ความรู้หรือผลการวิจัยไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อสังคมได้	-การเรียนรู้จากกรณีศึกษา -การเรียนรู้ผ่านการวิจัย -การกระตุ้นความคิดสร้างสรรค์ -การทำงานกลุ่มแบบข้ามสาขา -การฝึกสื่อสารวิชาการ -การเรียนรู้เชิงจริยธรรม	-การประเมินการนำเสนอ -การประเมินการทำงานกลุ่ม -การประเมินงานวิจัย -การประเมินบทความวิชาการ -การประเมินพฤติกรรมเชิงจริยธรรม

ภาคผนวก ญ สำเนาผลงานวิชาการตีพิมพ์เผยแพร่ของอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตรอาจารย์ประจำหลักสูตร

ที่	ชื่อ-สกุล	ผู้รับผิดชอบหลักสูตร/ประจำหลักสูตร/ผู้สอน	ตัวอย่างงานวิจัย (ตามเลขหน้าที่แสดง)		
			ชิ้นที่ 1	ชิ้นที่ 2	ชิ้นที่ 3
1	รองศาสตราจารย์ ดร.ฟ้ารุ่ง สุรินา บุญทิศ	ผู้รับผิดชอบหลักสูตร	211-217	218-227	228-242
2	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนายุทธ ช่างเรือนงาม		243-254	255-264	218-227
3	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จำรัส กลิ่นหนู		276-284	243-254	265-275
4	อาจารย์ ดร.สุรัสวดี นางแล	อาจารย์ประจำหลักสูตร	243-254	228-242	255-264
5	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธัญวรัชญ์ บุตรสาร		285-290	255-264	291-298
6	อาจารย์ ดร.ศิวรี สุดสนิท		255-264	299-311	228-242
7	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนาวุฒิ ธนวาณิชย์		312-317	318-326	327-330
8	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภูมิพงษ์ ดวงตั้ง		312-317	318-326	331-346
9	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สำราญ ไชยคำวัง		347-352	353-359	360-371
10	รองศาสตราจารย์ ดร.มีชัย เทพนุรัตน์		372-388	389-395	396-407
11	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วลีพรรณ รกิติกุล	อาจารย์ผู้สอน	408-414		
12	อาจารย์ ดร.อรวรรณ วรรณชีวิน		415-425		
13	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คมกริช แก้วพนัส		389-395		
14	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทิพวรรณ ประเสริฐสินธุ์		426-435		
15	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวรรณ นันโท		436-447		
16	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติชัย จันธิมา		448-460		
17	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤตวิชญ์ สุขอึ้ง		448-460		
18	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สฤทธิ์พร วิทยผดุง		448-460		
19	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษฎิ์พงศ์ ภาษิตวิไลธรรม		389-395		
20	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิกรม บุญนุ่น		461-473		
21	รองศาสตราจารย์ ดร.ศรชัย มุ่งไธสง		474-487		
22	ศาสตราจารย์ ดร.สุเทพ สวนใต้	อาจารย์พิเศษ	488-504		

Home | New Volume Alerts | Create Account | View Cart

Astronomical Society *of the* Pacific
Conference Series

e-Books | Subscriptions | Publishing | Customer Service | Links | Search | Login

Back to Volume

Paper: Galactic Novae in the GOTO Database

Volume: 536, *The Twelfth Pacific Rim Conference on Stellar Astrophysics*

Page: 35

Authors: Khamrat, S.; Noysena, K.; Surina, F.; Ackley, K.; Dyer, M. J.; Jimenez-Ibarra, F.; Lyman, J.; Ulaczyk, K.; Steeghs, D.; Galloway, D. K.; Dhillon, V. S.; O'Brien, P.; Ramsay, G.; Kotak, R.; Breton, R. P.; Nuttall, L. K.; Pall'e, E.; Pollacco, D.; Killestein, T.; Kumar, A.; O'Neill, D.

Abstract: Light curves of three galactic classical novae, KT Eri, V1405 Cas, and V1674 Her are presented. They include data from the Gravitational-wave Optical Transient Observer (GOTO) project, which was collected and reduced via CHALAWAN-NARIT cluster. These data were compared to those obtained from other surveys including the AAVSO, ZTF, and ASAS-SN. Pre-nova light curves were detected. We find the quiescent mag V = 15.2±0.2 and 19.5±0.5 for V1405 Cas and V1674 Her respectively. GOTO, with its all-sky capability and reach of 21 mag, gives it excellent potential to make discoveries in fields including galactic nova studies.

View Article Download Article

Back to Volume

Astronomical Society of the Pacific
Conference Series

© Copyright 1988 - 2025 - Astronomical Society of the Pacific
No part of the material protected by this copyright may be reproduced or used in any form other than for personal use without written permission from the ASP.

Page generated in 0.075 seconds

The Twelfth Pacific Rim Conference on Stellar Astrophysics
ASP Conference Series, Vol. 536
Hee-Won Lee, Seok-Jun Chang, and Kam-Ching Leung, eds.
© 2024 Astronomical Society of the Pacific

Galactic Novae in the GOTO Database

S. Khamrat,[1] K. Noysena,[2] F. Surina,[3*] K. Ackley,[4] M. J. Dyer,[5]
F. Jiménez-Ibarra,[6] J. Lyman,[4] K. Ulaczyk,[4] D. Steeghs,[4] D. K. Galloway,[6]
V. S. Dhillon,[5,12] P. O'Brien,[7] G. Ramsay,[8] R. Kotak,[9] R. P. Breton,[10]
L. K. Nuttall,[11] E. Pall'e,[12] D. Pollacco,[4] T. Killestein,[4] A. Kumar,[4] and
D. O'Neill[4]

[1]*Princess Chulabhorn Science High School Chiang Rai, Chiangrai, Thailand*

[2]*National Astronomical Research Institute of Thailand, Chiangmai, Thailand*

[3]*Chiang Rai Rajabhat University, Chiangrai, Thailand;* sc_farung@crru.ac.th

[4]*Warwick University, Warwick, UK*

[5]*University of Sheffield, Sheffield, UK*

[6]*Monash University, Melbourne, Australia*

[7]*University of Leicester, Leicester, UK*

[8]*Armagh Observatory & Planetarium, Armagh, Northern Ireland, UK*

[9]*University of Turku, Turku, Finland*

[10]*University of Manchester, Manchester, UK*

[11]*University of Portsmouth, Portsmouth, UK*

[12]*Instituto de Astrofisica de Canarias, Tenerife, Spain*

Abstract. Light curves of three galactic classical novae, KT Eri, V1405 Cas, andV1674 Her are presented. They include data from the Gravitational-wave Optical Transient Observer (GOTO) project, which was collected and reduced via CHALAWAN-NARIT cluster. These data were compared to those obtained from other surveys including the AAVSO, ZTF, and ASAS-SN. Pre-nova light curves were detected. We find the quiescent mag V = 15.2±0.2 and 19.5±0.5 for V1405 Cas and V1674 Her respectively. GOTO, with its all-sky capability and reach of 21 mag, gives it excellent potential to make discoveries in fields including galactic nova studies.

1. Introduction

The Gravitational-Wave Optical Transient Observer[1] (GOTO) is a wide-field network of telescopes that has all-sky coverage and is dedicated to sampling the entire visible sky at high cadence. The principal objective of the project is to identify and investi-

[1]https://goto-observatory.org

gate electromagnetic counterparts associated with gravitational-wave detections from the Advanced LIGO and Virgo detectors (Ackley & Galloway 2020). However, GOTO is able to provide real-time data for many other transients, including accreting binaries in our galaxy, e.g., (Duffy et al. 2021), but also in M31, e.g., (Galloway et al. 2020). It is also able to provide data for the study of variables of all kinds using data in the photometric database. NARIT is the only Asian consortium member of GOTO and has identified that the development of the project pipelines and database could be learned and practiced in both high schools and universities in Thailand. In cooperation with colleagues in Chiang Rai, the GOTO observations of novae KT Eri, V1405 Cas, and V167 Her are here reported for the first time and compared to those observed by AAVSO, ZTF, and ASAS-SN.

2. Data Acquisition

The targets in this study are KT Eri (α = $04^h47^m54^s.2$, δ = -10° 10'43".0), V1405 Cas (α = $23^h24^m47^s.7$, δ = +61°11'14".8), and V1674 Her (α = $18^h57^m31^s.0$, δ = +16°53'39".6). The data were accumulated from the AAVSO International Database,[2] ZTF[3] (Bellm et al. 2019), and ASAS-SN[4] (Hart et al. 2023; Shappee et al. 2014). Data flagged as 'bad' were removed from the analysis.

GOTO data (Steeghs et al. 2022) were retrieved and reduced by using a programmatic scripted (Noysena et al. 2019) access with a Python JupyterLab via the Chalawan HPC Lab. The archives from 2017 to November 2023 (JD = 2460278) were sought for detections of the targets. Aperture photometry was carried out with three non-variable comparison stars in each frame for each target. Bad data and those with observation errors > 0.1 magnitude were excluded. Since the broad GOTO's L band observation (wavelength range ~4000-6800 Å), covering Sloan g', r', and Johnson V has mid wavelength corresponding to Johnson V (Steeghs et al. 2022), the GOTO observations of the three novae were presented in V magnitude for the first time (as shown in Table 1).

3. Results and Discussion

The GOTO photometric observations of the targets were presented in Table 1. Data points with an error >0.1 magnitude (<10% for KT Eri and V1405 Cas and 27% for V1674 Her data) were not presented. That could be because the KT Eri and V1405 Cas are much brighter than V1674 Her.

Figure 1 shows multi-wavelength light curves of the nova KT Eri, which erupted in 2009. The light curves were made with information from the Solar Mass Ejection Imager (SMEI) Hounsell et al. (2016), AAVSO, ZTF DR19, and the GOTO archive (this paper). A changing light curve indicates that KT Eri was in the post-nova phase when GOTO first recorded it. This curve agreed well with what AAVSO (V band) and ZTF (g band) found, as shown in the small panel in Figure 1. It is shown that GOTO

[2]Available at `https://www.aavso.org/data-download`

[3]Available at `https://irsa.ipac.caltech.edu/cgi-bin/Gator/nph-scan?projshort`

[4]Available at `http://asas-sn.ifa.hawaii.edu/skypatrol/`

Table 1. GOTO photometric observations of KT Eri, V1405 Cas, and V1674 Her

JD	*V*	JD	*V*	JD	*V*	JD	*V*
KT Eri		2459050.53367	15.14±0.02	2459052.54535	14.89±0.02	2458819.35485	15.11±0.02
2458818.43812	15.19±0.02	2459050.53480	15.14±0.02	2459052.54658	14.88±0.02	2458819.35563	15.10±0.02
2458818.43889	15.18±0.02	2459050.53605	15.11±0.02	2459052.54780	15.09±0.02	2458819.35651	15.06±0.02
2458818.43977	15.20±0.02	2459050.53728	15.12±0.02	2459052.54780	14.88±0.02	2458819.35766	15.15±0.02
2458831.40430	15.1±0.1	2458612.69590	15.11±0.02	2459093.47076	15.09±0.05	2458819.35845	15.14±0.02
2458831.40509	15.1±0.1	2458612.69666	15.08±0.02	2459093.47190	15.07±0.05	2458819.35932	15.11±0.02
2458831.40596	15.1±0.1	2458612.69748	15.10±0.02	2459093.47311	15.05±0.05	2458818.34240	15.15±0.02
2458852.34553	15.31±0.03	2458614.70695	15.16±0.02	2459093.47434	15.04±0.05	2458818.34318	15.12±0.02
2458852.34631	15.35±0.03	2458614.70775	15.17±0.02	2459092.37858	15.17±0.07	2458818.34406	15.09±0.02
2458852.34720	15.40±0.03	2458614.70855	15.15±0.02	2459092.37970	15.13±0.06	2458818.34887	15.14±0.02
2458846.36221	15.33±0.02	2458652.57446	15.15±0.08	2459092.38092	15.12±0.06	2458818.34965	15.12±0.02
2458846.36299	15.32±0.02	2458652.57522	15.20±0.08	2459092.38217	15.23±0.07	2458818.35056	15.15±0.02
2458846.36387	15.32±0.02	2458652.57606	15.09±0.07	2459113.45826	15.13±0.02	V1674 Her	
2458855.44978	15.6±0.1	2458655.54872	15.07±0.04	2459113.45938	15.18±0.02	2458610.60781	20.25±0.06
2458856.39846	15.2±0.1	2458655.54948	15.09±0.04	2459113.46060	15.21±0.02	2458610.60857	20.14±0.06
2458855.45056	15.5±0.1	2458655.55035	15.07±0.04	2459113.46182	15.13±0.02	2458610.60947	20.48±0.08
2458856.39924	15.24±0.09	2458625.65898	15.12±0.05	2459092.55057	14.90±0.04	2458615.65606	20.58±0.08
2458856.40013	15.23±0.10	2458625.65979	15.14±0.05	2459092.55170	14.90±0.04	2458615.65687	20.58±0.08
2458709.72153	15.22±0.03	2458625.66062	15.13±0.05	2459092.55295	14.88±0.04	2458615.65772	20.55±0.08
2458709.72229	15.24±0.03	2458641.60594	15.15±0.02	2459092.55417	14.93±0.04	2458615.65848	20.45±0.07
2458709.72318	15.23±0.03	2458641.61262	15.15±0.02	2459093.39849	15.02±0.06	2458615.65939	20.22±0.06
2459082.73627	14.86±0.02	2458641.61339	15.18±0.02	2459093.39962	15.02±0.05	2458615.65848	20.45±0.07
2459082.73739	14.86±0.02	2458641.61428	15.18±0.02	2459093.40084	15.10±0.06	2458641.53733	20.52±0.09
2459082.73862	14.90±0.03	2458657.56478	15.11±0.03	2459093.40206	15.04±0.05	2458641.53808	20.49±0.09
2459082.73984	14.88±0.03	2458657.56554	15.10±0.03	2458715.50572	15.20±0.05	2458641.53897	20.38±0.08
2459106.66230	14.53±0.02	2458657.56637	15.15±0.03	2458715.50653	15.33±0.06	2458641.53897	20.38±0.08
2459106.66343	14.52±0.02	2458638.62347	15.22±0.02	2458715.50732	15.25±0.05	2458641.53808	20.49±0.09
2459106.66465	14.51±0.02	2458638.62423	15.22±0.02	2458714.51152	15.19±0.05	2458641.53733	20.52±0.09
2459106.66588	14.52±0.02	2458638.62511	15.24±0.02	2458714.51233	15.15±0.05	2458658.54706	20.4±0.1
2458728.71223	15.59±0.02	2458645.57766	15.19±0.02	2458714.51317	15.12±0.05	2458658.54795	20.4±0.1
2458728.71302	15.57±0.02	2458645.57925	15.21±0.03	2458738.52806	15.3±0.1	2458658.54795	20.4±0.1
2458728.71383	15.57±0.02	2458645.57841	15.22±0.02	2458738.52887	15.4±0.1	2458692.39141	20.41±0.08
2458722.68294	15.40±0.02	2458645.59788	15.17±0.02	2458738.52965	15.4±0.1	2458692.39216	20.24±0.07
2458722.68374	15.38±0.02	2458645.59863	15.15±0.02	2458745.56490	15.09±0.03	2458692.39303	20.44±0.08
2458722.68458	15.41±0.02	2458645.59951	15.15±0.02	2458745.56570	15.09±0.03	2458693.39083	20.43±0.08
2458729.71757	15.58±0.02	2458678.50738	15.06±0.06	2458745.56654	15.13±0.03	2458693.39159	20.47±0.08
2458729.71837	15.57±0.02	2458678.50814	15.11±0.07	2458759.51232	15.15±0.02	2458693.39248	20.47±0.08
2458729.71914	15.57±0.02	2458678.50896	15.12±0.07	2458759.51313	15.14±0.02	2458702.48791	20.39±0.09
2458715.71384	15.33±0.08	2458676.49407	15.15±0.04	2458759.51398	15.14±0.02	2458702.48951	20.20±0.07
2458715.71465	15.41±0.09	2458676.49332	15.10±0.04	2458759.51771	15.15±0.02	2458702.48867	20.10±0.07
2458715.71544	15.40±0.09	2458676.49490	15.09±0.04	2458759.51847	15.12±0.02	2458702.48867	20.10±0.07
2458731.67165	15.60±0.02	2458628.67346	15.06±0.03	2458759.51936	15.11±0.02	2459056.52584	19.5±0.1
2458731.67245	15.58±0.03	2458628.67428	15.09±0.03	2458758.62025	15.20±0.02	2459056.52698	19.6±0.1
2458731.67330	15.56±0.02	2458628.67270	15.07±0.03	2458758.62100	15.23±0.02	2459056.52821	19.5±0.1
2458749.62713	15.69±0.03	2458629.65553	15.16±0.02	2458758.62184	15.20±0.02	2459056.52945	19.50±0.09
2458749.62794	15.66±0.03	2458629.65633	15.14±0.02	2458758.62289	15.25±0.02	2459057.50173	20.13±0.09
2458749.62878	15.67±0.03	2458629.65711	15.11±0.02	2458758.62365	15.24±0.02	2459057.50286	20.19±0.09
2458768.57628	15.6±0.1	2458693.51736	15.24±0.02	2458758.62453	15.22±0.02	2459057.50409	20.33±0.10
2458768.57703	15.8±0.1	2458693.51817	15.26±0.02	2458768.50201	15.18±0.06	2459057.50531	20.15±0.08
2458768.57785	15.7±0.1	2458693.51899	15.28±0.02	2458768.50282	15.17±0.06	2458721.44335	20.69±0.10
2458763.58830	15.61±0.02	2458693.51999	15.37±0.02	2458768.50361	15.14±0.06	2458721.44335	20.69±0.10
2458763.58906	15.61±0.02	2458693.52075	15.27±0.02	2458769.48616	15.06±0.06	2458721.44411	20.46±0.08
2458763.58987	15.56±0.02	2458693.52157	15.31±0.02	2458769.48696	15.16±0.06	2458721.44499	20.66±0.10
2458776.55485	15.67±0.06	2458631.69154	15.10±0.02	2458769.48778	15.10±0.06	2458750.43060	20.07±0.07
2458776.55561	15.59±0.05	2458631.69229	15.12±0.02	2458811.36611	15.16±0.02	2458750.43135	20.34±0.08
2458776.55643	15.64±0.06	2458631.69318	15.12±0.02	2458811.36689	15.17±0.02	2458750.43223	19.93±0.06
V1405 Cas		2459052.54421	15.10±0.02	2458811.36778	15.17±0.02	2458774.39238	20.0±0.1
2458603.72078	15.14±0.02	2459052.54421	14.90±0.02	2458811.37206	15.12±0.02	2458774.39313	20.2±0.1
2458603.71920	15.16±0.02	2459052.54535	15.06±0.02	2458811.37283	15.16±0.02	2458774.39396	19.9±0.1
2458603.72000	15.13±0.02	2459052.54658	15.10±0.02	2458811.37372	15.15±0.02		

can help fill some gaps among other surveys, especially during phases with light curve variation.

Figure 2 shows multi-wavelength light curves of the brightest nova in 2021, V1405 Cas (Nova Cas 2021). During the nova's initial rise phase, Yuji Nakamura found it at 9.6 mag (unfiltered) on 2021-03-18.4236 UT (JD 2459291.9236).[5] However, the same observer reported the earliest pre-discovery detection at *sim* 13.5 magnitude in Taguchi et al. (2023). In this paper, we propose the pre-nova light curve with a quiescent magnitude of V=15.2±0.2 for the first time. Figure 2 shows multi-wavelength light curves of the brightest nova in 2021, V1405 Cas (Nova Cas 2021). During the nova's initial

[5] `http://cbat.eps.harvard.edu/unconf/followups/J23244760+6111140.html`.

rise phase, Yuji Nakamura found it at 9.6 mag (unfiltered) on 2021-03-18.4236 UT (JD 2459291.9236).[6] However, the same observer reported the earliest pre-discovery detection at *sim* 13.5 magnitude in Taguchi et al. (2023). In this paper, we propose the pre-nova light curve with a quiescent magnitude of V=15.2±0.2 for the first time.

Figure 3 shows multi-wavelength light curves of the fastest nova ever recorded, V1674 Her (Nova Her 2021), which declined by two mag in just 1.1 days (Sokolovsky et al. 2023). It was discovered by Seiji Ueda on June 12, 2021 (JD 2459378.05) (Habtie et al. 2024). No data from either ZTF or ASAS-SN was detected within 1′ radius of the given nova position. We estimate that the mag at quiescence of V1674 Her should be V ~19.5±0.5, however, very close to the limiting magnitude.

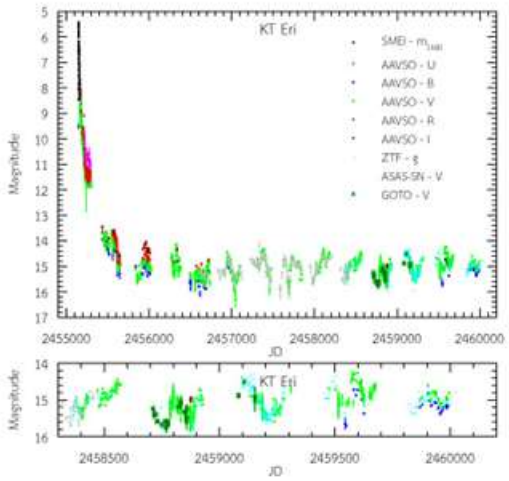


Figure 1. Light curves of the KT Eri eruption from 2009 to present (November 2023) were detected by SMEI (black stars), AAVSO in UBVRI (dots in purple, blue, green, red, and dark red, respectively), ZTF DR19 (cyan horizon dashes), and GOTO (crosses). The most recent observations were enlarged and presented in the lower panel.

4. Conclusion

With the growing number of wide-field surveys, the scope for discovering and characterizing the Galactic variable star population is at a golden age. In particular, the rapid discovery of new novae can lead to observations including high-resolution spectroscopy, and photometry made over the decline phase can give insight into how material released in the nova eruption interacts with the surrounding medium. GOTO, with its all-sky capability and limiting mag of ~21 mag, is ideally suited to make many

[6] http://cbat.eps.harvard.edu/unconf/followups/J23244760+6111140.html.

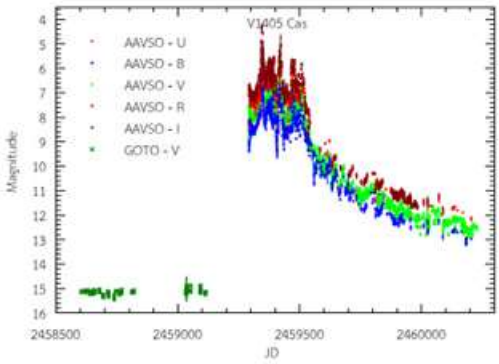


Figure 2. Light curves of the V1405 Cas eruption in March 2021 to present (November 2023) detected by AAVSO in *UBVRI* (dots in purple, blue, green, red, and dark red, respectively).

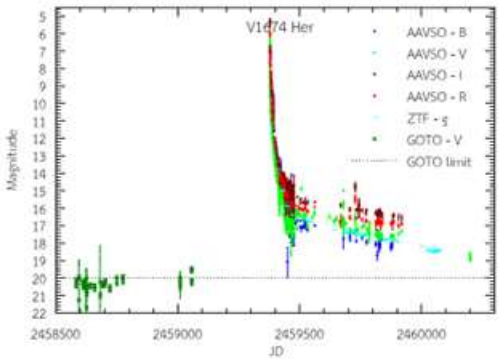


Figure 3. Light curves of V1674 Her eruption in June 2021 to present (November 2023) detected by AAVSO in *UBVRI* (dots in purple, blue, green, red, and dark red, respectively).

discoveries in the field of nova studies, especially those with low outburst amplitude that might help to distinguish recurrent novae from classical novae suggested in Surina, Bode and Darnley (2015).

Acknowledgments. We express our gratitude to the observers from all over the world who contributed variable star observations to the AAVSO International Database for use in this study. GOTO is principally funded by the STFC and operated at the Roque de los Muchachos Observatory on La Palma, Spain, and Siding Spring Observatory in NSW, Australia, on behalf of a consortium including the University of Warwick, Monash University, Armagh Observatory & Planetarium, the University of

Leicester, the University of Sheffield, the National Astronomical Research Institute of Thailand (NARIT), the University of Turku, the University of Portsmouth, the University of Manchester, and the Instituto de Astrofisica de Canarias (IAC). We also grateful for the data based on observations obtained with the Samuel Oschin Telescope 48-inch and the 60-inch Telescope at the Palomar Observatory as part of the Zwicky Transient Facility project (ZTF) supported by the National Science Foundation under Grants No. AST-1440341 and AST-2034437 and a collaboration including current partners Caltech, IPAC, the Weizmann Institute for Science, the Oskar Klein Center at Stockholm University, the University of Maryland, Deutsches Elektronen-Synchrotron and Humboldt University, the TANGO Consortium of Taiwan, the University of Wisconsin at Milwaukee, Trinity College Dublin, Lawrence Livermore National Laboratories, IN2P3, University of Warwick, Ruhr University Bochum, Northwestern University and former partners the University of Washington, Los Alamos National Laboratories, and Lawrence Berkeley National Laboratories. Operations are conducted by the COO, IPAC, and UW.

References

Ackley, K. and Galloway, D. 2020, BAAS, 52 (1), 23537906
Bellm, E. C., et al. 2019, PASP, 131, 01800
Duffy, C. et al. 2021, MNRAS, 502, 4953
Galloway, D. K. et al. 2020, ATel, 14141
Habtie, G. R., et al. 2024, MNRAS, 527, 1405
Hart, K., et al. 2023, arXiv:2304.03791
Hounsell, R., et al. 2016, ApJ, 820, 104
Masci, F. J., Laher, R. R., Rusholme, B., et al. 2018, PASP, 131, 995
Noysena, K., et al. 2019, ApJ, 886, 73
Shappee, B.J., et al. 2014, ApJ, 788, 48
Sokolovsky, K.V., et al. 2023, MNRAS, 521, 5453
Steeghs, D., et al. 2022, MNRAS, 511, 2405
Surina, F., Bode, M.F. and Darnley, M.J. 2015, PKAS, 30, 237
Taguchi, K., et al. 2023, ApJ, 958, 156

The first dark sky map of Chiang Rai : three decades of change affecting Astro-tourism

T Changruenngam[1], D Deetha[2], C Sukkai[2], P Youyuenyong[3], N Sarotsakulchai[4] and F Surina[1]*

[1]Faculty of Science and Technology, Chiang Rai Rajabhat University, Chiang Rai, 57100, Thailand
[2]Faculty of Tourism and Hotel, Chiang Rai Rajabhat University, 80 Moo 9, Bandu,Muang, Chiang Rai, 57100, Thailand
[3]Faculty of Law, Chiang Mai University, 239 Huay Kaew Road, Muang District, Chiang Mai, 50200, Thailand
[4]National Astronomical Research Institute of Thailand, 260 Moo 4, Donkaew, Maerim, Chiangmai, 50180, Thailand

E-mail: sc_farung@crru.ac.th

Abstract. We present the first Chiang Rai dark sky map, measurements of the calibrated zenith artificial night sky brightness at sea level, which covers data since 1992–2021. The Data were collected from two US satellites including the Defense Meteorological Satellite Program with the Operational Line Scan System (DMSP-OLS) and the Suomi National Polar-orbiting Partnership with the Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (NPP-VIIRS). Images containing ratios of artificial light to natural light were originally excluded from sunlight, solar glare, moon light, lunar illuminance, lightning features from the aurora, clouds, fires and background noise. Based on the correlation between data from the overlapped year 2013, the result showed the great matching relationship between DMSP-OLS and NPP-VIIRS data (R^2 = 0.92) which revealed the mathematical model was feasible and reliable. The number of dark sky areas over Chiang Rai in the past 3 decades was classified in 8 classes based on the sky brightness in Bortle scale colour code and in magnitude : 1. Excellent dark sky sites (>21.9 mag, black), 2. Dark sky (21.9-21.5 mag, grey), 3. Rural sky (21.5-21.3 mag, blue), 4. Suburban/Rural transition sky (21.3-20.1 mag, green), 5. Suburban sky (20.1-19.1 mag, yellow), 6. Bright suburban sky (19.1-19.5 mag, orange), 7. City/suburban transition sky (19.5-18.0 mag, red)and 8. City sky (<18.0 mag, white). It was found that 14% of area in Chiang Rai are covering by the bright sky with Bortle class 7 and 8. Within this only 14% of area dwell more than 33% of population that have now already lost naked eye visibility of the Milky Way. In addition, a risk assessment model for dark sky conservation revealed that dark sky area are dramatically becoming extinction. It was suggested that Chiang Rai will not have an area suitable for stargazing by 2040 if there is no designated area for conservation. Our map could ultimately encourage land owners of such dark sky sites to register their properties in the IAU dark sky reserve database to elevate Astro-tourism in Chiang Rai.

1. Introduction

Light pollution, the presence of artificial light in the environment, is increasingly becoming a concern in modern society and has been extensively studied in recent years e.g. [1-6]. The impact of light pollution is now not only on the astronomical observations but also on natural

Content from this work may be used under the terms of the Creative Commons Attribution 3.0 licence. Any further distribution of this work must maintain attribution to the author(s) and the title of the work, journal citation and DOI.
Published under licence by IOP Publishing Ltd

18th Siam Physics Congress IOP Publishing
Journal of Physics: Conference Series **2653** (2023) 012027 doi:10.1088/1742-6596/2653/1/012027

environments and human health in many ways. For example, disruption of circadian rhythms [3], melatonin suppression [7], disrupted animal behavior and ecology [8], nesting and reproductive interference [9], and altered ecosystem dynamics [10], etc.

The Defense Meteorological Satellite Program (DMSP) has been used since the 1970s to collect meteorological and environmental data, including visible and thermal infrared imagery of the Earth's surface. The DMSP Operational Linescan System (OLS) sensor, onboard DMSP satellites, measures the amount of light emitted from the Earth's surface at night. In recent years, this data has been used to create global maps of artificial light pollution. The first world sky brightness atlas was created by [1] and refined by [3] who utilized DMSP-OLS data to create a global atlas of light pollution, which showed the level of sky brightness in different regions of the world. The study found that more than 80% of the world's population lives under light-polluted skies by that time.

The Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) sensor, onboard the Suomi National Polar-orbiting Partnership (NPP) satellite, was launched in 2011 and has been used to collect high-resolution data on natural and artificial sources of light at night. The NPP-VIIRS sensor has improved sensitivity and dynamic range compared to the DMSP-OLS sensor, providing more accurate data on light pollution levels [4].

In recent years, satellite images have been used to measure the sky brightness, utilizing data from DMSP and NPP-VIIRS satellites . The atlas from [3] shows that more than 80% of the world populations had already lived under light-polluted skies. The Milky Way has already been hidden from more than one-third of humanity by 2016.

In Thailand, the National Astronomical Research Institute of Thailand (NARIT) in corperation with the Tourism Authority of Thailand (TAT) has kicked off the campainge "Dark Sky in Thailand" in 2020 to promote astro-tourism in Thailand. While Chiang Rai has been well-known among tourist in Thailand as the destination of stargazing activities for decades, there is no dark sky map of Chiang Rai yet to be promoted.

The aim of this study is to create the first sky brightness map over Chaing Rai, even if not to carry on any primary observation yet, via using a thee decades data from DMSP and NPP-VIIRS to point out the dark sky area in each Bortle class and predict the light pollution in the future.

2. Methodology and result

The data from DMSP and NPP-VIIRS give the ratio of artificial light/natural light [1]. Natural lighting levels are governed by natural celestial sources, mainly the Moon, natural atmospheric emission (a.k.a. airglow), stars light, the Milky Way light, and zodiacal light. Meanwhile the artificial light levels are from the electricity and man-made light. During moonless nights, the luminance of the clear sky background far from the Milky Way and zodiacal light is about 22 magnitude per square arcsecond (mag/arcsec^2) in the Johnson-Cousins V-band which is equivalent to 1.7×10^4 cd/m^2 [3].

The raster file covering Chiang Rai, located at latitude between 19°N - 20.5°N and longitude between 99.25°E - 100.75°E, from DMSP-OLS (1992-2013)[1] and NPP-VIIRS (2013-2021)[2] were collected and clipped according to the shape of Chiang Rai. The sky brightness data was then reclassified based on 8 Bortle classes with colour code and in magnitude as suggested by [1],[11] : 1. Excellent dark sky sites (>21.9 mag, black), 2. Dark sky (21.9-21.5 mag, grey), 3. Rural sky (21.5-21.3 mag, blue), 4. Suburban/Rural transition sky (21.3-20.1 mag, green), 5. Suburban sky (20.1-19.1 mag, yellow), 6. Bright suburban sky (19.1-19.5 mag, orange), 7. City/suburban transition sky (19.5-18.0 mag, red)and 8. City sky (<18.0 mag, white) as shown in table 1

[1] available at https://ngdc.noaa.gov/eog/download.html
[2] available at https://eogdata.mines.edu/products/vnl/

18th Siam Physics Congress IOP Publishing
Journal of Physics: Conference Series **2653** (2023) 012027 doi:10.1088/1742-6596/2653/1/012027

Table 1. Levels of the sky brightness in Bortle classes with colour code that corresponding to sky brightness magnitude and naked eye limiting magnitude adopted from [11].

Colour code	Bortle class	naked eye limiting magnitude	sky brightness (mag/arcsec^2)	Artificial/Natural
Black	1	7.6 - 8.0	>21.90	<0.01
Grey	2	7.1 - 7.5	21.90 - 21.50	0.11-0.33
Blue	3	6.6 - 7.0	21.50 - 21.30	0.33-1.00
Green	4	6.1 - 6.5	21.30 - 20.80	1.00 - 3.00
Yellow	5	5.6 - 6.0	20.80 - 20.10	3.00 - 9.00
Orange	6	5.1 - 5.5	20.10 - 19.10	3.00 - 9.00
Red	7	4.6 - 5.0	19.10 - 18.00	9.00 - 27.00
White	8, 9	4.1 - 4.5, <4.0	<18.00	>27.00

Noted : In this paper we designated sky brightness which is brighter than Bortle class 6 can not be promoted as tourist destination for stargazing due to the lack of visibility of the Milky Way.

with naked-eyes observation quality defined by the International Dark sky Association (IDA) as described below:

(i) Bortle class 1: zodiacal light, gegeschein, airglow are visible by naked eyes. Scorpius and Sagittarius regions of the Milky Way cast obvious shadows on the ground. Surroundings are basically invisible.

(ii) Bortle class 2: Airglow weakly visible near horizon. Distinctly yellowish zodiacal light bright enough to castshadows at dusk and dawn. Clouds only visible as dark holes. Surroundings are only barely visible silhouetted against the sky. Many Messier globular clusters still distinct for naked eyes.

(iii) Bortle class 3: Some light pollution evident at the horizon. Clouds are illuminated near horizon. Milky Way is still appear across the sky. Surroundings are vaguely visible. M15, M4 and M22 are distinct to the naked eyes.

(iv) Bortle class 4: Light pollution domes are visible in various directions over the horizon. zodiacal light is still visible but not halfway extending to the zenith at dusk or dawn. Milky Way above the horizon is still impressive but lack of details. Clouds are illuminated in the directions of the light sources, but still dark overhead. Surroundings are clearly visible even from a distance.

(v) Bortle class 5: Only hints of zodiacal lights are seen at the best clear nights. milky Way is very weak or invisible near the horizon and looks washed out overhead. Clouds are noticeably brighter than the sky.

(vi) Bortle class 6: Zodiacal light is invisible. Milky Way is only visible near the zenith. Sky within 35° from the horizon glows greyish white. Clouds appear fairly bright. M31 is moderately apparent to the naked eyes.

(vii) Bortle class 7: Entire sky has a greyish-white hue. Strong light sources are evident in all directions. Milky Way is invisible. M31 may be glimpsed but very indistinct with naked eyes.

(viii) Bortle class 8: Sky glows obviously white or orange. M31 is barely glimpsed by an experienced observer on clear nights. Only bright Messier objects can be detected even with telescope. Constellations patterns are weak.

18th Siam Physics Congress IOP Publishing
Journal of Physics: Conference Series **2653** (2023) 012027 doi:10.1088/1742-6596/2653/1/012027

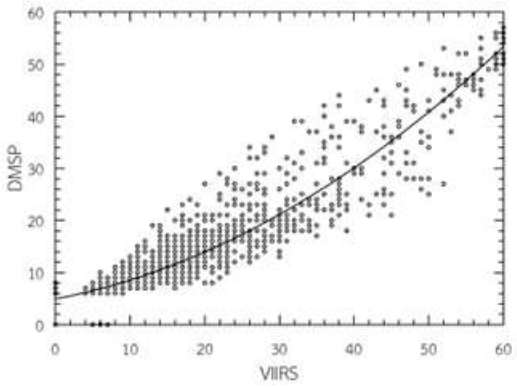


Figure 1. Correlation between data from DMSP-OLS and NPP-VIIRS data in year 2013 showed the great matching relationship ($R^2 = 0.92$) which revealed the model was feasible and reliable.

(ix) Bortle class 9: Sky is brilliantly bright. No Messier objects are visible to the naked eyes. Only the Moon and bright planets are visible.

The data extension of the average visible stable light were used. This extension contains the lights from cities, town, and other sites with persistent lighting, including gas flare (which is not included in the other data extension). In this extension; ephemeral events, such as fires have been discarded; the background noise was also identified and replace with values of zero yielding the output data to range from 1-63.

Resulting artificial/natural light ratio from imagery were then converted into the sky brightness in mag/arcsec^2, Bortle classes and its colour code which is corresponding to the naked eye limiting magnitude as shown in table 1.

Correlation between data from DMSP-OLS and NPP-VIIRS data in year 2013 was carried out resulting in a Pearson correlation value of 0.852. This indicate that two variables have a significant and positive relationship between each other. If DMSP-OLS data increases, then NPP-VIIRS will also increase. However, the T-test between DMSP-OLS and NPP-VIIRS suggested that there was a significant difference in sky brightness at 0.05. Therefore, it is not possible to show the sky brightness values of DMSP-OLS in 2013 and NPP-VIIRS in 2014 against each other. Considering the DMSP-OLS sky brightness values during two consecutive years can be described by linear equations as a correlation between data from DMSP-OLS data in year 2012 and 2013 showed the great matching relationship as shown in figure 1 with following relation

$$y = 0.0089x^2 + 0.2734x + 4.9482 \quad (R^2 = 0.92) \tag{1}$$

when y is modelled NPP-VIIRS, and x is observed DMSP-OLS. This revealed the model was feasible and reliable. In conclusion, the sky brightness model from 2014 to 2021 was generated

18th Siam Physics Congress IOP Publishing
Journal of Physics: Conference Series **2653** (2023) 012027 doi:10.1088/1742-6596/2653/1/012027

from the mean of the linear model of DMSP-OLS with NPP-VIIRS. A map model of 2012 to 2021 (shown in figure 2) were generated from the mean of the linear model of DMSP-OLS with NPP-VIIRS.

A map model of 2012 to 2021 (shown in figure 2 for year 2012 - 2021) was generated from the mean of the linear model of DMSP-OLS with NPP-VIIRS. It is found to be continuous and can be described by a following polynomial equation

$$y = 7.428x^2 - 218.76x + 7417.5 \quad (R^2 = 0.873) \tag{2}$$

when y is number of sky brightness brighter than Bortle class 6 designated as problematic stargazing areas (in km^2), and x is an order of years starting from 1992. These maps were extracted the sky brightness data for the years 1992 - 2021 as shown in figure 2.

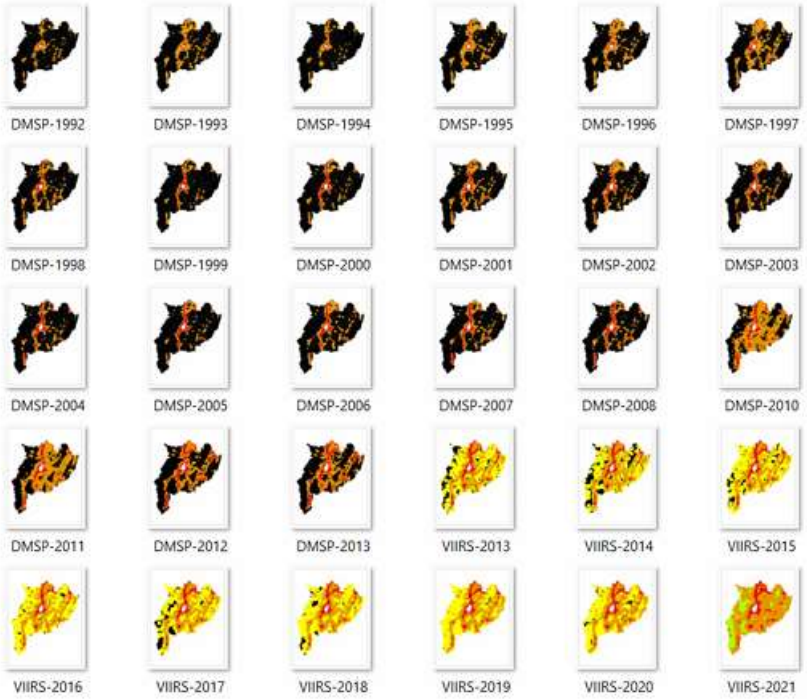


Figure 2. Changing in sky brightness of Chiang Rai since 1992–2021 presented in Bortle classes : 1. Excellent dark sky sites (>21.9 mag, black), 2. Dark sky (21.9-21.5 mag, grey), 3. Rural sky (21.5-21.3 mag, blue), 4. Suburban/Rural transition sky (21.3-20.1 mag, green), 5. Suburban sky (20.1-19.1 mag, yellow), 6. Bright suburban sky (19.1-19.5 mag, orange), 7. City/suburban transition sky (19.5-18.0 mag, red) 8. City sky (<18.0 mag, white).

18th Siam Physics Congress IOP Publishing
Journal of Physics: Conference Series **2653** (2023) 012027 doi:10.1088/1742-6596/2653/1/012027

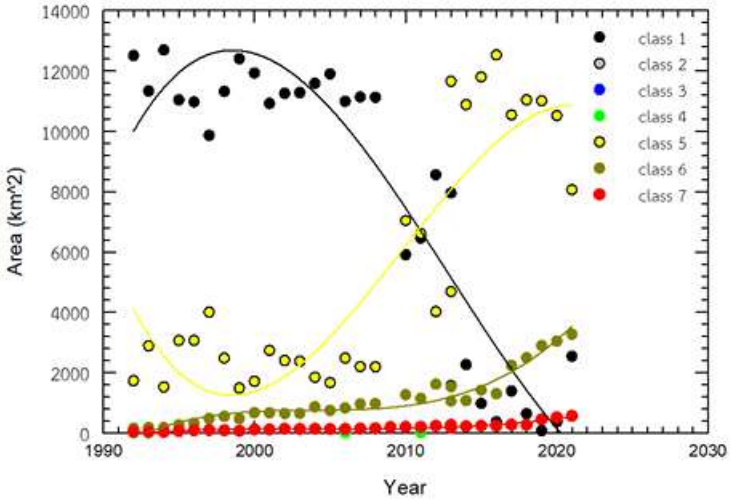


Figure 3. Changing in sky brightness of Chiang Rai since 1992–2021 presented in number of area in each Bortle class.

Changing in sky brightness of Chiang Rai since 1992–2021 can be seen obviously in figures 2 and 3. By using this rate of changing, we may see the evolution of sky brightness that developed to be brighter and brighter in selected top 18th tourist destinations of Chiang Rai as shown in figure 4.

In addition, the number of area in each district of Chaing Rai where citizens living under a sky brightness at giving Bortle class were presented in table 2. It was found that 14% of area in Chiang Rai are covering by the bright sky with Bortle class 7 and 8. The most recent dark sky map of Chiang Rai in 2021 was presented according to each districts in figure 5

By overlaying our map to the Chiang Rai population distribution census, it is revealed that within this only 14% of area dwell more than 33% of Chiang Rai population mainly in the big municipalities including Mueang Chiang Rai, Maew Sai and Chiang Khong municipalities which are seen white in figure 5. It can be cocluded that more than 33% of people in Chiang Rai have now already lost naked eye visibility of the Milky Way.

18th Siam Physics Congress IOP Publishing
Journal of Physics: Conference Series **2653** (2023) 012027 doi:10.1088/1742-6596/2653/1/012027

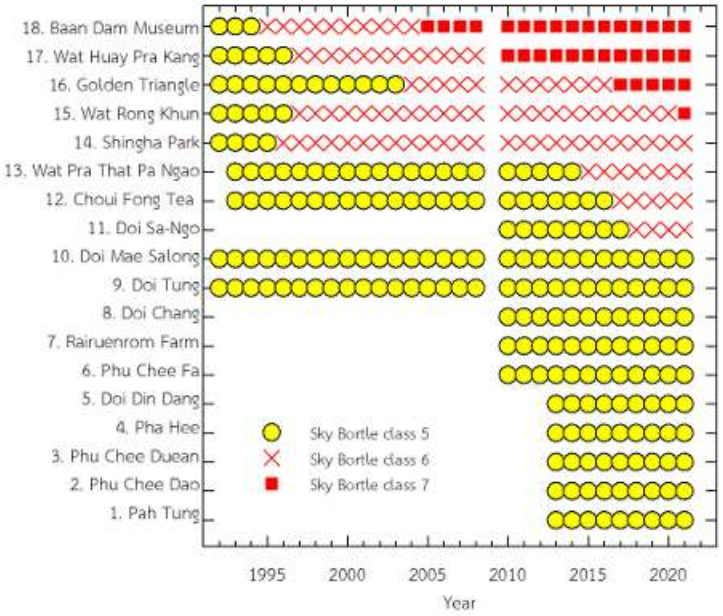


Figure 4. Changing in sky brightness over time of top 18 tourist destinations in Chiang Rai. Noted that data in 2009 was neglected due to bad data composite.

3. Discussion

If we designate the sky Bortle class fainter than class 6 as an indicator of a dark sky area which suitable for stargazing, a risk assessment model for dark sky conservation in Chiang Rai reveals that dark sky area are dramatically becoming extinction. With the total sky area covering Chiang Rai of 14,423 km^2, dark sky area were decreased from $\sim$ 11,000 km^2 (during 1992 - 2009) to 8,000 km^2 (in 2010) and to 6,000 km^2 (in 2011). A map model of 2012 to 2021, generated from the mean of the linear model of DMSP-OLS with NPP-VIIRS, suggested that Chiang Rai will not have an area suitable for stargazing by 2040 if there is no designated area for conservation.

18th Siam Physics Congress IOP Publishing
Journal of Physics: Conference Series **2653** (2023) 012027 doi:10.1088/1742-6596/2653/1/012027

Table 2. Area in each district of Chaing Rai where citizens living under a sky brightness at giving Bortle class.

no.	Amper	Area (km^2)	Class 4	Class 5	Class 6	Class 7	Class 8
1	Mueang Chiang Rai	2046	452 (22%)	4 (0.2%)	1025 (50%)	394 (19%)	171 (8.4%)
2	Wiang Chai	435	3 (1%)	0	305 (70%)	122 (28%)	5 (1%)
3	Chiang Khong	948	75 (8%)	0	742 (78%)	127 (13%)	4 (0.4%)
4	Thoeng	1059	25 (2%)	0	928 (88%)	106 (10%)	0
5	Phan	1209	155 (13%)	2 (0.2%)	932 (77%)	120 (10%)	0
6	Pa Daet	317	0	0	273 (86%)	44 (14%)	0
7	Mae Chan	846	107 (13%)	2 (0.2%)	508 (60%)	229 (27%)	0
8	Chiang Saen	563	51 (9%)	0	303 (54%)	198 (35%)	11 (2%)
9	Mae Sai	376	0	0	146 (39%)	196 (52%)	34 (9%)
10	Mae Saruai	1739	681 (39%)	0	1038 (60%)	20 (1%)	0
11	Wiang Pa Pao	1528	630 (41%)	1 (0.1%)	816 (53%)	81 (5%)	0
12	Phaya Mengrai	581	79 (14%)	2 (0.3%)	464 (80%)	36 (6%)	0
13	Wiang Kaen	578	43 (7%)	2 (0.3%)	533 (92%)	0 (0%)	0
14	Khun Tan	329	2 (1%)	0	305 (93%)	22 (7%)	0
15	Mae Fa Luang	828	168 (20%)	0	653 (79%)	7 (1%)	0
16	Mae Lao	266	6 (2%)	0	184 (69%)	76 (29%)	0
17	Wiang Chiang Rung	337	12 (4%)	0	321 (95%)	4 (1%)	0
18	Doi Luang	397	30 (8%)	0	356 (90%)	11 (3%)	0
	Missing data points	41	8 (20%)	0	33 (80%)	0	0
	Total	14423*	2527 (18%)	13 (0.1%)	9865 (68%)	1793 (12%)	225 (2%)

Noted : * The presented total area of Chiang Rai is larger than that suggested in the Chiang Rai census (i.e. 11,678 km^2) due to the satellites resolution of 30 arcsec ($\sim$ 0.98 km^2 at equator).

4. Summary and future work

This is the first research paper of Thailand that used DMSP-OLS and NPP-VIIRS to create a Dark Sky Map. The paper utilized DMSP-OLS data to create an atlas of light pollution from 1992-2013, and NPP-VIIRS data to provide more accurate and detailed maps of light pollution from 2013-2021 and compared to DMSP-OLS data. The resulting Dark Sky Map showed the level of sky brightness in different regions of Chiang Rai, highlighting the extent of light pollution and the need for measures to combat it. The paper highlighted the extent of light pollution in many areas and its impact on human health, wildlife, and astronomical observations.

To combat the adverse effects of light pollution, the concept of Dark Sky Parks and Reserves has been established, where light pollution is minimized to protect the natural night sky. To determine the extent of light pollution in a particular region, a Dark Sky Map can be created, which shows the level of sky brightness due to artificial light.

Our map could ultimately encourage land owners of such dark sky sites to register their properties in the IAU dark sky reserve database to elevate Astro-tourism in Chiang Rai. In this year of 2023, we have initiated the first Dark Sky Tourism project in Chiang Rai called "Roi Rak Tee Homelomjoy" which is the pioneer work to conserve the dark sky site in Chiang Rai. While Homelomjoy (see figure 6) is locating in the orange area with Bortle class 6 in the map (figure 5), the actual measurement of sky brightness using a sky quality meter (SQM) on site was 21.08 magnitude/$arcsec^2$ corresponding to Bortle class 4 (green color in the map) even in the dusty night of February 2023. Thus we strongly suggest that the proper measurement of sky brightness by using either the SQM or other reliable equipment should be carried on over Chiang Rai to check if our map generated from the average sky brightness throughout each year is trustworthy.

Finally, in order to raise awareness in dark sky reservation in Thailand, the dark sky map covering the country should be carried out. Dark sky map of Thailand would be used as tools

18th Siam Physics Congress IOP Publishing
Journal of Physics: Conference Series **2653** (2023) 012027 doi:10.1088/1742-6596/2653/1/012027

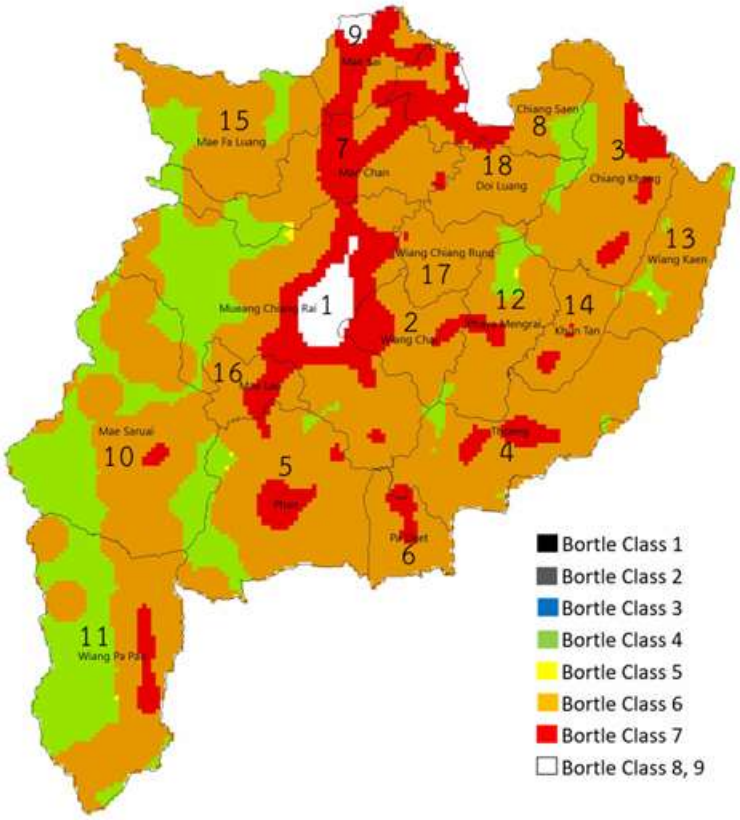


Figure 5. Dark sky map of Chinag Rai in 2021. Designated numbers are corresponing to those presented in table 2.

in promoting dark sky tourism alongside with Astro-tourism in Thailand. The map will benefit not only private business sector but also the government of Thailand.

In terms of any suggested related public policy, as with any area of dark-sky tourism activity, the approach taken to regulate light pollution can benefit the wider local economy. While there is no exact legal definition of what constitutes the regulatory light pollution frameworks in Thailand, a broad view would include the legal principles and processes for developing and standardising dark-sky policy in nationwide, including 1.) who specifies and defines the dark-sky tourism activities and environmentally friendly lighting controls in dark-sky preservation areas which are sustainably regulated, 2.) how that international dark-sky standards is implemented,

18th Siam Physics Congress IOP Publishing
Journal of Physics: Conference Series **2653** (2023) 012027 doi:10.1088/1742-6596/2653/1/012027

Figure 6. Homelomjoy locating in the orange area with Bortle class 6 in the map, but the actual measurement of sky brightness using as SQM on site was 21.08 magnitude/arcsec^2 corresponding to Bortle class 4 (green color).

3.) the consequences for failing to adhere to regulatory dark-sky lighting requirements and 4.) how legal rights and obligations apply to local authorities, communities and tourists. Again, the regulation of dark-sky protection areas and intrinsically dark locations is a technically challenging and continually evolving area of light pollution policy at both national and provincial levels. With the right framework in place, regulation of light pollution will be able to efficiently and environmentally meet the dark-sky tourism targets described above over the long-term.

References

[1] Cinzano P, Falchi P F and Elvidge C D 2001 *Mon. Notices Royal Astron. Soc.* **328** 689
[2] Small C and Elvidge C D 2011 *Procedia Environ. Sci.* **7** 353
[3] Falchi P F *et al.* 2016 *Sci. Adv.* **2** e1600377
[4] Elvidge C D, Baugh K, Zhizhin M, Hsu F C and Ghosh T 2017 *Int. J. Remote Sens.* **38** (21) 5860
[5] Duriscoe D M, Anderson S J, Luginbuhl C B and Baugh K E 2018 *J. Quant. Spectrosc.* **214** 133
[6] Yong Z, Li K, Xiong J, Cheng W, Wang Z, Sun H and Ye C 2022 *Remote Sens.* **14** 600
[7] Stevens R G, Brainard G C, Blask D E, Lockley S W and Motta, M E 2014 *CA Cancer J. Clin.* **64** (3) 207
[8] Gaston K J, Bennie J, Davies T W and Hopkins J 2013 *Biol.* **88** (4) 912
[9] Longcore T and Rich C 2004 *Front. Ecol. Environ.* **2** (4) 191
[10] Hlker F, Wolter C, Perkin E K and Tockner K. 2010 *Trends Ecol. Evol.* **25** 681
[11] Martnez-Ledesma M, Sanhueza P, Corco C, Astudillo H R, Angeloni R and Damke G 2019 *Spectral and Zonal Restriction Justification - Review Process of DS043/2012 MMA (Ministry of Environment).* Office for the Protection of the Quality of the Skies of Northern Chile (OPCC) DOI: 10.13140/RG.2.2.11949.31206

Farung Surina <sc_farung@crru.ac.th>

แจ้งผลการประเมินเพื่อนำบทความลงตีพิมพ์ในวารสารสังคมศาสตร์วิชาการ

5 messages

ยุทธศาสตร์ การพัฒนาภูมิภาค <crurds@gmail.com> Mon, Feb 12, 2024 at 3:06 PM
To: tosapuay_tom@hotmail.com, 64300802121@udru.ac.th, 64300802123@udru.ac.th, 64300802118@udru.ac.th, Winit Phacharuen <winit.phacharuen@gmail.com>, wiyada4003@gmail.com, Farung Surina <sc_farung@crru.ac.th>, สุวัฒน์ สื่อกลาง <64300802122@udru.ac.th>, treererk333@gmail.com, pooky.pc@gmail.com, ไชยา เกษารัตน์ <chaiya.ke@skru.ac.th>, ปาริฉัตร ศรีหะรัญ <parichat_sri@nstru.ac.th>, 6311230011@nstru.ac.th, dr.dan2012@hotmail.com, Sudjit Karuchit <sudjit@sut.ac.th>, thawornrat18@gmail.com

เรียนผู้นำเสนอบทความ งานยุทธศาสตร์วิชาการครั้งที่ 1

ทางคณะกรรมการขอแสดงยินดีและชื่นชมที่ท่านได้ผ่านการพิจารณาเพื่อได้รับการตีพิมพ์ในวารสารสังคมศาสตร์วิชาการ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ในฉบับพิเศษที่จะตีพิมพ์ในระยะเวลาอันใกล้นี้
อนึ่งให้ท่านได้ดำเนินการปรับแก้ตามที่ผู้ทรงคุณวุฒิได้แจ้งในที่ประชุม พร้อมทั้งปรับแก้ตามแบบฟอร์มของวารสารสังคมศาสตร์วิชาการ และปรับเปลี่ยนเอกสารอ้างอิงพร้อมทั้งบรรณานุกรมเป็นภาษาอังกฤษตามรูปแบบ APA หรือจากวารสารสังคมศาสตร์วิชาการ เมื่อดำเนินการปรับแก้เสร็จสิ้นแล้วให้ท่าน Submit เข้าสู่ระบบ ThaiJo ตามลิ้งแนบ จากนั้นให้แจ้งกลับมายังอีเมลต้นฉบับนี้เพื่อแจ้งความพร้อม

https://so04.tci-thaijo.org/index.php/social_crru

ขอแสดงความนับถือ
คณะกรรมการจัดการประชุมยุทธศาสตร์วิชาการ ครั้งที่ 1

รายชื่อบทความที่ผ่านการพิจารณา

รหัส	ชื่อบทความ	ชื่อผู้แต่ง
RDS007	ลักษณะภูมินามตามการจัดกลุ่มการตั้งถิ่นฐานของหมู่บ้านโดยการวิเคราะห์กลุ่ม แบบ K-means กรณีศึกษา กลุ่มจังหวัดภาคเหนือตอนบน	สุรัสวดี นางแล
RDS018	การศึกษาความต้องการจำเป็นในการพัฒนาการศึกษาอาชีวศึกษา ด้วยเทคโนโลยีดิจิทัล ของสถานศึกษา สังกัดสถาบันการอาชีวศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 1	นายชัชวาล ปุณชันธุ์
RDS020	ปัญหาและความต้องการพัฒนาแรงงานทักษะสูงของสถาบันการอาชีวศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 1	นายพนม แสงแก้ว
RDS034	ความต้องการจำเป็นในการส่งเสริมการดำรงชีวิตอย่างมีคุณค่าของผู้สูงอายุในเขตบริการขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน 1	ปิยวรรณ มีชัยมาตร์
RDS028	ยุทธศาสตร์การพัฒนาสิ่งแวดล้อมบนฐานรากทรัพยากรของชุมชนบ้านป่าสักงาม ตำบลลวงเหนือ อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่	วินิจ ผาเจริญ
RDS030	ปัญหาและแนวทางการพัฒนาวิสาหกิจชุมชนตามแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน พื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน 1	วิยะดา แมนสัน
RDS006	กลยุทธและรูปแบบการพัฒนาการท่องเที่ยวฟ้ามีดบ้ามพรมแดน	ฟ้ารุ่ง สุรินา บุญทิศ
RDS038	ความต้องการจำเป็นต่อการส่งเสริมคุณภาพชีวิตของประชาชนผู้รับบัตรสวัสดิการแห่งรัฐในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 2	สุวัฒน์ สื่อกลาง
RDS004	โลคอลสู่โกลบอล : รูปแบบกลยุทธ์การสื่อสารแบรนด์ไทยคราฟท์ ขึ้นโกแลด อัตลักษณ์ท้องถิ่นสู่สากล	ตรีฤกษ์ เพชรมนต์
RDS015	การพัฒนาชุมชนท่องเที่ยว OTOP นวัควิถีในจังหวัดเชียงราย	วชิราภรณ์ ชมภูเมืองชื่น
RDS026	การพยากรณ์ความสำเร็จในการบริหารศูนย์พัฒนาเด็กเล็กตามมาตรฐานสถานพัฒนาเด็กปฐมวัยแห่งชาติ พ.ศ. 2562 สังกัดองค์การบริหารส่วนตำบล ในอำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา	กีรติ พงศ์อักษร
RDS003	เปิดฟักลับ มูเดลูที่เมืองคอน : ความเชื่อ ศรัทธา และการตลาด	ปาริฉัตร ศรีหะรัญ
RDS017	วิถีชุมชนคนเล เขเรือ บ้านในถุ่ง ตำบลท่าศาลา อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช	รัตนา พินิขัน
RDS033	การพัฒนากิจกรรมการรู้ดิจิทัลของชุมชนด้วยสื่ออิเล็กทรอนิกส์โดยใช้เทคนิคพี่เลี้ยง	แดนวิชัย สายรักษา

กลยุทธ์และรูปแบบการพัฒนาการท่องเที่ยวฟ้ามืดข้ามพรมแดน

Strategy and Model for Sustainable Transborder Dark Sky Tourism

ธนายุทธ ช่างเรือนงาม[1] วลีพรรณ รกิติกุล[2] สุรัสวดี นางแล[1] จินดา ศิริดา[2] ปิยดา ยศสุนทร[2] ศิวรี สุดสนิด[1] และฟ้ารุ่ง สุรินา บุญทิศ[1]

T. Changruenngam[1], W. Rakitikul[2], S. Nanglae[1], J. Sirita[2], P. Yotsoonthorn[2] , S. Sudsanit[1] and F. Surina[1]

บทคัดย่อ

แนวคิดเรื่องการท่องเที่ยวฟ้ามืดเริ่มเป็นที่รู้จักในประเทศไทยตั้งแต่ พ.ศ. 2563 โดยเป็นการอนุรักษ์พื้นที่ ๆ มีค่าความสว่างท้องฟ้าตอนกลางคืนให้มียังคงมืดพอที่จะสังเกตเห็นทางช้างเผือกได้ แนวคิดนี้สามารถเป็นส่วนหนึ่งในการพัฒนาการเศรษฐกิจฐานรากอย่างยั่งยืนด้วยงบประมาณที่ประหยัด เนื่องจากพื้นที่ชนบทที่ห่างไกลความเจริญมักเป็นบริเวณที่ไฟฟ้าเข้าไม่ถึง ดังนั้นเราสามารถพลิกจุดอ่อนนี้ให้เป็นจุดแข็งในการพัฒนาให้เป็นแห่งท่องเที่ยวเชิงดาราศาสตร์ได้ และเนื่องจากจังหวัดเชียงรายเป็นจังหวัดแรกของประเทศไทยที่มีการสร้างแผนที่ฟ้ามืดครอบคลุมทั่วทั้งจังหวัดแล้ว แต่ยังไม่ปรากฏการณ์ว่ามีพื้นที่ใดได้รับการขึ้นทะเบียนเขตอนุรักษ์ฟ้ามืดโดยสถาบันวิจัยดาราศาสตร์ หรือโดยสมาคมฟ้ามืดสากล ทำให้ผู้วิจัยริเริ่มที่จะกำหนดพื้นที่ของ ฮ่อมลมจอย ตำบลธารทอง อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย เป็นพื้นที่กรณีศึกษาเพื่อเป็นต้นแบบรูปแบบการท่องเที่ยวฟ้ามืด โดยมีจุดประสงค์ 3 ข้อ ได้แก่ 1.) เพื่อสร้างกลยุทธ์การพัฒนาชุมชนสู่แหล่งท่องเที่ยวฟ้ามืด 2.) เพื่อพัฒนารูปแบบการท่องเที่ยวฟ้ามืด และ 3.) เพื่อวิเคราะห์ผลตอบแทนทางสังคมที่ได้จากรูปแบบการท่องเที่ยวฟ้ามืด ให้เห็นเชิงรูปธรรม ทั้งนี้ ผู้วิจัยให้ข้อสังเกตว่ารูปแบบการท่องเที่ยวฟ้ามืดที่ฮ่อมลมจอยนี้สามารถต่อยอดเป็นการท่องเที่ยวฟ้ามืดข้ามพรมแดนได้ โดยยึดหลักการที่จังหวัดชายแดนของประเทศในเขตลุ่มแม่น้ำโขงย่อมมีลักษณะร่วมเดียวกัน นั่นคือ มี “โอกาสสูง” ในการพัฒนาเหล่งท่องเที่ยวฟ้ามืดทั้งเชิงธุรกิจ เชิงการแลกเปลี่ยนวัฒนธรรม และเชิงการตระหนักด้านสิ่งแวดล้อม และมี “จุดอ่อน” เดียวกัน คือการขาดโครงสร้างพื้นฐานทั้งด้านเครื่องมือและกำลังคน ดังนั้น จากหลักการประวิเคราะห์จุดแข็งจุดอ่อนดังกล่าว ทำให้ทราบว่าการแก้ปัญหาความมุ่งเน้นที่การพัฒนาบุคคลากรให้มีความรู้ความสามารถในด้านนี้ จากการวิเคราะห์ผลตอบแทนทางสังคม พบว่าอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุนอยู่ที่ 1.56 และมีอัตราผลตอบแทนอยู่ที่ร้อยละ 44 ซึ่งเป็นการลงทุนที่คุ้มค้าเป็นอย่างมากกับชุมชน ดังนั้นผู้วิจัยจึงพบว่าการท่องเที่ยวฟ้ามืด ไม่เพียงเป็นทางแก้ของปัญหาเศรษฐกิจฐานรากด้วยการพัฒนาอย่างยั่งยืนวิธีหนึ่ง

คำสำคัญ: การท่องเที่ยวฟ้ามืด, รูปแบบการพัฒนาการท่องเที่ยว, ความสว่างท้องฟ้า, กลยุทธ์

Abstract

The concept of dark sky tourism began to be recognized in Thailand since 2020. It is a way to conserve dark sky areas allowing us to clearly see stars and the Milky Way. This can be one of the cheapest solutions of the grassroots economic development in rural areas, particularly those far from the reach of electricity. Therefore, it can be a means to turn these weaknesses into strengths by developing them into astronomical tourism destinations. Chiang Rai is the first province of Thailand comprehensively obtaining its first dark sky map. However, there have been no registered dark sky conservation zones by either the

[1] คณาจารย์ประจำโปรแกรมวิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคำนวณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

[2] คณาจารย์ประจำโปรแกรมวิชาเทคโนโลยีเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

Thailand Astronomical Research Institutions or the International Dark sky Associations. Therefore, we have started to identify areas for a case study, such as Homelomjoy in Tharntong, Phan district, Chiang Rai, to serve as a model for dark sky tourism. The three main objectives are: 1) to promote community development through dark sky tourism, 2) to develop the dark sky tourism model, and 3) to analyze the social return on investment derived from dark sky tourism in a sustainable manner.

It is suggested that the Homelomjoy dark sky tourism model can be extended to a trans-border dark sky tourism. The principle is that provinces located at the border of countries within the Mekong River basin share common characteristics, such as having a "high potential opportunity" for developing dark sky tourism in terms of business, cultural exchange, and environmental awareness, and a "common weakness" in lacking basic infrastructure, tools, and manpower. Therefore, from the SWOT analysis, it is apparent that addressing the manpower development issue is essential. It is also found that dark sky tourism not only provides a cheapest solution to grassroots economic development but also raises awareness among the public about the impact of increasing light pollution on humans, animals, and plants.

Keywords : dark sky tourism, model for tourism, sky brightness, strategy

บทนำ

แนวคิดเรื่องการท่องเที่ยวฟ้ามืด (dark sky tourism) เริ่มเป็นที่รู้จักเป็นครั้งแรกเมื่อสมาคมฟ้ามืดสากล (International Dark-Sky Association, IDA) ได้ประกาศให้อุทยานแห่งชาติเนเจอรอลบริดจ์ (Natural Bridges National Monument) รัฐยูทา สหรัฐอเมริกา เป็นเขตอนุรักษ์ฟ้ามืดสากล (international dark sky site) แห่งแรกของโลกในประเภทของอุทยานอนุรักษ์ฟ้ามืดสากล (international dark sky park)[2] ในปีพ.ศ. 2550 โดยเป้าหมายของการกำหนดเขตอนุรักษ์ฟ้ามืดเพื่อรณรงค์ให้ประชาชนตระหนักถึงผลกระทบจากมลภาวะทางแสงที่จะทำให้ท้องฟ้าสว่างขึ้น ซึ่งจะส่งผลเสียใจด้านต่าง ๆ ตามมา (International Dark sky Association, 2007) ซึ่งทำให้การท่องเที่ยวฟ้ามืดเป็นได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นเรื่อยมาโดยเฉพาะในกลุ่มนักท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ และสร้างเศรษฐกิจให้กับพื้นที่ห่างไกลการพัฒนาได้เป็นอย่างดี (Bennie et al., 2016) อย่างไรก็ตาม แนวคิดการท่องเที่ยวฟ้ามืดในประเทศยังไม่เคยปรากฏในสาธารณะ จนกระทั่งการท่องเที่ยวแห่งประเทศไทยร่วมกับสถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติได้ริเริ่มกำหนดแนวคิดการส่งเสริม “การท่องเที่ยวเชิงดาราศาสตร์ (Astro-tourism)” ขึ้นในปีพ.ศ. 2563 ซึ่งมุ่งหวังสร้างความประทับใจให้กับนักท่องเที่ยวโดยอ้างอิงจากข้อมูลจริงด้านดาราศาสตร์ ซึ่งเป็นถือเป็นครั้งแรกที่ประเทศไทยมีการประยุกต์ใช้องค์ความรู้ทางดาราศาสตร์เชื่อมโยงกับการท่องเที่ยว เพื่อเป็นส่วนหนึ่งในการพัฒนาการเศรษฐกิจของประเทศอย่างเป็นรูปธรรม (NARIT, 2020) นับแต่นั้นเป็นต้นมา จึงมีการขึ้นทะเบียนเขตอนุรักษ์ฟ้ามืดโดยสถาบันวิจัยดาราศาสตร์อย่างต่อเนื่อง โดยรับขึ้นทะเบียนให้กับสถานที่ท่องเที่ยวที่ทั้งที่เป็นของภาครัฐและเอกชนในประเทศไทยที่มีความสว่างท้องฟ้าอยู่ในระดับเหมาะสมแก่การดูดาว กระแสตอบรับการท่องเที่ยวเชิงดาราศาสตร์ส่งผลให้เกิดการกระตุ้นกลุ่มนักท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ได้เป็นอย่างดี (NARIT, 2020)

เนื่องจากผลกระทบจากมลพิษทางแสงที่เพิ่มขึ้นอย่างก้าวกระโดดในปัจจุบัน (Cinzano, Falchi and Elvidge, 2001, Small and Elvidge, 2011, Falchi et al., 2016, Elvidge et al., 2017, Duriscoe et al., 2018 และ Yong et al., 2022) ไม่

[2] เป็นพื้นที่สาธารณะหรือส่วนตัวขนาดใหญ่ที่ได้รับการคุ้มครองเพื่อการอนุรักษ์ธรรมชาติและมีท้องฟ้ายามค่ำคืนที่โดดเด่น สามารถสร้างความบันเทิงให้กับสาธารณชนและสนับสนุนด้านการศึกษาทางวิทยาศาสตร์ อุทยานธรรมชาตินี้จะต้องมีมลภาวะทางแสงที่น้อย โดยพื้นที่หลักจะต้องมีความสว่างของท้องฟ้าอยู่ที่ **21.2** แมกนิจูดต่อตารางฟิลิปดา

เพียงส่งผลเสียต่อการศึกษาและการวิจัยทางดาราศาสตร์ การท่องเที่ยวเชิงดาราศาสตร์อันจะทำให้เห็นดวงดาวบนท้องฟ้าจำนวนลดลงเท่านั้น แต่ยังส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์เรื่องระบบวงจรชีวิต (Falchi et al., 2016) การลดลงของระบบเมลาโทนิน ซึ่งจะทำให้คุณภาพการนอนลดลง (Stevens et al., 2014) รบกวนระบบนิเวศน์ (Gaston et al., 2013 และ Hölker et al., 2010) เปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการสร้างรังและการสืบพันธุ์ของสัตว์ (Longcore, & Rich, 2004) และอาจส่งผลต่อการผลผลิตการออกผลของเมล็ดกาแฟพันธุ์โรบัสตาอีกด้วย (DaMatta & Ramalho, 2006 และ Kulasin et al., 2022)

จังหวัดเชียงรายเป็นจังหวัดที่อาจต้องเริ่มพิจารณาอนุรักษ์ความมืดของท้องฟ้า เนื่องจากสามารถส่งผลกระทบต่อทั้งการท่องเที่ยวและทางการเกษตรดังที่กล่าวข้างต้น โดยเฉพาะการท่องเที่ยวที่นักท่องเที่ยวมักนึกถึงกิจกรรมการดูดาวเป็นจังหวัดแรก ๆ แต่ยังไม่ปรากฏการณ์ขึ้นทะเบียนฟ้ามืดแต่อย่างใด

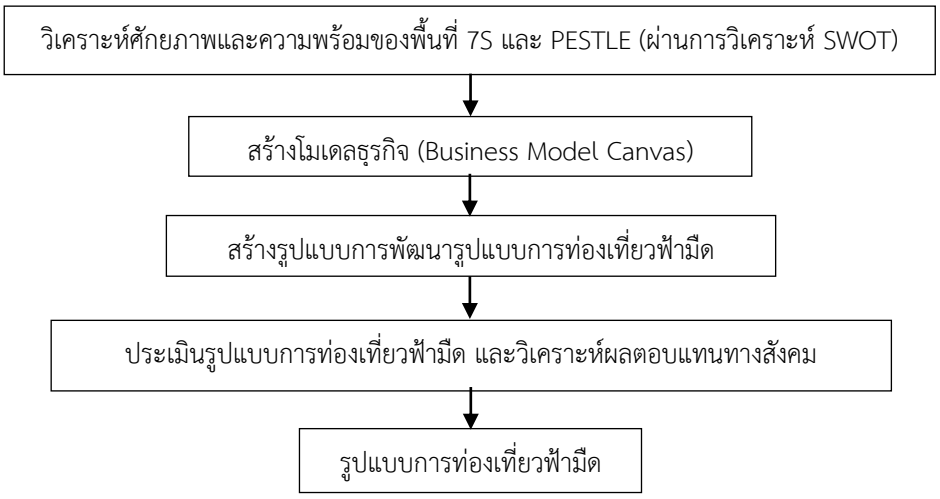
ผู้วิจัยเล็งเห็นโอกาสนี้ในการสร้างกลยุทธ์เพื่อพัฒนาแหล่งท่องเที่ยวในพื้นที่ ๆ มีค่าความสว่างท้องฟ้าที่เหมาะสมกับการดูดาว นั่นคือ มีค่าความสว่างท้องฟ้ามืดกว่าระดับบอร์เทิล (Bortle class) ที่ 7 ซึ่งหากสว่างกว่านี้จะไม่สามารถสังเกตเห็นทางช้างเผือกได้ (Changruenngam, 2023) เพื่อเป็นต้นแบบรูปแบบการท่องเที่ยวฟ้ามืดข้ามพรมแดน โดยยึดหลักการที่ตั้งจังหวัดบริเวณชายแดนของประเทศในเขตลุ่มแม่น้ำโขง ย่อมมีลักษณะร่วมเดียวกัน นั่นคือ มี “โอกาสสูง” ในการพัฒนาเหล่งท่องเที่ยวฟ้ามืดเชิงธุรกิจ (Coles, 2016) เชิงการแลกเปลี่ยนวัฒนธรรม (Sharpley and Stone, 2009) และเชิงการตระหนักด้านสิ่งแวดล้อม (Gallaway et al., 2010) และมี “จุดอ่อน” เดียวกันคือการขาดโครงสร้างพื้นฐานด้านอุปกรณ์และกำลังคน (Buckley, 2019 และ Dolnicar & Leisch, 2008) การเพิ่มขึ้นของมลภาวะทางแสง (Falchi et al., 2016) ดังนั้น จากหลักการประวิเคราะห์จุดแข็งจุดอ่อนดังกล่าว ทำให้ทราบว่าการแก้ปัญหาควรมุ่งเน้นที่การพัฒนาบุคคลากรให้มีความรู้ความสามารถในด้านนี้ ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยได้ทำการเลือกพื้นที่วิสาหกิจชมุชนกลุ่มเกษตรกรฮ่อมลมจอย ต.ธารทอง อ.พาน จ.เชียงราย เป็นกรณีศึกษา เพื่อสร้างแนวทางในการพัฒนารูปแบบการพัฒนาการท่องเที่ยวฟ้ามืด

วัตถุประสงค์

1. เพื่อสร้างกลยุทธ์การพัฒนาชุมชนสู่แหล่งท่องเที่ยวฟ้ามืด
2. เพื่อพัฒนารูปแบบการท่องเที่ยวฟ้ามืด
3. เพื่อวิเคราะห์ผลตอบแทนทางสังคม (Social Return on Investment, SROI) ที่ได้จากรูปแบบการท่องเที่ยวฟ้ามืด

กรอบแนวคิดในการวิจัย

ผู้วิจัยวางกรอบแนวคิดในการดำเนินงานสำหรับวิสาหกิจชมุชนกลุ่มเกษตรกรฮ่อมลมจอย ต.ธารทอง อ.พาน จ.เชียงราย เป็นกรณีศึกษาเพื่อสร้างแนวทางในการพัฒนารูปแบบการพัฒนาการท่องเที่ยวฟ้ามืด ดังรูปที่ 1 ต่อไปนี้



รูปที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยที่มุ่งเน้นการพัฒนาเชิงพื้นที่เพื่อรับใช้สังคม ที่มีกระบวนการในการวิจัยพร้อมไปกับกิจกรรมการพัฒนาวิสาหกิจชมุชนกลุ่มเกษตรกรฮ่อมลมจอยให้เป็นแหล่งการท่องเที่ยวฟ้ามืด ภายใต้ โครงการร้อยรักตี้อ่อมลมจอย ที่ได้ดำเนินกิจกรรมในปี 2566 จำนวน 5 กิจกรรม ได้แก่ 1. สร้างมัคคุเทศก์ชุมชนที่ประกอบด้วยสมาชิกในกลุ่ม เยาวชนและประชาชนในหมู่บ้าน ที่สามารถอ่าน และสื่อสารภาษาไทยได้เป็นอย่างดี 2. อมรมมัคคุเทศก์ชุมชนให้เป็นนักเล่าเรื่องชุมชน ในเรื่อง การดูดาว และ ติดตามจากคะแนนความพึงพอใจขอนักท่องเที่ยวที่ใช้บริการหลังได้รับการอบรม 3. สร้างเส้นทางการเดินป่าตามมาตรฐานเส้นทางเดินป่าระดับระดับ 1 Nature trail 4. จัดทำระบบฐานข้อมูลและระบบสารสนเทศ สำหรับกิจกรรมการท่องเที่ยวฮ่อมลม และ 5. กิจกรรมพัฒนาการทำผลิตภัณฑ์จากผึ้ง และเก็บรวมรวมข้อมูลเชิงปริมาณจากทั้งรายได้และความคิดเห็นจากกลุ่มวิสาหกิจชุมชน โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

กลุ่มเป้าหมายละผู้ให้ข้อมูล

ผู้ประกอบการและสมาชิกในวิสาหกิจชมุชนกลุ่มเกษตรกรฮ่อมลมจอย ต.ธารทอง อ.พาน จ.เชียงราย จำนวน 20 คน

ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย

การพัฒนารูปแบบการท่องเที่ยวฟ้ามืดมีขั้นตอนในการวิจัย โดยเริ่มจากการศึกษาความเป็นมาของพื้นที่ วิเคราะห์สภาพปัญหา และวิเคราะห์ศักยภาพและความพร้อมของพื้นที่ โดยใช้หลักการ 7S และการวิเคราะห์ปัจจัย PESTLE ผ่านการวิเคราะห์จุดแข็งจุดอ่อน (SWOT analysis) รวมถึงการใช้ Business Model Canvas ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ช่วยว่างกลยุทธ์ธุรกิจที่แสดงถึงภาพรวมภาพและวิเคราะห์การตลาดของการท่องเที่ยวฟ้ามืดของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ทั้งการวิเคราะห์ SWOT และ Business Model Canvas ได้รับข้อมูลจากเวทีเสวนาระหว่างนักวิจัยกับผู้ประกอบการและสมาชิกในกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มเกษตรกรฮ่อมลมจอย ต.ธารทอง อ.พาน จ.เชียงราย จำนวน 20 คน ที่จะเป็นข้อมูลสำหรับการกำหนดกลยุทธ์การพัฒนาชุมชนสู่แหล่งท่องเที่ยวฟ้ามืด และพัฒนารูปแบบการท่องเที่ยวพร้อมทั้ง การประเมินรูปแบบการท่องเที่ยวฟ้ามืด ด้วยแบบประเมินความพึงพอใจของผู้ประกอบการและสมาชิกในกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มเกษตรกรฮ่อมลมจอย ต.ธารทอง อ.พาน จ.เชียงราย จำนวน 20 คน และรวมถึงการประเมินผลตอบแทนเชิงสังคมด้วย

เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยที่ใช้ในการวิจัย คือ แบบสัมภาษณ์แบบมีโครงสร้าง (Structure Interview) ที่สร้างขึ้นจากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้สัมภาษณ์ผู้ให้ข้อมูลผู้ประกอบการและสมาชิกในกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มเกษตรกรฮ่อมลมจอย ต.ธารทอง อ.พาน จ.เชียงราย

แบบสัมภาษณ์ในการการวิเคราะห์ SWOT ประกอบด้วยการวิเคราะห์ศักยภาพและความพร้อมของพื้นที่ โดยใช้หลักการ 7S ได้แก่ 1. โครงสร้าง (Structure) 2. กลยุทธ์ (Strategy) 3. ระบบ (Systems) 4. ทักษะ (Skills) 5. รูปแบบ (Styles) 6. บุคลากร (Staffs) 7. คุณค่าที่มีร่วมกัน (Shared value) และการวิเคราะห์ปัจจัย PESTLE ได้แก่ ปัจจัยทางนโยบายและการเมือง (Politic) ปัจจัยทางเศรษฐกิจ (Economic) ปัจจัยทางสภาพสังคม (Socio-Cultural) ปัจจัยทางเทคโนโลยีและนวัตกรรมใหม่ ๆ (Technology) ปัจจัยทางข้อกฎหมายต่าง ๆ ของพื้นที่นั้น ๆ (Legal) และปัจจัยทางสภาพแวดล้อม (Environment)

แบบสัมภาษณ์ในการการวิเคราะห์ Business Model Canvas ที่มีองค์ประกอบทั้ง 9 ได้แก่ 1. กลุ่มลูกค้าคือใคร มีทั้งหมดกี่ประเภท 2. การดูแลลูกค้า 3. ช่องทางการขายสินค้าบริการ 4. จุดเด่นของสินค้าและบริการของคุณที่จะเข้าไปช่วยแก้ไขปัญหาของลูกค้า 5. กิจกรรมหลักในการดำเนินธุรกิจ 6. ทรัพยากรหลักในการดำเนินธุรกิจ 7. พันธมิตรที่ช่วยขับเคลื่อนธุรกิจ 8. ที่มาของรายได้จากธุรกิจ 9. ที่มาของรายจ่ายหรือโครงสร้างต้นทุน

แบบสัมภาษณ์ความพึงพอใจในการดำเนินโครงการ ที่ประกอบด้วยความพึงพอใจต่อกระบวนการและขั้นตอนการให้บริการ คุณภาพของเจ้าหน้าที่ผู้ให้บริการ/วิทยากร/ผู้ประสานงาน การอำนวยความสะดวก คุณภาพการให้บริการ ความพึงพอใจของท่านต่อภาพรวมของโครงการ

แบบสัมภาษณ์ในการประเมินผลตอบแทนเชิงสังคม ที่ประกอบด้วย ข้อมูลปริมาณนักท่องเที่ยว ค่าใช้จ่ายในการจัดกิจกรรม ค่าตอบแทนจากการจัดกิจกรรม ค่าจ้างในการผลิตของที่ระลึก รายได้และค่าใช้จ่ายที่ลดลงระหว่างการดำเนินโครงการ

สรุปผลการวิจัย

1. กลยุทธ์การพัฒนาชุมชนสู่แหล่งท่องเที่ยวฟ้ามืด

จากการวิเคราะห์ศักยภาพและความพร้อมของวิสาหกิจชุมชนกลุ่มเกษตรกรฮ่อมลมจอย ต.ธารทอง อ.พาน จ.เชียงราย โดยใช้หลักการ 7S ของ McKinsey และการวิเคราะห์ปัจจัย PESTLE ผ่านการวิเคราะห์ SWOT พบว่า กราฟมีพื้นที่มากที่สุดอยู่ในส่วนของจุดอ่อน และโอกาส ที่มีคะแนนรวม 5 และ 4.5 ตามลำดับ โดยจุดอ่อนที่มีคคะแนนมาก ได้แก่ ทักษะและรูปแบบสำหรับพัฒนารูปแบบการท่องเที่ยว ซึ่งมีคะแนนเท่ากันที่ 1.50 และในด้านของโอกาสปัจจัยในด้านนโยบายและการเมืองมีคะแนนอยู่ที่ 1.5 ซึ่งมากที่สุด ลายละเอียดตามตารางที่ 1 ดังนั้นเมื่อเราพิจารณาจุดอ่อนและโอกาสของวิสาหกิจชุมชนกลุ่มเกษตรกรฮ่อมลมจอย ต.ธารทอง อ.พาน จ.เชียงราย ทังหมด จากตารางที่ 2 พบว่าปัญหาการพัฒนาบุคลากรของวิสาหกิจชุมชนยังไม่ได้เป็นมัคคุเทศก์ชุมชน และขาดความรู้ด้านการจัดการการท่องเที่ยว เป็นแนวทางแรกๆ สำหรับการพัฒนาแต่ทว่า มีนโยบายการท่องเที่ยวเชิงดาราศาสตร์ของการท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์แบบจำลอง 7s ของ McKinsey และการวิเคราะห์ปัจจัย PESTLE

7s		PESTLE	
1. โครงสร้าง (Structure)	0.30	นโยบายและการเมือง (Politic)	1.50
2. กลยุทธ์ (Strategy)	0.40	เศรษฐกิจ (Economic)	0.45
3. ระบบ (Systems)	0.05	สภาพสังคม (Socio-Cultural)	0.50
4. ทักษะ (Skills)	1.50	เทคโนโลยี (Technology)	0.30
5. รูปแบบ (Styles)	1.50	ข้อกฎหมาย (Legal)	0.40
6. บุคลากร (Staffs)	1.20	สภาพแวดล้อม (Environment)	1.00
7. คุณค่าที่มีร่วมกัน (Shared value)	0.05	คะแนนรวม	4.15
คะแนนรวม	5.00		

ดังนั้นกลยุทธ์การพัฒนาชุมชนสู่แหล่งท่องเที่ยวฟ้ามืดของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มเกษตรกรฮ่อมลมจอยจำเป็นต้องใช้กลยุทธ์เชิงแก้ไข ที่เน้นการพัฒนาในการพัฒนาจุดอ่อนจากตารางที่ 2 ไปสอดรับกับโอกาสที่เข้ามา อีกทั้งโอกาสด้านสิ่งแวดล้อมที่สวยงามประกอบกับนโยบายการท่องเที่ยวเชิงดาราศาสตร์ของ การท่องเที่ยวแห่งประเทศไทยเป็นโอกาสที่ดีเพียงแต่ต้องพัฒนาจุดอ่อนทักษะด้านการจัดการท่องเที่ยวที่สอดคล้องกับโอกาส ได้แก่

1. สร้างแผนการพัฒนาชัดเจน คือ จุดอ่อนแรกควรเป็นการกำหนดแผนยุทธศาสตร์การท่องเที่ยวที่ชัดเจน โดยรวบรวมผู้ที่เกี่ยวข้องและเชื่อมโยงกับหน่วยงานราชการ, ภาคเอกชน, และชุมชนท้องถิ่นเพื่อสร้างแผนการพัฒนาท่องเที่ยวดาราศาสตร์ที่ชัดเจนและยั่งยืน

2. พัฒนาระบบการจัดการที่พัก คือ ในกรณีโรงแรมที่ขาดการจัดการอย่างเป็นระบบและถูกต้อง ควรสนับสนุนที่พักในการสร้างแนวทางการจัดการที่มีคุณภาพ รวมถึงการเตรียมความพร้อมในการรับนักท่องเที่ยวดาราศาสตร์ และพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ที่เกี่ยวข้อง

3. สร้างระบบงานที่ชัดเจน คือ ควรสร้างระบบงานที่ชัดเจนสำหรับการท่องเที่ยวดาราศาสตร์ ซึ่งจะช่วยในการประสานงานระหว่างหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง รวมถึงการวางแผนกิจกรรมและการสร้างประสบการณ์ดาราศาสตร์ที่น่าสนใจ

4. การพัฒนาบุคลากร คือ สนับสนุนการพัฒนาบุคลากรในชุมชนเพื่อให้พวกเขาเป็นมัคคุเทศก์ดาราศาสตร์ที่สามารถให้ข้อมูลและนำเสนอแหล่งท่องเที่ยวดาราศาสตร์ในที่ดีที่สุด

5. การส่งเสริมชความรู้ คือ สนับสนุนการศึกษาและการอบรมในด้านการจัดการท่องเที่ยวและดาราศาสตร์ โดยจัดโครงการอบรมที่เกี่ยวข้องเพื่อพัฒนาความรู้และทักษะ

6. การสร้างมาตรฐานและการตลาด คือ การขอรับรองคุณภาพสำหรับแหล่งท่องเที่ยวดาราศาสตร์เพื่อเสริมสร้างความมั่นคงและเชื่อถือจากนักท่องเที่ยว และใช้การตลาดเพื่อโฆษณาและส่งเสริมแหล่งท่องเที่ยวดาราศาสตร์ให้กับนักท่องเที่ยว

7. สร้างความกล้าแสดงออก: สนับสนุนกิจกรรมการส่งเสริมและประชาสัมพันธ์การท่องเที่ยวดาราศาสตร์เช่นงานนิทรรศการดาราศาสตร์ และการเสนอประสบการณ์ดาราศาสตร์ในระดับชุมชน

ตารางที่ 2 จุดอ่อนและโอกาสของวิสาหกิจชุมชนกลุ่มเกษตรกรฮ่อมลมจอย ต.ธารทอง อ.พาน จ.เชียงราย

จุดอ่อน (W)	โอกาส (O)
(S1) ไม่มีแผนยุทธศาสตร์ที่ชัดเจนในการพัฒนาเป็นแหล่งท่องเที่ยว	(P) นโยบายการท่องเที่ยวเชิงดาราศาสตร์ของการท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย
(S2) โรงแรมที่พักขาดการจัดการอย่างเป็นระบบและถูกต้อง	(E) เศรษฐกิจกำลังฟื้นตัว
(S3) ไม่มีระบบงานที่ชัดเจน	(S) สังคมต้องการท่องเที่ยวแบบวิถีใหม่
(S4) บุคลากรยังไม่ได้เป็นมัคคุเทศก์ชุมชน	
(S5) ขาดความรู้ด้านการจัดการการท่องเที่ยว	(T) มีเทคโนโลยีในการทางการแปรรูปผลิตภัณฑ์และการทำการตลาด
(S6) ยังขาดการทำงานเชิงรุกสำหรับประชาสัมพันธ์การท่องเที่ยว	(L) มัคคุเทศก์ชุมชนสามารถทำงานในพื้นที่ได้
(S7) เขินและไม่กล้าแสดงออกสำหรับทำกอจกรรมการท่องเที่ยว	(E) คุณภาพท้องฟ้าและสิ่งแวดล้อมสวยงาม

2. การพัฒนารูปแบบการท่องเที่ยวฟ้ามืด

การวิเคราะห์ผ่าน Business Model Canvas ตามรูปที่ 1 จะช่วยให้ผู้ประกอบการและและสมาชิกของวิสาหกิจชุมชนกลุ่มเกษตรกรฮ่อมลมจอยเข้าใจ โดยช่วยให้ทุกคนที่เกี่ยวข้องกับธุรกิจเข้าใจโครงสร้างและส่วนประกอบของธุรกิจของได้ดีขึ้น และได้บทสรุปว่าควนการพัฒนากิจกรรมและผลิตภัณฑ์และได้มาตรฐานสำหรับรองรับกลุ่มนักท่องเที่ยว โดยการสร้างมัคคุเทศก์ชุมชนที่มาจากสมาชิกในกลุ่ม เยาวชนและประชาชนใน หมู่บ้าน ตลอดจนผลิตภัณฑ์สบู่และเทียนหอมจากน้ำผึ้ง ขอมาตรฐานชุมชนอนุรักษ์ท้องฟ้ามืด จัดทำระบบระบบสารสนเทศน์ที่พักซึ่งได้ การสร้างช่องทางการขายผ่านออฟไลน์และออนไลน์โดยมีการสร้างและประเมินกิจกรรมทั้งการดูดาวและการเดินป่าโดยการจัดเฟมทริป ตลอดจนการวิเคราะห์คุณภาพและเอกลักษณ์ของผลิตภัณฑ์เพื่อเป็นจุดขายสำหรับประชาสัมพันธ์การท่องเที่ยว พร้อมผลิตสื่อในการประชาสัมพันธ์ผ่านช่องทางออนไลน์ สุดท้ายทำการสร้างเครือข่ายและระบบบริหารจัดการเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวอย่างยั่งยืนของกลุ่มร้อยรักตี้ฮ่อมลมจอย และเครือข่ายทางการตลาดเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวอย่างยั่งยืนของกลุ่มร้อยรักตี้ฮ่อมลมจอย และขอรับรองมาตรฐานโฮมสเตย์ไทย ซึ่งเป็น

แผนพัฒนาจำนวน 3 ปี โดยในปีแรกจะเน้นการพัฒนาพื้นที่ทั้ง กิจกรรมและบุคาลากร ในปี่ที่สองเน้นการสร้างมาตรฐานให้เป็นที่ยอมรับทั้งผลิตภัณฑ์ สถานที่ และกิจกรรม ในปีสุดท้ายจะสร้ายความยั่งยืนให้กับวิสาหกิจชุมชนกลุ่มเกษตรกรฮ่อมลมจอยในการขับเคลื่อนการท่องเที่ยวฟ้ามืดโดยจะสร้างเครือข่ายและระบบการจัดการเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวตามรูปที่ 2

ปีที่ 1 พัฒนา	ปีที่ 2 **มาตรฐาน**	ปีที่ 3 **ยั่งยืน**
• **มัคคุเทศก์ชุมชน** • **นักเล่าเรื่องชุมชน ในเรื่องการดูดาว** • **เส้นทางการเดินป่า** • **จัดทำระบบฐานข้อมูลและระบบสารสนเทศ สำหรับกิจกรรมการท่องเที่ยวฮ่อมลม** • **พัฒนาผลิตภัณฑ์จากน้ำผึ้ง** • **ได้รับรองมาตรฐานชุมชนอนุรักษ์ท้องฟ้ามืด**	• ทดสอบกิจกรรมการท่องเที่ยวแคมป์ปิ้งและดูดาว และได้รับรองมาตรฐานชุมชนอนุรักษ์ท้องฟ้ามืด • ทดสอบกิจกรรมการเดินป่าตามมาตรฐานเส้นทางเดินป่า • พัฒนาการแปรรูปผลิตภัณฑ์เทียนหอมตามจักราศี และวิเคราะห์คุณภาพของน้ำผึ้งที่ผลิตจากวิสาหกิจชุมชน • จัดถ่ายทอดความรู้การแปรรูปผลิตภัณฑ์เทียนหอมตามจักราศี • ประชาสัมพันธ์การท่องเที่ยว ร้อยรักตี้ฮ่อมลมจอย	• สร้างเครือข่ายและระบบบริหารจัดการเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวอย่างยั่งยืนของกลุ่มร้อยรักตี้ฮ่อมลมจอย • สร้างเครือข่ายทางการตลาดเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวอย่างยั่งยืนของกลุ่มร้อยรักตี้ฮ่อมลมจอย • ขอรับรองมาตรฐานแหล่งท่องเที่ยวเชิงเกษตร

รูปที่ 2 รูปแบบการพัฒนาการท่องเที่ยวฟ้ามืด

โดยการดำเนินโครงการในปีที่ 1 มีกิจกรรมการดำเนินงานระหว่างปี พ.ศ. 2566-2567 ณ วิสาหกิจชุมชนกลุ่มเกษตรกรฮ่อมลมจอยทั้งหมด 5 กิจกรรม ได้แก่

1. กิจกรรม สร้างมัคคุเทศก์ชุมชน เป็นการอบรมมัคคุเทศก์ชุมชนที่มาจากสมาชิกในกลุ่ม จำนวน 24 คน ทั้งเยาวชนและประชาชนในหมู่บ้าน ที่สามารถอ่าน และสื่อสารภาษาไทยได้เป็นอย่างดี ให้มีทักษะในการตอนรับนักท่องเที่ยวและร่วมกันออกแบบเส้นทางและกิจกรรมการท่องเที่ยว ผ่านศูนย์บริหารเครือข่ายการผลิตและพัฒนากำลังคนอาชีวศึกษา สาขาการท่องเที่ยว วิทยาลัยอาชีวศึกษาเชียงราย

2. กิจกรรมที่ นักเล่าเรื่องชุมชน ในเรื่อง การดูดาว ผู้วิจัยพบว่า ฮ่อมลมจอยมีจุดเด่นทางดาราศาสตร์ 2 ประเด็น ได้แก่ 1.) บริเวณที่ใช้เป็นโลโก้ของสถานที่ ซึ่งเป็น "ฮ่อมลม" หรือช่องเขา เมื่อมองจากที่พักจะเห็น “ดาวเหนือ” พอดี (ดังรูปที่ 2) นอกจากจะดูดาวแล้ว นักท่องเที่ยวยังสามารถสังเกตดูเห็นเครื่องบินผ่านท้องฟ้าได้เป็นระยะ ซึ่งบ่งบอกว่าเป็นสถานที่ ๆ อยู่ไม่ไกลจากเมือง ฟ้ามืดทันทีหลังจากดวงอาทิตย์ตก ประมาณหนึ่งทุ่มในฤดูหนาว จะสามารถมองเห็นดาวศุกร์เหนือม่อนดอยทางทิศตะวันตก กลางศรีษะจะเห็นกลุ่มดาวราศรีพฤษภ ซึ่งเห็นดาวตาวัว (สีแดง) กับกระจุกดาวลูกไก่บริเวณโหนกวัวเด่นชัดมาก (ดังรูปที่ 3) ขณะที่อีกด้านหนึ่งของท้องฟ้า ด้านทิศตะวันออกจะเห็นเนบิวลานายพราน เรียกได้ว่าเห็นดาวเด่นส่วนใหญ่บนท้องฟ้าได้ทันทีหลังดวงอาทิตย์ตก 2.) ระดับท้องฟ้ามืด ทันทีขณะหลังดวงอาทิตย์ตกมีค่า 20.5 แมกนิจูด และมืด 20.5-20.8 แมกนิจูดประมาณสองทุ่ม และมีฟ้ามืดสุดของคืนที่เวลาประมาณตีสี่ที่ระดับ 21.08 แมกนิจูด ซึ่งฟ้ามืดระดับ 20.5-21.08 แมกนิจูดนี้ สามารถขึ้นทะเบียนเขตอนุรักษ์ฟ้ามืดประเภทฟ้ามืดชานเมือง (Suburban dark sky) ได้

รูปที่ 3 ภาพถ่ายภูมิทรรศ์แสดงจุดเด่นทางดาราศาสตร์ของฮ่อมลมจอย แสดงตำแหน่งของดาวเหนือ (จุดสีขาวกลางภาพที่ไม่มีลักษณะเป็นเส้น) ที่อยู่เหนือ “ฮ่อมลม” หรือช่องลมที่เกิดจากแนวสันเขา เครื่องบิน (เส้นตรงสีขาวที่พุ่งขึ้นจากกลางภาพถึงมุมบนซ้าย) ที่แสดงถึงระยะทางที่ไม่ไกลจากสนามบินที่อยู่ในตัวเมือง

3. กิจกรรม สร้างเส้นทางการเดินป่าตามมาตรฐานเส้นทางเดินป่าระดับระดับ 1 เป็นกิจกรรมการร่วมมือระหว่างชาวบ้าน เจ้าน้าที่ภาครัฐ และวิทยากรในการทำเส้นทางเดินป่าให้น่าสนใจและใช้ระบบภูมิสารสนเทศในการระบุพิกัดแพื่อหาความชัดและระยะทางในการเดินทาง

4. กิจกรรม จัดทำระบบฐานข้อมูลและระบบสารสนเทศ สำหรับกิจกรรมการท่องเที่ยวฮ่อมลมจอย เป็นการจัดทำเว็ปไซต์สำหรับจองห้องพัก กิจกรรม และพร้อมระบบเก็บข้อมูลของผู้เข้าพัก แบบสองภาษา (ไทย และ อังกฤษ) และมีการเข้าระบบของ ลูกค้าและ ผู้ประกอบการแยกกัน

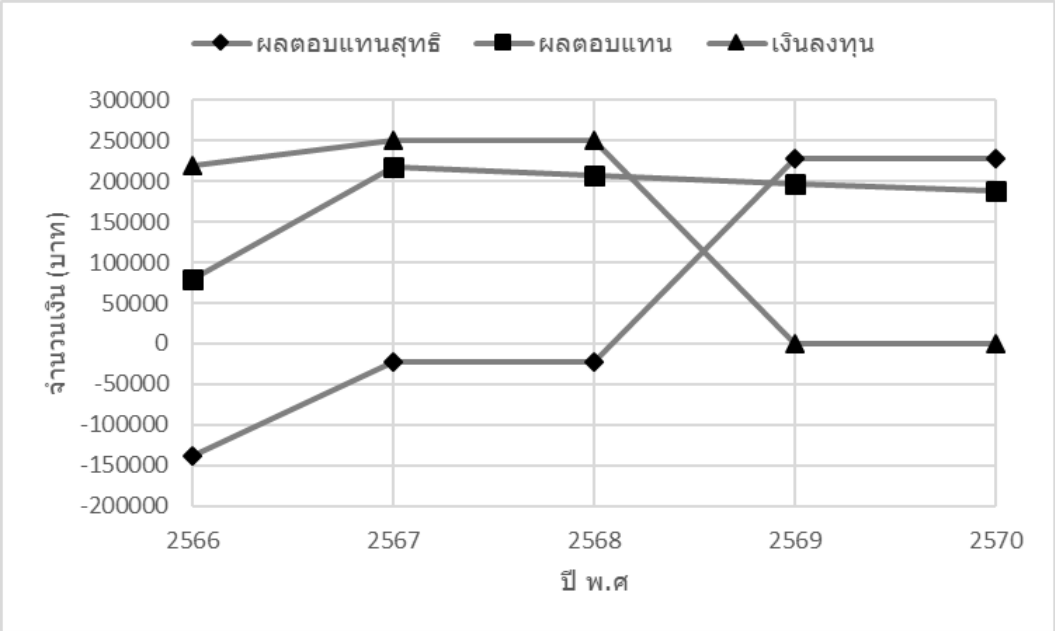
5 กิจกรรมพัฒนาการทำผลิตภัณฑ์จากผึ้ง โดยการพัฒนาการพัฒนาผลิตภัณฑ์ สบู่และเทียนหอม และขอรับรองมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์สบู่จำนวน 3 สูตร ดังนี้ มะขาม น้ำผึ้ง กาแฟ ราคาก้อนละ 69 บาท ผลิตภัณฑ์เทียนหอม 3 แบบ ราคา 49 บาท

3. ผลการประเมินรูปแบบการท่องเที่ยวฟ้ามืด

จากผลการดำเนินการและผลกระทบทางเศษฐกิจ สังคม สิ่งแวดล้อม ของโครงการร้อยรักตี้ฮ่อมลมจอย เราได้ทำการวิเคราะห์ผลตอบแทนทางสังคม โดยใช้ฐานประเมินความเป็นไปได้ จากผู้เข้ามาใช้บริการในปีที่แล้วจำนวนประมาณ 2,000 - 3,000 คน ที่จะสามารถอนุมานรายได้ในปี 2567-2570 จากการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากน้ำผึ้งกำไร 361 บาท/ชุด (สบู่) คาดว่าขายได้ 100 ชุด การแปรรูปผลิตภัณฑ์จากน้ำผึ้งกำไร 12 บาท/ชิ้น (สบู่) คาดค่าขายได้ 1000 ชิ้น ผู้ประกอบการได้ค่าจัดสุทธิกิจกรรมละ 1000 บาทต่อครั้ง คาดว่าจะได้จัดกิจกรรม 10 วันต่อเดือน และมัคคุเทศก์ชุมชนสามารถสร้างรายจากการเป็นมัคคุเทศก์ในกิจกรรมประมาณ 500 บาทต่อครั้ง คาดว่าจะได้จัดกิจกรรม 10 วันต่อเดือน และชุมชนจะมีค้าจ้างแปรรูปผลิตภัณฑ์จากน้ำาผึ้ง ชิ้นละ 7 บาท คาดว่าจะต้องผลิตปีละ 2000 ชิ้น

ทั้งหมดนี้ถูกเป็นข้อมูลในการคำนวณ ผลตอบแทนทางสังคม ที่อนุมานว่าต้องลงทุน 5 ปี ปีละ 250,000 บาท ที่อัตราเงินเฟ้อ ร้อยละ 3 โดยทำการพยากรณ์จำนวน 5 ปี นับจากปี พ.ศ 2566 ซึ่งผลการวิเคราะห์ สรุปได้ว่า มูลค่าปัจจุบันสุทธิ คือ

383,701 บาท อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุนอยู่ที่ 1.56 และมีอัตราผลตอบแทนอยู่ที่ร้อยละ 44 ซึ่งเป็นการลงทุนที่คุ้มค้าเป็นอย่างมากกับชุมชน ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 แบบจำลองการวิเคราะห์ผลตอบแทนทางสังคม

การประเมินความพึงพอใจต่อโครงการได้รวมรวมข้อมูลจากแบบสอบถามความพึงพอใจต่อการดำเนินกิจกรรมในโครงการของผู้เข้าร่วมกิจกรรมทั้ง 5 กิจกรรม โดยจากการประเมินพบว่า ผู้เข้าร่วมกิจกรรมมีความพึงพอต่อ ด้านกระบวนการขั้นตอนการให้บริการ ด้านเจ้าหน้าที่ผู้ให้บริการ/วิทยากร/ผู้ประสานงาน ด้านการอำนวยความสะดวก และด้านความพึงพอใจต่อภาพรวมของโครงการ อยู่ในระดับดีเยี่ยม และด้านคุณภาพการให้บริการอยู่ในระดับดี จึงสรุปได้ว่าการจัดทำโครงการร้องรักตี๊ฮ่อมลมจอยมีผลการประเมินความพึงพอใจจากผู้เข้าอบรมอยู่ในระดับดีเยี่ยม สำหรับข้อเสนอแนะของผู้เข้าอบรมที่พบมากก็คือการอยากให้มีกิจกรรมแบบนี้อีกในชุมชน และสิ่งที่ผู้เข้าอบรมพึงพอใจในก็คือ ความเป็นกันเองของผู้จัดอบรมและวิทยากร ตลอดจนความรู้ที่ได้รับมีประโยชน์ในการพัฒนาตนเอง โดยรายละเอียดแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การประเมินความพึงพอใจต่อโครงการ

ด้าน	ค่าเฉลี่ย	SD	ความหมาย
1. กระบวนการ ขั้นตอนการให้บริการ	**4.51**	**0.06**	**ดีเยี่ยม**
1.1 การประชาสัมพันธ์โครงการ ฯ	4.47	0.51	ดี
1.2 ความเหมาะสมของสถานที่	4.47	0.51	ดี
1.3 ความเหมาะสมของระยะเวลา	4.57	0.50	ดีเยี่ยม
1.4 ความเหมาะสมของช่วงเวลาที่จัด	4.47	0.51	ดี
1.5 การจัดลำดับขั้นตอนของกิจกรรม	4.60	0.50	ดี
2. เจ้าหน้าที่ผู้ให้บริการ/วิทยากร/ผู้ประสานงาน	**4.50**	**0.12**	**ดีเยี่ยม**
2.1 ความรอบรู้ ในเนื้อหาของวิทยากร	4.37	0.56	ดี
2.2 ความสามารถในการถ่ายทอดความรู้	4.67	0.48	ดีเยี่ยม
2.3 การตอบคำถาม	4.50	0.51	ดีเยี่ยม
2.4 ความเหมาะสมของวิทยากร ในภาพรวม	4.47	0.51	ดี
3. การอำนวยความสะดวก	**4.53**	**0.34**	**ดีเยี่ยม**
3.1 เอกสาร	4.63	0.49	ดีเยี่ยม
3.2 โสตทัศนูปกรณ์	4.50	0.51	ดีเยี่ยม
3.3 เจ้าหน้าที่สนับสนุน	4.60	0.50	ดีเยี่ยม
3.4 อาหาร, เครื่องดื่มและสถานที่	4.40	0.50	ดี
4. คุณภาพการให้บริการ	**4.46**	**0.10**	**ดี**
4.1 ท่านได้รับความรู้ แนวคิด ทักษะและประสบการณ์ใหม่ ๆ	4.43	0.50	ดี
4.2 ท่านสามารถนำสิ่งที่ได้รับจากโครงการไปปฏิบัติ	4.33	0.48	ดี
4.3 สิ่งที่ท่านได้รับจากโครงการครั้งนี้ตรงตามความคาดหวังของท่านหรือไม่	4.47	0.51	ดี
4.4 สัดส่วนระหว่างการฝึกอบรมภาคทฤษฎีกับภาคปฏิบัติ มีความเหมาะสม	4.43	0.50	ดี
4.5 โครงการเอื้ออำนวยต่อการเรียนรู้และพัฒนาความสามารถของท่านหรือไม่	4.47	0.51	ดี
4.6 ประโยชน์ที่ท่านได้รับจากโครงการ	4.63	0.49	ดีเยี่ยม
5. ความพึงพอใจต่อภาพรวมของโครงการ	**4.57**	**0.50**	**ดีเยี่ยม**

อภิปรายผลการวิจัย

กลยุทธ์การพัฒนาชุมชนสู่แหล่งท่องเที่ยวฟ้ามืด ประกอบไปด้วย 1. สร้างแผนการพัฒนาชัดเจน 2. พัฒนาระบบการจัดการที่พัก 3. สร้างระบบงานที่ชัดเจน 4. การพัฒนาบุคลากร 5. การส่งเสริมความรู้ 6. การสร้างมาตรฐานและการตลาด 7. สร้างความกล้าแสดงออก เป็นกลยุทธ์เชิงแก้ไขจากโอกาสใหม่ที่เข้ามาด้วยนโยบายนโยบายการท่องเที่ยวเชิงดาราศาสตร์ของการท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย สอดคล้องกับงานวิจัยของ วรินทร์ทิพย์ Kumlangphae (2020) ที่เน้นการพัฒนาฝีมือแรงงานรุ่นหลังให้มีทั้งทักษะ อีกทั้ง กลยุทธ์การพัฒนาแหล่งท่องเที่ยวอย่างยั่งยืนในจังหวัดพระนครศรีอยุธยาของ Mekdee, Watcharajit, & Khuntiwattanakul (2021) ก็ยังแสดงถึงกลยุทธ์ด้านการเพิ่มผลประโยชน์ทางเศรษฐกิจแก่ชุมชน ด้านการเพิ่มประโยชน์แก่สิ่งแวดล้อม และภาพรวมด้านการบริหารจัดการความยั่งยืน มาเป็นอันดับแรก

ในขณะที่รูปแบบการพัฒนาการท้องเที่ยวฟ้ามืด ที่เป็นแผนพัฒนาจำนวน 3 ปี โดยในปีแรกจะเน้นการพัฒนาพื้นที่ทั้ง กิจกรรมและบุคาลากร ในปีที่สองเน้นการสร้างมาตรฐานให้เป็นที่ยอมรับทั้งผลิตภัณฑ์ สถานที่ และกิจกรรม ในปีสุดท้ายจะสร้ายความยั่งยืนให้กับวิสาหกิจชุมชนกลุ่มเกษตรกรฮ่อมลมจอยยังสอดคล้องกับกลยุทธ์ที่ใช้ในการพัฒนารูปแบบการท่องเที่ยวอย่างยั่งยืนขององค์การบริหารส่วนตำบลตามหลักประชารัฐที่เน้น พัฒนาศักยภาพชุมชน นวัตกรรมการท่องเที่ยว ศักยภาพบุคลากรในชุมชน ส่งเสริมการท่องเที่ยวทางธรรมชาติของ Putchakan, Panthong & Ruengthip (2023)

สำหรับการผลการประเมินรูปแบบการท่องเที่ยวฟ้ามืดมีผลตอบแทนทางสังคมอยู่ที่ 1.56 บาท ซึ่งมีมูลค่าน้อยกว่าการรจัดกิจกรรมงานวิ่ง ผลตอบแทนทางสังคมจากการดำเนินธุรกิจวิสาหกิจชุมชนเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงกีฬาในการจัดงานวิ่งจอมบึงมาราธอนกรณีศึกษา ศูนย์การเรียนรู้อยู่เย็นเป็นสุข วิถีไทยรามัญซึ่งทำประโยชน์ให้กับสังคมเท่ากับ 6.73 บาท ซึ่งถูกวิเคราะห์โดย Naksanee, Sangkhae & Phithuk (2022) แต่ทว่ามูลค่าไม่แตกต่างการประเมินผลตอบแทนทางสังคมจากการลงทุนของ Ariyawong (2021) ต่อกลุ่มทอผ้ากี่กระตุกไหล่หินตะวันตก อำเภอเกาะคา จังหวัดลำปาง ที่ทำประโยชน์ให้กับสังคมเท่ากับ 0.99 บาท มากนัก แต่ยังมีผลลัพธ์ของกิจกรรมกลุ่มก่อให้เกิดผลตอบแทนทางสังคมที่มากกว่ามูลค่าลงทุนตั้งต้นอยู่ จึงอาจจะพัฒนาแนวทางใหม่เพื่อเพิ่มผลตอบแทนให้มากขึ้นกว่านี้ได้

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้พบว่าเราสามารถพัฒนารูปแบบการท่องเที่ยวภายใต้ข้อจำกัดเชิงพื้นที่อันห่างไกลความเจริญ และมีมลภาวะทางแสงน้อย โดยให้ความรู้และสนับสนุนการท่องท่องเที่ยวฟ้ามืดในบริเวณจังหวัดเชียงและพื้นที่ชายแดนใกล้เคียง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสามารถเพิ่มรายได้ให้กับชุมชนได้อย่างเป็นรูปธรรม และยังเป็นรูปแบบการท่องเที่ยวที่ยั่งยืน ซึ่งในมิติทางดาราศาสตร์การท่องเที่ยวฟ้ามืดจะช่วยให้มนุษย์ตระหนักถึงสถาวะมลพิษทางแสงที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ที่ไม่เพียงส่งผลกระทบต่อการมองเห็นวัตถุท้องฟ้า แต่ยังส่งผลกระทบกระทบกับทั้งมนุษย์ สัตว์ และพืช เช่น การพบว่าร่างการมนุษย์จะหลั่งฮอร์โมนเมลาโทนินลดลงทำให้มีปัญหาการนอนไม่เพียงพอ สัตว์ (โดยเฉพาะสัตว์ที่ออกหากินตอนกลางคืน) มีพฤติกรรมการหากินและการย้ายที่อยู่ที่เปลี่ยนไป แมลงมีวงจรชีวิตที่สั้นลงเนื่องจากเหน็ดเหนื่อยกับการบินตอมแสงไฟจากหลอดไฟ และกลางคืนที่ไม่มืดพอทำให้พืชขยายเวลาในการสังเคราะห์แสงและพักผ่อนน้อยลง

ข้อเสนอแนะเชิงวิจัยและพัฒนา

งานวิจัยด้านการจัดทำและเฝ้าติดตามความสว่างของท้องฟ้าเหนือประเทศไทยในอดีตถึงปัจจุบัน และประเทศเพื่อนบ้านซึ่งยังไม่มีประเทศใดในอาเซียนทำมาก่อน จึงเป็นสิ่งที่สำคัญกระทำเป็นอย่างยิ่ง

ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย

เมื่อประเทศไทยมีการสร้างแผนที่ฟ้ามืดครอบคลุมทั้งประเทศและมีเฝ้าติดตาม รัฐบาลสามารถใช้ประโยชน์จากแผนที่ฟ้ามืดนี้ในการวางแผนจัดระเบียดการใช้พื้นที่ (zoning) หรือแนะนำการประกอบอาชีพที่เหมาะสม ยั่งยืน และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมให้แก่ประชาชนได้

เอกสารอ้างอิง

Bogard, P. (2013). *The End of Night: Searching for Natural Darkness in an Age of Artificial Light.* Boston: Little Brown and Company.

Bennie, J., Davies, T. W., Cruse, D., & Gaston, K. J. (2016). “Ecological effects of artificial light at night on wild plants”. *Journal of Ecology*. 104(3): 611-620.

Buckley, R. (2019). Environmental impacts of tourism on the Galapagos Islands. In Handbook of Research on Environmental Policies for Sustainable Growth and Development. Hershey: IGI Global.

Changruenngam, T. Deetha, D, Sukkai, C., Youyuenyong, P., Sarotsakulchai, N. & Surina, F. (2023) "The first dark sky map of Chiang Rai : three decades of change affecting Astro-tourism", *Journal of Physics Conference Series.* 2653. 012027

Cinzano, P., Falchi, P. F. & Elvidge, C. D. (2001). "The first World Atlas of the artificial night sky brightness". *Monthly Notices of Royal Astronomical Society. 328*: 689-707.

Coles, T. (2016). "Astro-tourism: Opportunities and challenges for rural destinations". Tourism Management Perspectives. 19: 1-11.

DaMatta, F. M. & Ramalho, J. D. V. (2006). "Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review". *Brazil Journal of Plant Physiology.* 18(1): 55-81.

Dolnicar, S., & Leisch, F. (2008). Selective marketing for environmentally sustainable tourism—Tourist perceptions of a national park's Dark Sky Park initiative. Journal of Travel Research. 47(1), 140-151.

Dredge, D. (2010). "Tourism in the city: Towards an integrated approach for city tourism research". Tourism Review International. 14(3): 179-192.

Duriscoe, D. M., et al. (2018). "A simplified model of all-sky artificial sky glow derived from VIIRS Day/Night band data". *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer.* 214: 133-145.

Elvidge, C. D., et al. (2017). "VIIRS night-time lights". *International Journal of Remote Sensing.* 38 (21): 5860-5879.

Falchi, P. F., et al. (2016). "The new world atlas of artificial night sky brightness" *Science Advance.* 2 e1600377

Gallaway, T., et al. (2010). "The economics of global light pollution". Ecological Economics. 69(3): 658-665.

Gaston, K. J., et al. (2013). "The ecological impacts of nighttime light pollution: a mechanistic appraisal". *Biological reviews of the Cambridge Philosophical Society.* 88(4): 912-27.

Hölker, F., et al. (2010). "Light pollution as a biodiversity threat". **Trends of Ecology Evolution.** 25: 681-2.

International Dark sky Association. (2007, April 19). *IDA approves Utah's Natural Bridges National Monument Becomes First International Dark Sky Park.* [Press release] https://web.archive.org/web/20081115023700/http://data.nextrionet.com/site/idsa/PR_Natural_Bridges_2007.pdf

Kulasin, B. et al.. (2022). "Using thermal infrared camera to assess temperature canopy of robusta coffee trees in shade and full sun conditions". **Khon Kaen Agriculture Journal.** 50(1): 224-231.

Longcore, T. & Rich, C. (2004). "Ecological Light Pollution". *Frontier Ecology and Environment.* 2 (4): 191-198.

Mekdee, K., Watcharajit, S., & Khuntiwattanakul, S. (2021). " The Strategies of Sustainable Destination Development in Phranakhon Si Ayuttha Province" . *Journal of Educational Review Faculty of Education in MCU.* 8(2): 281-300.

Naksanee, T., Sangkhae, R. & Phithuk, A. (2022). “Social Return on Investment from Community Enterprise Business to Promote Sports Tourism in the Organization of Chom Bueng Marathon: A Case Study of Uyenpensook Thai-Mon Folkway Learning Center” *Journal of Lawasri.* 6(1): 88-105.

National Astronomical Research Institute of Thailand (NARIT). (7 December 2020). *TTT signed MOU with NARIT on promoting astronomical tourism.* [Press release] https://darksky.narit.or.th/news/stargazing-travel/#.

National Astronomical Research Institute of Thailand (NARIT). (20 July 2023). *NARIT points out 18 tourism destinations for certified dark sky sites in Thailand.* [Press release] https://darksky.narit.or.th/.

Sharpley, R. & Stone, P. R. (2009). The Darker Side of Travel: The Theory and Practice of Dark Tourism. Bristol: Channel View Publications.

Small, C. & Elvidge, C. D. (2 0 1 1). “Mapping decadal change in anthropogenic night light”. *Procedia Environmental Science.* 7: 353-358

Stevens, R. G., et al. (2 0 1 4). “Breast cancer and circadian disruption from electric lighting in the modern world” *CA: A Cancer Journal for Clinicians.* 64 (3): 207-218.

Yong, Z, et al. (2 0 2 2). “Integrating DMSP-OLS and NPP-VIIRS nighttime light data to evaluate poverty in southwestern China”. *Remote Sensing.* 14: 600-619.

Ariyawong, P. (2021). “ The Social Return of Investment (SROI) Evaluation for Sustainable Development of Loom Weaving of Western Lai Hin, Koh Kha District, Lampang”. *Journal of Public Asministration and Politics.* 10(2): 147-166.

Kumlangphae, W. (2020). “Setting up a Strategic to Enhance Competitiveness for Thai OTOP Products”. *Western University Research Journal of Humanities and Social Science.* 6(1): 146-154.

Putchakan, S., Panthong, K. & Ruengthip, P. (2023). “A Development of Sustainable Tourism of Sub-district Administrative Organization Based on Civil State Principle: Grounded Theory”. *Journal of Roi Kaensarn Academi*. 8 (6): 426-443.

Journal of Science and Technology Phetchabun Rajabhat University Volume 4 Number 2 (2024)

การส่งเสริมพัฒนาการเด็กกลุ่มเสี่ยงด้วย Line chatbot และ Machine Learning
Promoting the development of a high-risk child using Line Chatbot and Machine Learning

กนกพร ช่างเรือนงาม[1], วณิชยา วันไชยธนวงศ์[1], จำรัส กลิ่นหนู[2], ณรงค์ศักดิ์ ศรีสม[2], สุรัสวดี นางแล[3] และธนายุทธ ช่างเรือนงาม[3*]

Kanokporn Changruenngam[1], Vanichaya Wanchaitanawong[1], Jumrus Klinhnu[2], Narongsak Srisom[2] Suruswadee Nanglae[3] and Thanayut Changruenngam[3*]

[1] กลุ่มงานกุมารเวชกรรม โรงพยาบาลเชียงรายประชานุเคราะห์ จังหวัดเชียงราย 57000

[2] คณะเทคโนโลยีดิจิทัล มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย จังหวัดเชียงราย 57100

[3] คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย จังหวัดเชียงราย 57100

[1]Pediatrics Unit, Chiangrai Prachanukroh Hospital, Chiang Rai 57000

[2]Faculty of Digital Technology, Chiang Rai Rajabhat University, Chiang Rai 57100

[3]Faculty of Science and Technology, Chiang Rai Rajabhat University, Chiang Rai 57100

*Corresponding author E-mail: Thanayut.cha@crru.ac.th

บทคัดย่อ

การส่งเสริมพัฒนาการเด็กแรกเกิดจนถึง 5 ปี จำเป็นอย่างยิ่งเนื่องจากสมองของเด็กจะพัฒนาอย่างรวดเร็วที่สุด โดยสมองจะสร้างเครือข่ายเซลล์ประสาท (Neural Connections) หลายพันล้านจุดในแต่ละวินาที การกระตุ้นอย่างเหมาะสม เช่น การสัมผัส การพูดคุย และการเล่น ช่วยส่งเสริมการเชื่อมโยงของเซลล์สมอง ทำให้เด็กมีพื้นฐานการเรียนรู้ที่แข็งแรง แต่ด้วยปัญหาความแออัดในการไปโรงพยาบาลและโรคไวรัสโควิด 19 ทำให้เป็นเรื่องยากในการเข้าถึงบริการด้านการส่งเสริมพัฒนาการของเด็ก โดยใช้คู่มือประเมินและส่งเสริมพัฒนาการเด็กปฐมวัยสำหรับประเมินพัฒนาการเด็กปฐมวัย ใน 5 ด้าน ได้แก่ Gross Motor (GM) หมายถึง พัฒนาการด้านการเคลื่อนไหว, Fine Motor (FM) หมายถึง พัฒนาการด้านกล้ามเนื้อมัดเล็กและสติปัญญา, Receptive Language (RL) หมายถึง พัฒนาการด้านการเข้าใจภาษา, Expressive Language (EL) หมายถึง พัฒนาการด้านการใช้ภาษา และ Personal and Social (PS) หมายถึง พัฒนาการด้านการช่วยเหลือตนเองและสังคม งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการพัฒนาแชทบอทส่งเสริมพัฒนาการเด็กเพื่อลดปัญหาดังกล่าวด้วย Line chatbot การสร้างแบบจำลองป่าแบบสุ่ม (Random Forest) และแบบจำลองตัวแบบเชิงเส้นวางนัยทั่วไป (Generalized Linear Models : GLMs) จากข้อมูลพัฒนาการเด็กตั้งแต่ พ.ศ.2557 ถึง พ.ศ. 2562 ด้วยโปรแกรม RapidMiner Studio Educational Ver.9.5.001 และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการพยากรณ์ของแบบจำลองด้วยค่าความแม่นยำ (Accuracy) และ Area under the Curve (AUC) โดยผลการวิจัยพบว่า การพัฒนาแชทบอทสำหรับส่งเสริมพัฒนาการของกลุ่มเด็ก ทำให้การประเมินพัฒนาการเด็กของผู้ปกครองทำได้ง่ายขึ้นมีความสะดวกและรวดเร็ว สามารถเก็บรวบรวมข้อมูลแบบเรียลไทม์ และ แบบจำลองตัวแบบเชิงเส้นวางนัยทั่วไปมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าแบบจำลองป่าแบบสุ่ม

คำสำคัญ : คู่มือประเมินและส่งเสริมพัฒนาการเด็ก, Line chatbot, แบบจำลองป่าแบบสุ่ม, แบบจำลองตัวแบบเชิงเส้นวางนัยทั่วไป

Abstract

Promoting the development of children from birth to 5 years is essential because children's brains develop at the fastest rate. The brain creates billions of neural connections every second. Appropriate stimulation such as touching, talking and playing help promote brain cell connections, giving children a strong learning foundation. however, challenges such as overcrowding at hospitals and the COVID-19 pandemic have made it difficult for parents to access child development promotion services. This study utilizes the Early Childhood Development Assessment and Promotion Manual to evaluate the development of young children in five areas: Gross Motor (GM), Fine Motor (FM), Receptive Language (RL), Expressive Language (EL), and Personal and Social (PS). The objective of this research is to develop a chatbot on the LINE platform to facilitate child development promotion, aiming to alleviate the aforementioned challenges. The study employs Random Forest models and Generalized Linear Models (GLMs), trained using child development data collected from 2014 to 2019, with the RapidMiner Studio Educational Version 9.5.001 software. The performance of these models was evaluated based on Accuracy and Area Under the Curve (AUC). The findings indicate that the development of a chatbot for child development promotion significantly enhances the ease, convenience, and speed of parental child development assessments. The chatbot also enables real-time data collection. Furthermore, the results reveal that the Generalized Linear Model outperforms the Random Forest model in predictive efficiency.

Keywords: Developmental Assessment for Intervention Manual, Line chatbot, Random Forest, Generalized Linear Models

บทนำ

เด็กวัยแรกเกิด – 5 ปีเป็นวัยที่สำคัญที่สุดของชีวิตเรียกว่าเด็กปฐมวัยซึ่งเป็นวัยของการพัฒนาการเจริญเติบโตทั้งทาง ร่างกาย อารมณ์และสติปัญญา จึงมีความสำคัญในการพัฒนาเด็กในวัยนี้เพื่อยกระดับในการพัฒนาประเทศ ปัจจุบันแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 12 ได้ให้ความสำคัญกับการพัฒนาการเด็กปฐมวัยซึ่งเป็นรากฐานที่สำคัญสำหรับการพัฒนาคุณภาพคน จากการสำรวจพัฒนาการเด็กแรกเกิด– 5 ปีของกรมอนามัย ปี 2561 พบว่าเด็กมีพัฒนาการสมวัยร้อยละ 70 และร้อยละ 30 มีพัฒนาการไม่สมวัย จากจำนวนประชากรเด็กทั้งหมด 4 ล้านคน แสดงว่าเด็กวัยนี้ยังมีพัฒนาการไม่ถึงเกณฑ์ที่กำหนดซึ่งอาจมาจากสาเหตุปัจจัยหลายประการ การส่งเสริมพัฒนาการเด็กที่ดีจะต้องมีการคัดกรองหาความผิดปกติตั้งแต่ระยะเริ่มต้น (Early Detection) เพื่อให้การช่วยเหลือได้อย่างทันท่วงที (Early Intervention) ปัจจุบันกรมสุขภาพจิตได้สำรวจระดับสติปัญญาเด็กไทยวัยเรียน (IQ) พบมีค่าต่ำลง เฉลี่ยเท่ากับ 94.73 ซึ่งต่ำลงเกือบ 3 จุด เมื่อเทียบกับการสำรวจในปี พ.ศ.2559 ที่มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 98.2 โดยสาเหตุมาจากเด็กไทยมีต้นทุนต่ำทางพัฒนาการ รวมถึงการใช้สื่ออิเล็กทรอนิกส์ การเล่นเกมที่มากเกินไป และผู้ปกครองเด็กไม่ส่งเสริมและกระตุ้นพัฒนาการเด็กตามวัย และจากรายงานเผยแพร่สถิติการใช้งานดิจิทัลในปี 2561 พบว่า ผู้ใช้งานอินเตอร์เน็ตในประเทศไทย มีจำนวน 57 ล้านราย คิดเป็น 82% ของประชากรทั้งหมด โดยมีผู้ใช้ internet ผ่านมือถือจำนวน 55 ล้านราย คิดเป็น 79% ของประชากรทั้งหมด และเวลาเฉลี่ยต่อวันในการเล่น internet คือ 9 ชั่วโมง 11 นาที โดย 3 ชั่วโมง 11 นาทีเป็นการใช้งานโซเชียลมีเดีย ซึ่งเฟสบุ๊คเป็นแพลทฟอร์มที่มีผู้ใช้งานมากที่สุดถึงร้อยละ 93 ผู้ใช้งานอินเตอร์เน็ตทั้งหมด

รวมถึงร้อยละ 76 ผู้ที่ใช้งานโซเชียลมีเดียอยู่ในช่วงอายุ 18 - 44 ปี ซึ่งอยู่ในช่วงอายุที่เป็นวัยที่พ่อแม่ ดังนั้นจึงอาจกล่าวสรุปได้ว่าผู้ปกครองของเด็กส่วนใหญ่ใช้แพลทฟอร์มโซเชียลมีเดียอยู่เป็นประจำ (DataReportal, 2019)

การพัฒนา LINE Chatbot สำหรับบริการด้านการดูแลสุขภาพสามารถเพิ่มการเข้าถึงและประสิทธิภาพในการให้ความช่วยเหลือทางการแพทย์ได้อย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติ ด้วยการใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยี เช่น ปัญญาประดิษฐ์และการประมวลผลภาษาธรรมชาติ แชทบอทด้านการดูแลสุขภาพบน LINE สามารถนำเสนอปฏิสัมพันธ์ส่วนบุคคล ตอบคำถามทางการแพทย์ ทำนายโรคตามอาการและภาพรังสีวิทยา และให้ยา (J. Li, Dada, Kleesiek, & Egger, 2023) การใช้ LINE Chatbot เพื่อการดูแลสุขภาพ เช่น MedBot สามารถมอบแพลตฟอร์มที่สะดวกในการรับคำแนะนำทางการแพทย์ นำไปสู่ผลลัพธ์ด้านสุขภาพที่ดีขึ้นและลดต้นทุนการดูแลสุขภาพ (Mohd. Sameer & Santosh Kumar, 2023)

จากการสำรวจคลินิกพัฒนาการโรงพยาบาลเชียงรายประชานุเคราะห์ พบว่าผู้ปกครองไม่ตระหนักถึงความสำคัญในการใช้คู่มือประเมินและส่งเสริมพัฒนาการเด็กกลุ่มเสี่ยง (DAIM) (กระทรวงสาธารณสุข, 2023) ไม่ว่าจะเป็นในรูปแบบของหนังสือ หรือแอพพลิเคชั่น อันเนื่องมาจากสาเหตุในหลากหลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นทำหนังสือหาย หลงลืม ใช้แอพพลิเคชั่นไม่เป็น หรือไม่เข้าใจวิธีการกระตุ้น และจากสถิติการขาดนัดของเด็กกลุ่มเสี่ยงยังแสดงพฤติกรรมของผู้ปกครองด้านความตระนักถึงการส่งเสริมพัฒนาการอยู่ในระดับที่ต่ำ ซึ่งตลอด 4 ปี ตั้งแต่เปิดคลินิกพบว่าเด็กกลุ่มเสียงร้อยละ 32 ขาดนัดในการมาพบแพทย์ ปัญหาเหล่านี้ทำให้เกิดปัญหาเด็กไม่ได้รับการกระตุ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งส่งผลต่อพัฒนาการของเด็กปฐมวัย แต่กลุ่มผู้ปกครองเหล่านี้ส่วนใหญ่เล่นแอปพลิเคชันไลน์อยู่ตลอด ดังนั้น การจัดทำไลน์แชทบอท เพื่อส่งเสริมให้ผู้ปกครองได้กระตุ้นพัฒนาการเด็กอย่างถูกต้องเหมาะสมตามช่วงวัย พร้อมทั้งในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาเรื่องการเปรียบเทียบแบบจำลองการพยากรณ์ตามคู่มือเฝ้าระวังและส่งเสริมพัฒนาการเด็กปฐมวัย DAIM โดยการพยากรณ์จะใช้การสร้างแบบจำลองจากป่าแบบสุ่ม (Random Forest), ตัวแบบเชิงเส้นแบบวางนัยทั่วไป (GLMs) เพื่อเป็นเครื่องมือในการพัฒนาระบบปัญญาประดิษฐ์สำหรับการพัฒนาเป็นแพลตฟอร์มในการพยากรณ์ผลประเมินพัฒนาการของเด็กกลุ่มเสี่ยง

วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นกระบวนการสร้างนวัตกรรมโดยใช้การระดมความคิดจากผู้เชี่ยวชาญ โดยมีทั้ง พยาบาลและแพทย์ที่ประยุกต์ผู้ใช้เครื่องมือ นักวิชาการคอมพิวเตอร์ในการออกแบบระบบ และนักคณิตศาสตร์และนักสถิติสำหรับสร้างแบบจำลอง โดยมีวิธีการดำเนินการวิจัยอยู่ 2 ส่วนหลักคือ การพัฒนาระบบไลน์แชทบอทสำหรับประเมินและส่งเสริมพัฒนาการเด็กกลุ่มเสี่ยง และ การพัฒนาแบบจำลองสำหรับพยากรณ์ผลประเมินพัฒนาการของเด็กกลุ่มเสี่ยง

1. การพัฒนาระบบไลน์แชทบอทสำหรับประเมินและส่งเสริมพัฒนาการเด็กกลุ่มเสี่ยง

แอปพลิเคชันไลน์เป็นระบบโซเชียลมีเดียที่ใช้สื่อสารกับผู้ปกครอง ซึ่งถูกเชื่อมโยงด้วย แพลตฟอร์ม Dialog flow สำหรับสร้างแชทบอท ที่มีการเรียนรู้ของเครื่อง มาช่วยในการทำความเข้าใจถึงความต้องการในประโยคสนทนาของผู้ใช้งานสำหรับการตรวจคัดกรองพัฒนาการเด็กปฐมวัยโดยเจ้าหน้าที่ศูนย์ส่งเสริมพัฒนาการเด็ก ที่ใช้คู่มือประเมิน และส่งเสริมพัฒนาการเด็กกลุ่มเสี่ยง ซึ่งเป็นเครื่องมือที่เราใช้ในการพัฒนา Google Form สำหรับสร้างแบบประเมิน โดยจะแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ประเภทได้แก่ ประเภทที่หนึ่งการกรอกข้อมูลพื้นฐานประกอบไปด้วยข้อมูลเด็กและผู้ปกครอง ข้อมูลที่ได้จะถูกบันทึกในฐานข้อมูล Google Sheet ซึ่งสร้างสูตรในการคำนวณผลการประเมินพัฒนาการของเด็กแต่ละคน และข้อมูลเหล่านี้จะถูกแสดงผล แล้วนำเสนอในรูปแบบ Dash Board โดยใช้ Google Studio และ สำหรับระบบตอบกลับดูผลประเมินผู้ปกครองถูกสร้างขึ้นจากภาษา java

พัฒนารูปแบบการส่งเสริมพัฒนาการของเด็กกลุ่มเสี่ยงด้วยแชทบอท สร้างรูปแบบในการส่งเสริมพัฒนาการเด็กโดยเน้นการใช้แชทบอทเพื่อพัฒนาในองค์ประกอบที่จะส่งผลต่อพัฒนาการของเด็ก ได้แก่ การให้บริการด้านพัฒนาการที่เป็นระบบ การพัฒนาบุคลากรและผู้ปกครอง การติดตามและส่งต่อข้อมูล (สิริณัฏฐ์ โภคพัชญ์ภูเบศ และคณะ 2561)

2. การพัฒนาแบบจำลองสำหรับพยากรณ์ผลประเมินพัฒนาการของเด็กกลุ่มเสี่ยง

การศึกษาเพื่อเปรียบเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สำหรับการพยากรณ์ผลการประเมินพัฒนาการเด็กด้วยคู่มือประเมินและส่งเสริมพัฒนาการเด็กกลุ่มเสี่ยง มีขั้นตอนและวิธีการในการดำเนินการดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1 ตารางข้อมูลเชิงคุณภาพของตัวแปรอิสระ

ปัจจัย	ร้อยละ	
	a	b
มาตามนัด (มา/ไม่มา)	88.80	11.20
เพศ (ชาย/หญิง)	53.97	46.03
น้ำหนักตามอายุ (ตามเกณฑ์/ไม่ตามเกณฑ์)	97.13	2.87
การได้รับธาตุเหล็ก (ได้/ไม่ได้)	35.66	64.35
นมแม่ (ได้กิน/ไม่ได้กิน)	24.25	75.75
นมแม่และนมผสม (ได้กิน/ไม่ได้กิน)	17.49	82.51
นมผสม1 (ได้กิน/ไม่ได้กิน)	51.95	48.05
อาหาร (ได้กิน/ไม่ได้กิน)	45.90	54.10
นมผสม2 (ผสมถูก/ผสมไม่ถูก)	71.82	28.18
เด็กกลุ่มเสี่ยง (เป็น/ไม่เป็น)	18.30	81.70
โปรแกรมส่งเสริมพัฒนาการเด็กตามช่วงอายุ (เข้าร่วม/ไม่เข้าร่วม)	20.01	79.99
มาตรวจ (ส่งต่อ/ไม่ส่งต่อ)	3.02	96.98
ทารกที่ขาดออกซิเจนนาทีแรก (ขาด/ไม่ขาด)	32.41	67.59
ทารกน้ำหนักน้อยกว่า 2,500 กรัม (น้อย/ไม่น้อย)	62.84	37.16
คลอดก่อนกำหนด (ก่อนกำหนด/ไม่ก่อนกำหนด)	59.69	40.31
โรคสมาธิสั้น (เป็น/ไม่เป็น)	2.84	97.16
ออทิสติก (เป็น/ไม่เป็น)	2.35	97.65
ออทิส (เป็น/ไม่เป็น)	3.02	96.98
ดาวซินโดรมหรือออทิสติก (เป็น/ไม่เป็น)	2.72	97.28
ปัญญาอ่อน (เป็น/ไม่เป็น)	2.12	97.88
สมองพิการ (เป็น/ไม่เป็น)	2.26	97.74
พูดช้า (ช้า/ไม่ช้า)	3.93	96.07
สูญเสียการได้ยิน (เป็น/ไม่เป็น)	2.14	97.86
อาการหูหนวก (เป็น/ไม่เป็น)	6.06	93.94
โรคอื่นๆ (เป็น/ไม่เป็น)	14.67	85.33

หมายเหตุ a และ b คือ ตัวเลือกของแต่ละปัจจัย

2.1 การเก็บรวบรวมและจัดการข้อมูล

ใช้ข้อมูลแบบทุติยภูมิเด็กกลุ่มเสี่ยงช่วงอายุแรกเกิดถึงช่วงอายุ 5 ปี ที่มีพัฒนาการสงสัยล่าช้าด้านใดด้านหนึ่งหรือหลายด้านของโรงพยาบาลเชียงรายประชานุเคราะห์ในปี พ.ศ.2557 ถึง พ.ศ. 2562 จำนวน 7,305 ข้อมูล โดยทำการเลือกตัวแปรอิสระปัจจัยทางกายภาพเท่านั้น และใช้ข้อมูลรายบุคคลที่มีการบันทึกครบถ้วน และมีลักษณะที่เป็นไปได้ในทุก ๆ ปัจจัย และทำให้เหลือเด็กกลุ่มเสี่ยง 4,179 ข้อมูล โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 1 และ ตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตารางข้อมูลเชิงปริมาณของตัวแปรอิสระ

ปัจจัย	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
อายุ(ณ วันที่บันทึก)	108	1	54.5	75.66043
ส่วนสูง	130	50	90	56.56854
น้ำหนัก	35.4	3.6	19.5	22.486
รอบศีรษะ	55	17	34	5.076372
อายุแม่	48	6	26	6.850633
น้ำหนักแรกคลอด	มากกว่าเท่ากับ 2500 กรัม	ช่วง 1000 - 1499 กรัม	ช่วง 1500 - 2499 กรัม	1.039779
อายุครรภ์	มากกว่า 36 สัปดาห์	น้อยกว่า 28 สัปดาห์	น้อยกว่า 37 สัปดาห์	0.557457

2.2 สร้างและทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง

การสร้างแบบจำลองสำหรับพยากรณ์ผลประเมินพัฒนาการเด็กทั้ง 5 ด้าน ถูกสร้างขึ้นจากแบบจำลองเชิงเส้นวางนัยทั่วไป และป่าแบบสุ่ม รวม 20 แบบจำลอง โดยใช้โปรแกรม Rapidminer Studio Educational Ver. 9.5.001 ซึ่งแต่ละแบบจำลองถูกสร้างตามรายละเอียดดังนี้ การแจกแจงแบบทวินาม เป็นฟังก์ชันเชื่อมโยงที่ถูกใช้ในการสร้างแบบจำลองเชิงเส้นวางนัยทั่วไป :

$$\log\left(\frac{\mu}{1-\mu}\right) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \ldots + \beta_k x$$

โดย x คือ Model Matrix และ β คือ Vector of Parameter และเนื่องจากข้อมูลของตัวแปรตามเป็นข้อมูลผลการประเมินโดยมีคำตอบ เป็นพัฒนาการสงสัยล่าช้า และพัฒนาการสมวัย จึงกล่าวได้ว่าคำตอบของตัวแปรตามเป็นแบบทวินาม ปัจจัยทั้ง 34 ถูกใช้เป็นตัวแปรอิสระในการสร้างแบบจำลอง โดยกำหนดลักษณะของข้อมูลดังนี้ ตัวแปรอายุครรภ์ และน้ำหนักแรกคลอด ถูกกำหนดให้เป็นข้อมูลจำนวนเต็ม ตัวแปรอายุแม่ถูกกำหนดให้เป็นข้อมูลจำนวนจริง และกำหนดผลประเมินพัฒนาการเด็กให้เป็น Label สำหรับการสร้างโมเดล

สำหรับแบบจำลองป่าแบบสุ่ม ที่คำนวณผ่านค่าเอนโทรปี (Entropy) โดยนิยามของเอนโทรปีของต้นไม้ตัดสินใจ ดังนี้

$$E(s) = -p_1 \log_2 p_1 - p_2 \log_2 p_2 \ldots - p_n \log_2 p_n$$

เมื่อ S คือ ตัวอย่างซึ่งประกอบไปด้วยชุดข้อมูลตัวแปรต้นและตัวแปรตามหลายกรณี และ p_n คือ ความน่าจะเป็นของ n ซึ่งพัฒนาการด้านกล้ามเนื้อมัดใหญ่ถูกสร้างด้วยต้นไม้ตัดสินใจ 60 ต้น พัฒนาการด้านกล้ามเนื้อมัดเล็กและสติปัญญาถูกสร้างด้วยต้นไม้ตัดสินใจ 60 ต้น พัฒนาการด้านการใช้ภาษาถูกสร้างด้วยต้นไม้ตัดสินใจ 140 ต้นพัฒนาการด้านการเข้าใจภาษาถูกสร้างด้วยต้นไม้ตัดสินใจ 100 ต้น พัฒนาการด้านการช่วยเหลือตนเองและสังคมถูกสร้างด้วยต้นไม้ตัดสินใจ 60 ต้น

การทดสอบแบบจำลอง ใช้วิธีการแบ่งข้อมูลออกเป็น 10 Cross Validation และใช้เครื่องมือค่าความถูกต้อง (Accuracy) และค่าความน่าเชื่อถือของตัวแบบ (AUC) ในการสร้างแบบจำลอง

ผลการวิจัย

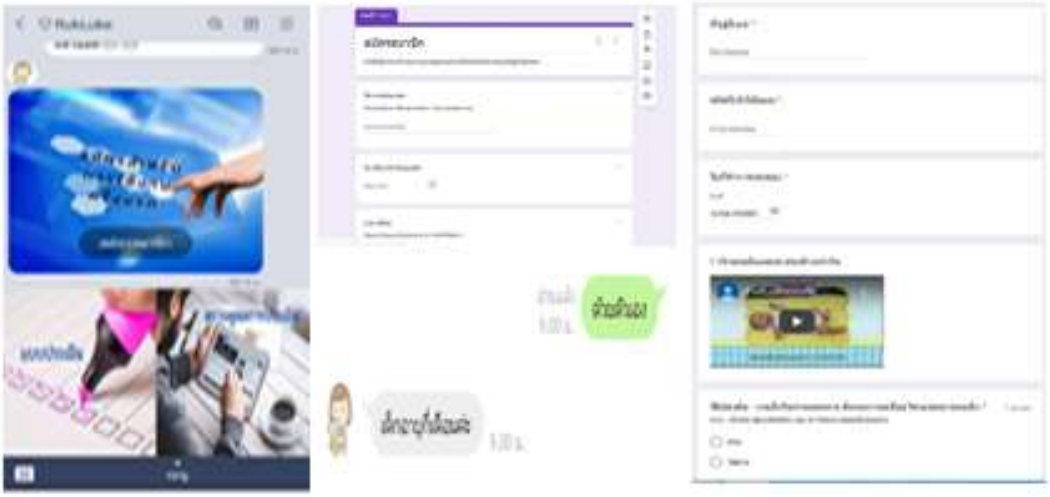
งานวิจัยนี้มีผลการวิจัยอยู่ 2 ส่วนหลักคือ การพัฒนาระบบไลน์แชทบอทสำหรับประเมินและส่งเสริมพัฒนาการเด็กกลุ่มเสี่ยง และ การพัฒนาแบบจำลองสำหรับพยากรณ์ผลประเมินพัฒนาการของเด็กกลุ่มเสี่ยง

1. ระบบไลน์แชทบอทสำหรับประเมินและส่งเสริมพัฒนาการเด็กกลุ่มเสี่ยง

การพัฒนาระบบส่งเสริมพัฒนาการเด็กแรกเกิดจนถึง 1 ปี โดย คู่มือเฝ้าระวังและส่งเสริมพัฒนาการเด็กปฐมวัยของสำนักงานหลักประกันสุขภาพ ผ่านการใช้แชทบอทเป็นแนวทางให้บุคลากรทางการแพทย์ประยุกต์ใช้เพื่อช่วยในการรวบรวมและนำเสนอข้อมูลแบบเรียลไทม์ ตามรูปแบบการส่งเสริมพัฒนาการของกลุ่มเด็กเสี่ยงด้วยแชทบอท (ภาพที่ 1)

ภาพที่ 1 รูปแบบการส่งเสริมพัฒนาการของกลุ่มเด็กเสี่ยงด้วยแชทบอท

ในการส่งเสริมพัฒนาการเด็กด้วยแชทบอท จำเป็นต้องได้รับความร่วมมือจากบุคลากรทางการแพทย์และผู้ปกครอง โดยมีขั้นตอนดำเนินกิจกรรมดังนี้ ผู้ปกครองทำการเพิ่มเพื่อนไลน์แชทบอท แลกกรอกข้อมูลสมัครได้แก่ ชื่อนามสกุลของเด็ก วันเดือนปีเกิด อายุ (เดือน) รหัสโรงพยาบาล (Hospital Number : HN) เพศ น้ำหนักแรกเกิด (กรัม) การได้รับนมแม่ ทารกขาดออกซิเจนตอนแรกเกิด อายุครรภ์วันคลอด (สัปดาห์) การได้รับธาตุเหล็ก ชื่อนามสกุลผู้ปกครอง เบอร์โทรติดต่อ อาชีพ รายได้เฉลี่ย อายุแม่วันคลอด (ปี) สถานะระหว่างผู้ปกครองและเด็ก ที่อยู่ รหัสที่เข้าใช้ และการได้รับสมุดเล่มเขียว ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ระบบไลน์แชทบอทสำหรับประเมินและส่งเสริมพัฒนาการเด็กกลุ่มเสี่ยง

ผู้ปกครองทำการเพิ่มเพื่อนไลน์แชทบอท แลกกรอกข้อมูลสมัครได้แก่ ชื่อนามสกุลเด็ก วันเดือนปีเกิด อายุ (เดือน) รหัส HN เพศ น้ำหนักแรกเกิด (กรัม) การได้รับนมแม่ ทารกขาดออกซิเจนตอนแรกเกิด อายุครรภ์วันคลอด (สัปดาห์) การได้รับธาตุเหล็ก ชื่อนามสกุลผู้ปกครอง เบอร์โทรติดต่อ อาชีพ รายได้เฉลี่ย อายุแม่วันคลอด (ปี) สถานะระหว่างผู้ปกครองและเด็ก ที่อยู่ รหัสที่เข้าใช้ และการได้รับสมุดบันทึก หลังจากนั้นระบบจะสอบถามแบบประเมินว่าต้องการทำแบบประเมินด้วยตนเองหรือให้แพทย์เป็นผู้ประเมิน ต่อมาระบบจะสอบถามช่วงอายุเด็กเป็นจำนวนเดือน เพื่อส่งลิงค์แบบสอบถาม ตามช่วงอายุของเด็กคนนั้น เมื่อผู้ปกครองคลิกลิงค์ดังกล่าว ระบบจะแสดง แบบประเมิน Google Form ดังภาพที่ 2 และเมื่อผู้ปกครองส่งแบบประเมินเรียบร้อยแล้ว ระบบที่จัดทำใน Google Sheet จะประมวลผลประเมินพัฒนาการอยู่ 6 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ระบบจะบันทึกผลการประเมินลงใน Google Sheet ตามแต่ละช่วงอายุดังนี้ แรกเกิด 1 เดือน 2 เดือน 3-4 เดือน 5-6 เดือน 7-9 เดือน และ10-12 เดือน

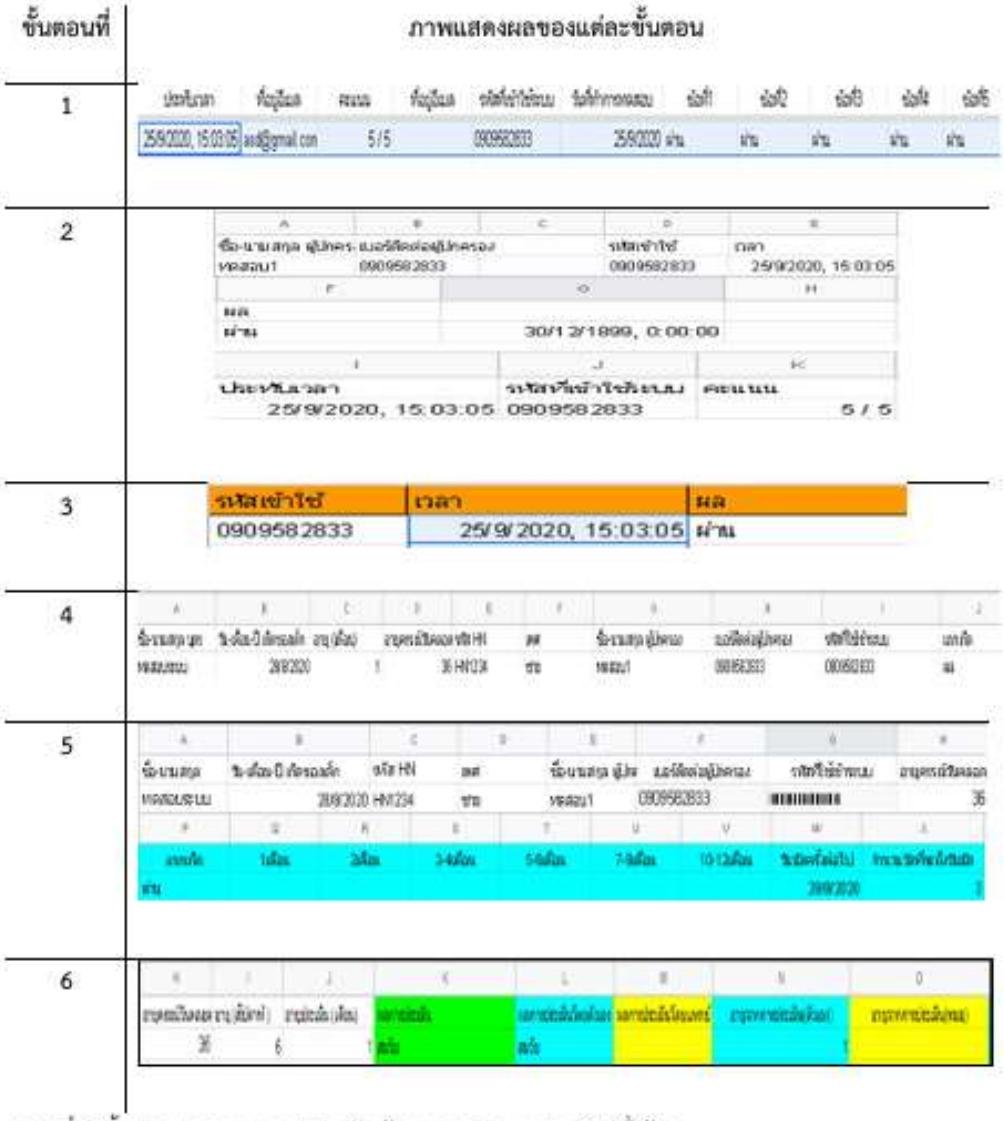
ขั้นตอนที่ 2 ระบบจะทำการประมวลในแผ่นงานกรองข้อมูล โดยดึงข้อมูลการประเมินครั้งสุดท้าย ของแต่ละ User

ขั้นตอนที่ 3 เป็นแผ่นงานสรุปผลเพื่อง่ายต่อการดึงข้อมูล โดยดึงข้อมูลจากแผ่นงานกรองข้อมูล

ขั้นตอนที่ 4 ข้อมูลการประเมินพัฒนาการเด็กตามช่วงวัยที่แสดงผลในแต่ละ Google Sheet ได้แก่ แรกเกิด 1 เดือน 2 เดือน 3-4 เดือน 5-6 เดือน 7-9 เดือน และ10-12 เดือน จะแสดงไปยัง Google Sheet ที่ชื่อว่า Register

ขั้นตอนที่ 5 Google Sheet คำนวนผลการประเมิน ถูกใช้เป็นฐานข้อมูลในการวิเคราะห์ผลการประเมินพัฒนาการเด็กจากผู้ปกครองและแพทย์

ขั้นตอนที่ 6 การหาผลประเมินโดยรวมจะใช้สูตร IF(M2="",L2,if(M2="สมวัย","ผ่านการประเมินโดยแพทย์","สงสัยล่าช้าต้องประเมินโดยแพทย์อีกครั้ง")) ตามภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ขั้นตอนของระบบการประเมินข้อมูลการทำแบบประเมินที่ได้รับ

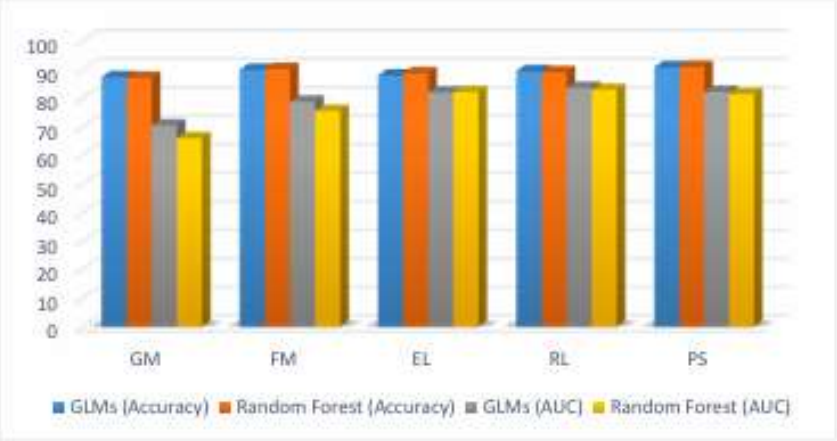
การตรวจดูผลประเมินผู้ปกครองสามารถพิมพ์ข้อความในช่องแชท "ดูผลประเมิน" หรือ คลิกที่เมนูตรวจดูผลการประเมิน ระบบจะทำการจัดเรียงข้อมูลในแผ่นงานค้นหา เพื่อให้ง่ายต่อการค้นหาข้อมูลโดยใช้รหัสเข้าสู่ระบบ สำหรับการดึงข้อมูลมาจากแผ่นงานผลการประเมิน จะใช้สูตร ='ผลการประเมิน !A:A 'ผลการ

ประเมิน' คือ ชื่อแผ่นงานที่ทำการดึง A:A คือ ช่วงที่จะให้ดึงข้อมูล เราสร้างเว็บไซต์สำหรับการตรวจดูผลการประเมิน เพื่อให้อ่านข้อมูลใน Google Sheet และ ภาษา HTML สำหรับเขียนหน้าหน้าเว็บเพจ การสร้างโค้ด DoGet และ ภาษา HTML เพื่อให้ผู้ปกครองได้ค้นหาผลการประเมินของลูก ตามภาพที่ 4

ภาพที่ 4 ระบบการตรวจดูผลประเมินของผู้ปกครองเด็ก

แบบจำลองสำหรับพยากรณ์ผลประเมินพัฒนาการของเด็กกลุ่มเสี่ยง

จากการศึกษาการเปรียบเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สำหรับการพยากรณ์ผลการประเมินพัฒนาการเด็ก ได้นำข้อมูลที่มีปัจจัยเดิมอยู่ทั้งหมด 56 ปัจจัย ผู้วิจัยได้ทำการตัดปัจจัยที่เกี่ยวกับข้อมูลการรักษาออกเพื่อให้เหลือแต่ปัจจัยทางกายภาพ และปัจจัยทางกายภาพมี 34 ปัจจัยจึงนำปัจจัยทางกายภาพมาสร้างแบบจำลองในการพยากรณ์ผลในการพัฒนาเด็กกลุ่มเสี่ยง เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยคือโปรแกรม Rapidminer studio Educational Ver.9.5.001 เพื่อทำการพยากรณ์ตัวแบบเชิงเส้นวางนัยทั่วไป และการพยากรณ์ป่าแบบสุ่ม ทั้ง 5 ด้าน ได้แก่ พัฒนาการด้านกล้ามเนื้อมัดใหญ่, พัฒนาการด้านกล้ามเนื้อมัดเล็กและสติปัญญา, พัฒนาการด้านการใช้ภาษา, พัฒนาการด้านการเข้าใจภาษา และพัฒนาการด้านการช่วยเหลือตนเองและสังคม มีค่าความแม่นยำมีค่าที่ใกล้เคียงกันมากและอยู่ในระดับ ร้อยละ 80 ขึ้นไปทั้งหมด แต่ถ้าพิจารณา ค่า AUC ของแบบจำลอง พบว่า การพยากรณ์พัฒนาการด้านการใช้ภาษา พัฒนาการด้านการเข้าใจภาษา และพัฒนาการด้านการช่วยเหลือตนเองและสังคม มีค่ามากกว่าร้อยละ 80 แต่ทว่าแบบจำลองตัวแบบเชิงเส้นวางนัยทั่วไปมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าแบบจำลองป่าแบบสุ่มในด้าน 2 ได้แก่ พัฒนาการด้านกล้ามเนื้อมัดใหญ่ พัฒนาการด้านกล้ามเนื้อมัดเล็กและสติปัญญา ซึ่งแบบจำลองทั้งคู่ยังมีค่า AUC ไม่ถึงร้อยละ 80 โดยรายละเอียดจะแสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ประสิทธิภาพของตัวแบบจากค่าความถูกต้อง และค่าความน่าเชื่อถือของตัวแบบ

สำหรับปัจจัยที่ส่งผลต่อการพัฒนาการในทางบวก คือ เด็กที่ได้รับธาตุเหล็ก เด็กที่ได้รับยาที่มีธาตุเหล็กยาจะไปส่งเสริมในด้านร่างกายส่งผลให้เด็กมีพัฒนาการที่สมวัย, รอบศีรษะ ทารกที่โดนศีบหัวระหว่างทำคลอดจะมีรอบศีรษะที่เล็กกว่าทารกปกติส่งผลให้มีพัฒนาการสงสัยล่าช้า หากทารกมีรอบศีรษะตามเกณฑ์รอบศีรษะจะเติบโตไปเรื่อย ๆ ตามช่วงอายุส่งผลให้ทารกมีพัฒนาการที่สมวัย, เด็กที่ไม่เป็นออทิสติก จะไม่ส่งผลให้เกิดความผิดปกติทางการสื่อสารกับผู้อื่น, เด็กที่ไม่มีความบกพร่องทางการพูด เด็กจะมีพัฒนาการด้านการพูดเหมือนเด็กในวัยเดียวกัน สามารถเข้าใจในสิ่งที่ผู้อื่นพูด และสามารถสื่อสารออกมาได้, เด็กที่ไม่ได้เป็นโรคสมาธิสั้นจะมีพฤติกรรมตามวัย สามารถจดจ่อ และตั้งใจทำสิ่งใดสิ่งหนึ่งให้สำเร็จ และส่วนสูง การวัดส่วนสูงบ่งบอกถึงการเจริญเติบโตของโครงกระดูกของร่างกายเด็กได้เป็นอย่างดี

วิจารณ์ผล

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาคู่มือประเมินและส่งเสริมพัฒนาการเด็กกลุ่มเสี่ยง เพื่อจัดทำ แชทบอท ส่งเสริมพัฒนาการเด็ก โดยอาศัยเครื่องมือจาก Google เป็นสื่อการในการจัดทำแชทบอท มีความสอดคล้องกับงานวิจัยเรื่อง "แชทบอทสำหรับการบริการด้านการดูแลสุขภาพ" (พิชชาพร คาทา และ ประศาสตร์ บุญสนอง, 2564) เพื่อส่งเสริมการให้บริการด้านสุขภาพและสอดคล้องความต้องการลดความแออัดของการไปโรงพยาบาลและการแพร่กระจายโควิด 19 ที่สามารถแนะนำการปฏิบัติตนเองเบื้องต้นในการรักษาได้

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจำแนกข้อมูลด้วยวิธีป่าแบบสุ่ม และตัวแบบเชิงเส้นวางนัยทั่วไป พบว่าตัวแบบเชิงเส้นวางนัยทั่วไปให้ค่าความถูกต้อง และค่าความน่าเชื่อถือของตัวแบบในการจำแนกข้อมูลมีประสิทธิภาพสูง จากการพยากรณ์พัฒนาการในแต่ละด้านนั้นมีค่าความถูกต้อง และค่าความน่าเชื่อถือที่อยู่ในระดับดีถึงดีมาก เช่นเดียวกับการใช้พยากรณ์ของโรคเบาหวานและโรคหลอดเลือดแดงที่พบว่าการถดถอยโลจิสติกและแบบจำลองป่าไม้แบบสุ่มมีประสิทธิภาพ (Andrea M. Austin et al., 2022) และปัจจัยที่ส่งผลต่อการพัฒนาการของเด็กมากที่สุด คือ การได้รับธาตุเหล็ก, รอบศีรษะ, ส่วนสูง, การพูดช้า, ออทิสติก และโรคสมาธิสั้น กล่าวได้ว่า เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญในการส่งเสริมพัฒนาการเด็กกลุ่มเสี่ยงเป็นอย่างยิ่ง เหมาะสมที่จะนำไปพัฒนาเป็นระบบที่ใช้ในการพัฒนาเด็กทั้งทางด้านร่างกาย อารมณ์ สังคม และสติปัญญา ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของอรพรรณ บุตรกตัญญู เรื่องการปฏิบัติที่เหมาะสมกับพัฒนาการของเด็กปฐมวัยในศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก

(อรพรรณ บุตรกตัญญู, 2542) ที่มีมีข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยถึงความสำคัญในการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการพัฒนาการของเด็กของช่วงอายุต่าง ๆ

สรุปผล

การพัฒนาแชทบอทสำหรับส่งเสริมพัฒนาการของกลุ่มเด็กกลุ่มเสี่ยง สามารถให้บริการด้านความรู้ในการส่งเสริมพัฒนาการ และยังติดตามผลการประเมินพัฒนาของลูกในแต่ละช่วงวัยได้ก่อนมาพบแพทย์ ตลอดจนระบบนี้ยังสามารถแสดงให้แพทย์ทราบถึงเด็กที่ถูกสงสัยว่ามีผลพัฒนาการล่าช้าได้ทำให้ทำการรักษาได้ทัน ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าการเข้าระบบสาธารณะสุขในการประเมินพัฒนาการเด็กของผู้ปกครองทำได้ง่ายขึ้นมีความสะดวกและรวดเร็วรวมถึงลดความแออัดในการมาโรงพยาบาล และยังเป็นการส่งเสริมระบบบริการสุขภาพให้ทุกคนสามารถเข้าถึงบริการที่มีคุณภาพอย่างทั่วถึงใช้ทรัพยากรสุขภาพอย่างมีประสิทธิภาพและเป็นระบบยั่งยืน

การเปรียบเทียบค่าความถูกต้อง และค่าความน่าเชื่อถือของตัวแบบ ของแบบจำลองทั้งสองได้ว่าแบบจำลองป่าแบบสุ่ม และแบบจำลองตัวแบบเชิงเส้นวางนัยทั่วไปมีค่าความถูกต้องที่ใกล้เคียงกัน ในส่วนของค่าความน่าเชื่อถือของตัวแบบพบว่า แบบจำลองตัวแบบเชิงเส้นวางนัยทั่วไปมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าแบบจำลองป่าแบบสุ่ม ดังนั้น แบบจำลองตัวแบบเชิงเส้นวางนัยทั่วไป จึงเหมาะสมกับการเป็นเครื่องมือสำหรับพัฒนาระบบปัญญาประดิษฐ์สำหรับการพัฒนาเป็นแพลตฟอร์มในการพยากรณ์ผลประเมินพัฒนาการของเด็กกลุ่มเสี่ยง ทั้งนี้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจาก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.) งบประมาณ พ.ศ. 2561 และสำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาเป็นอย่างสูง

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงสาธารณสุข. (2023). คู่มือประเมินและส่งเสริมพัฒนาการเด็กกลุ่มเสี่ยง (Developmental Assessment For Intervention Manual: DAIM). Retrieved November 9, 2023, from คลังความรู้สุขภาพจิต กรมสุขภาพจิต website: https://dmh-elibrary.org/items/show/268

พิชชาพร คาทา, ประศาสตร์ บุญสนอง. (2564). แชทบอทสำหรับการบริการข้อมูลด้านสุขภาพ. *การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับชาติด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม ครั้งที่ 4*. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม.

สิริณัฏฐ์ โภคพัฒญ์ภูเบศ, ชลิดา ธนัฐธีรกุล, สมสมร เรืองวรบูรณ. (2561). การพัฒนารูปแบบการส่งเสริมพัฒนาการเด็กในศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก. *วารสารวิทยาลัยพยาบาลบรมราชชนนี กรุงเทพ*, 71–85.

อรพรรณ บุตรกตัญญู. (2542). *การศึกษาความเข้าใจของผู้บริหาร และครูเกี่ยวกับการปฏิบัติที่เหมาะสมกับพัฒนาการของเด็กวัยอนุบาล*. มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์.

Andrea M. Austin, Ramkumar, N., Gladders, B., Barnes, J., Eid, M. A., Moore, K. O., ... Goodney, P. P. (2022). Using a cohort study of diabetes and peripheral artery disease to compare logistic regression and machine learning via random forest modeling. *BMC Medical Research Methodology*. https://doi.org/10.1186/s12874-022-01774-8

DataReportal. (2019). DIGITAL 2019: THAILAND. Retrieved from www.datareportal.com website: https://datareportal.com/reports/digital-2019-thailand?fbclid=IwAR3I58JJuxvFofwBJ1K1Hc3Nv02yxHxpn1c9QvRhSrUwWxZBc9wfbSlpLo

J. Li, Dada, A., Kleesiek, J., and Egger, J. (2023). ChatGPT in Healthcare: A Taxonomy and Systematic Review. *MedRxiv*. https://doi.org/10.1101/2023.03.30.23287899

Mohd. Sameer, and Santosh Kumar. (2023). *AI Enabled NLP based Text to Text Medical Chatbot*.

การพยากรณ์จำนวนแรงงานต่างด้าวในประเทศไทย โดยใช้วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลัง

Forecasting the number of foreign workers in Thailand by exponential smoothing method

ธนายุทธ ช่างเรือนงาม[1], สุรัสวดี นางแล[1,*], ธัญวรัชญ์ บุตรสาร[1] และ ศิวรี สุดสนิท[1]
Thanayut Changruenngam[1], Suruswadee Nanglae[1,*], Thanwarat Butsan[1] and Sivaree Sudsanit[1]

Received: 6 April 2023; **Revised**: 30 May 2023; **Accepted**: 19 June 2023

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเทคนิคและเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์โดยใช้วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลัง (exponential smoothing method) โดยประกอบไปด้วย 3 เทคนิค ได้แก่เทคนิค Simple Exponential Smoothing, เทคนิค Trend Method และเทคนิค Holt-Winters' Seasonal Method โดยใช้ข้อมูลจากข้อมูลจำนวนคนต่างด้าวที่ได้รับอนุญาตทำงานทั่วราชอาณาจักรจากฐานข้อมูลสถิติของสำนักบริหารแรงงานต่างด้าว กรมการจัดหางาน ซึ่งแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด โดยชุดที่ 1 ตั้งแต่เดือนมกราคม ปี 2007 ถึงเดือนธันวาคม ปี 2020 สำหรับการสร้างตัวแบบพยากรณ์ (training data) ส่วนชุดที่ 2 ตั้งแต่เดือนมกราคม ปี 2021 ถึงเดือนธันวาคม ปี 2021 ใช้สำหรับการตรวจสอบความแม่นของการพยากรณ์ (testing data) จากผลการศึกษาพบว่า วิธี Damped Holt-Winters' Multiplicative Method เป็นวิธีที่มีความแม่นในการพยากรณ์มากที่สุด เนื่องจากให้ค่าเกณฑ์รากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) และค่าเกณฑ์ร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) น้อยที่สุด โดยมีค่า RMSE เท่ากับ 196.760 และ MAPE เท่ากับ 7.769% รองลงมาได้แก่วิธี Damped Holt-Winter's Additive Method โดยมีค่า RMSE เท่ากับ 213.832 และ MAPE เท่ากับ 8.596% ซึ่งทั้งสองวิธีให้ผลการพยากรณ์ที่ค่อนข้างแม่นยำ (MAPE < 10%)

คำสำคัญ: การพยากรณ์, แรงงานต่างด้าว, วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลัง, อนุกรมเวลา

Abstract

The objective of this research was to study the technique and compare forecasting methods using the three techniques of the exponential smoothing method. - simple exponential smoothing, the trend method, and Holt-Winter's seasonal method. This study collected data on the number of foreigners permitted to work throughout the Kingdom of Thailand from the statistical database of the Bureau of Foreign Workers Administration, Department of Employment. The data were divided into two sets; the first set, from January 2007 to December 2020, was used for the predictive model (Training Data). The second set of data from January 2021 to December 2021 was used for checking the accuracy of the forecast (Testing Data). The results showed that the Damped Holt-Winters' Multiplicative Method was the most accurate method for forecasting because it gives the smallest RMSE and MAPE values, with RMSE of 196.760 and MAPE of 7.769%, followed by the Damped Holt-Winter's Additive Method, with RMSE of 213.832 and MAPE of 8.596%. Both methods yielded quite accurate forecasting results.

Keywords: Forecasting, foreign workers, exponential smoothing method, time series

[1] โปรแกรมวิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคำนวณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย 57100
* ผู้ประสานงาน อีเมล์: SNanglae@gmail.com
[1] Mathematics and Computing Science Program, Faculty of Science and Technology, Chiang Rai Rajabhat University, Thailand 57100
* Corresponding author: E-mail: SNanglae@gmail.com

Introduction

Nowadays, foreign workers and laborers play an important role in the Thai economy. This is due to the past economic conditions in Thailand that have grown quite high. According to the data on the number of foreigners allowed to work in Thailand (August 2022), there are a total of 2,408,716 people divided into general types of workers, 2,167,937 people, representing 90 percent, skilled workers, and others of 240,779 people, representing 10 percent. (Office of Foreign Workers Administration, 2022)

Based on the past and present data, it is found that the number of aliens tends to increase in the future. Especially general types of workers that consist of 1) workers permitted to work under the MOU, who are migrants of Myanmar, Laos, and Cambodian nationality under the agreement between the Thai government and their origin governments, 2) foreign workers according to cabinet resolutions, and 3) foreign workers who do not stay in the country and work occasionally. Employing these foreign workers to replace positions that Thai workers do not usually do or must pay high wages with more working conditions, specifically, the 3D tasks are those that are difficult, dangerous, and dirty. Although the entry of foreign workers will be useful in replacing the shortage of domestic workers. But it cannot be denied that this migration of foreign workers also has a negative impact on the economy and society such as crime, public health, the environment, illegal immigration, etc. (Thailand Development Research Institute, 2011) These problems affect the management of foreign workers by the relevant authorities. In this study, the researcher wants to study the number of foreign workers in the past to create a suitable predictive model for forecasting the number of foreign workers in Thailand. Although there is a tendency to increase, there are still seasonal variations together with the factors of the spread of COVID-19 and disease control policies since 2020 that affect the number of foreign workers (Tarat, 2021). Being aware of the number of foreign workers in Thailand will have a positive effect on the foreign worker management plan of relevant sectors.

Therefore, the researcher is interested in studying techniques for forecasting the number of foreign workers in Thailand. The purpose of this study was to study the technique and to compare forecasting methods using the exponential smoothing method which is an easy, convenient, and fast way to see patterns of seasonal trends. The three techniques used were Simple Exponential Smoothing (SES), Trend Method, which consisted of two subtypes, Holt's Linear Trend Method and Damped Trend Methods, and the last technique was Holt-Winters' Seasonal Method, which consists of fore sub-modules: Holt-Winters' Additive Method, Holt-Winters' Multiplicative Method, Damped Holt-Winters' Additive Method, and Damped Holt-Winters' Multiplicative Method.

Research Methodology

This study collected data on the number of foreigners permitted to work throughout the Kingdom from January 2007 to December 2021 from the statistical database of the Bureau of Foreign Workers Administration, Department of Employment, Ministry of Labor, or website www.doe.go.th and created a forecast model by using the R program which has the operation process as follows.

1. Data management

The researcher divided the data into two sets, the first set from January 2007 to December 2020 was 168 values for predictive model construction using the exponential smoothing method (Training Data). As for the second set of data from January 2021 to December 2021, 12 values are used for checking the accuracy of the forecast (testing data).

2. Statistical tests to check stationarity

The researcher used Augmented Dickey-Fuller (ADF) test to test whether a given time series data is stationary or not. If p-value less than significant level, the time series data will be stationary.

3. Creating a forecast model

The researcher constructed a predictive model using the exponential smoothing method which consists of 3 techniques, namely Simple Exponential Smoothing (SES), Trend Method, and Holt-Winter's Seasonal Method (Hyndman & Athanasopoulos, 2018). The variables are defined as follows:

$\hat{Y}_{t+1}$ = Predicted value to forecast at the time $t + 1$

Y_t = Time series data values at the time t

α = A coefficient of exponential smoothing, $0 < \alpha < 1$

β = A coefficient of smoothing parameter for the trend, $0 < \beta < 1$

γ = A coefficient of smoothing parameter for the seasonality, $0 < \gamma < 1$

The forecasting model for each technique is detailed below.

3.1 Simple Exponential Smoothing (SES)

Simple Exponential Smoothing (SES) is one of the simplest and most popular smoothing methods suitable for forecasting data without obvious trends or seasonal patterns with the following equation:

Forecasting Equation:

$$\hat{Y}_{t+1} = \ell_t$$

Smoothing Equation:

$$\ell_t = \alpha \hat{Y}_t + (1 - \alpha)\ell_{t-1}$$

where ℓ_t = Estimated smoothing of data at the time t

3.2 Trend Method

1) Holt's Linear Trend Method

Holt's Linear Trend Method is a smoothing method that considers linear trends without seasonal components, using Exponential Smoothing techniques, computed with mean and trend values with the following equations:

Forecasting Equation:

$$\hat{Y}_{t+1} = \ell_t + hb_t$$

Level Equation:

$$\ell_t = \alpha \hat{Y}_t + (1 - \alpha)(\ell_{t-1} + b_{t-1})$$

Trend Equation:

$$b_t = \beta(\ell_t - \ell_{t-1})(1 - \beta)\, b_{t-1}$$

where h = Period of forecasting

2) Damped Trend Methods

Damped Trend Methods are smoothing methods that consider a linear trend and do not have seasonal components, but have a slower rate of change, either rising or falling, with an equation component as follows:

Forecasting Equation:

$$\hat{Y}_{t+1} = \ell_t + (\phi + \phi^2 + \ldots + \phi^h)b_t$$

Level Equation:

$$\ell_t = \alpha Y_t + (1 - \alpha)(\ell_{t-1} + b_{t-1})$$

Trend Equation:

$$b_t = \beta(\ell_t - \ell_{t-1})(1 - \beta)\phi b_{t-1}$$

where ϕ = Coefficient of damped smoothing $(0 < \phi < 1)$

b_t = Estimated slope of data at the time t

h = Period of forecasting

3.3 Holt-Winters' Seasonal Method

1) Holt-Winters' Additive Method

The Holt-Winters' Additive Method is used when seasonal variation is relatively constant throughout the time series with the following components:

Forecasting Equation:

$$\hat{Y}_{t+1} = \ell_t + hb_t + S_{t+h-m(k+1)}$$

Level Equation:

$$\ell_t = \alpha(Y_t - S_{t-m}) + (1 - \alpha)(\ell_{t-1} + b_{t-1})$$

Trend Equation:

$$b_t = \beta(\ell_t - \ell_{t-1})(1 - \beta)b_{t-1}$$

Seasonal Equation:

$$s_t = \gamma(Y_t - \ell_{t-1} - b_{t-1}) + (1 - \gamma)S_{t-m}$$

2) Holt-Winters' Multiplicative Method

The Holt-Winters' Multiplicative Method is used when seasonal variations change proportionally at the time series level with the following components:

Forecasting Equation:

$$\hat{Y}_{t+1} = (\ell_t + hb_t)S_{t+h-m(k+1)}$$

Level Equation:

$$\ell_t = \alpha \frac{Y_t}{S_{t-m}} + (1 - \alpha)(\ell_{t-1} + b_{t-1})$$

Trend Equation:

$$b_t = \beta(\ell_t - \ell_{t-1})(1 - \beta)b_{t-1}$$

Seasonal Equation:

$$s_t = \gamma \frac{Y_t}{(\ell_{t-1} + b_{t-1})} + (1 - \gamma)s_{t-m}$$

3) Damped Holt-Winter's Additive Method

Damped Holt-Winters' Method is a Holt-Winter technique in which damping is added as an additive or multiplicative with the components according to the equation of the Additive form as follows:

Forecasting Equation:

$$\hat{Y}_{t+1} = \ell_t + (\phi + \phi^2 + \ldots + \phi^h)b_t + S_{t+k-m(k+1)}$$

Level Equation:

$$\ell_t = \alpha(Y_t + S_{t-m}) + (1 - \alpha)(\ell_{t-1} + \phi b_{t-1})$$

Trend Equation:

$$b_t = \beta(\ell_t - \ell_{t-1}) + (1 - \beta)\phi b_{t-1}$$

Seasonal Equation:

$$s_t = \gamma(Y_t - \ell_{t-1} - \phi b_{t-1}) + (1 - \gamma)S_{t-m}$$

4) Damped Holt-Winter's Multiplicative Method

Damped Holt-Winters' Method has components according to the equation of the model Multiplicative as follows:

Forecasting Equation:

$$\hat{Y}_{t+1} = (\ell_t + (\phi + \phi^2 + \ldots + \phi^h)b_t)S_{t+k-m(k+1)}$$

Level Equation:

$$\ell_t = \alpha\frac{Y_t}{S_{t-m}} + (1-\alpha)(\ell_{t-1} + \phi b_{t-1})$$

Trend Equation:

$$b_t = \beta(\ell_t - \ell_{t-1}) + (1 - \beta)\phi b_{t-1}$$

Seasonal Equation:

$$s_t = \gamma\frac{Y_t}{(\ell_{t-1} + \phi b_{t-1})} + (1-\gamma)s_{t-m}$$

Where s_t = Seasonal estimates of data at the time t

m = 12 for monthly data

k = Integer of $\frac{h-1}{m}$

4. Model selection

The researcher used Akaike's Information Criterion (AIC), The corrected Akaike criterion ($AICc$) and Bayesian Information Criterion (BIC) for selection of time series models (Emiliano *et al.*, 2014). The model with the least AIC, $AICc$, and BIC values will be selected.

5. Forecasting assessment

The researcher has examined the accuracy of forecasting by 2 criteria as follows.

1) Root Mean Square Error (RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n}}$$

2) Mean Absolute Percentage Error (MAPE)

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left|\frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i}\right|}{n} \times 100$$

where Y_i = Observed value or real value by $i = 1, 2, \ldots, n$

$\hat{Y}_i$ = Predicted value by $i = 1, 2, \ldots, n$

n = Total data

If the MAPE value is less than 10%, the forecast is quite accurate. If the MAPE value is between 10% and 20% then the forecast is good. If the MAPE value is between 20% and 50%, it is considered that the forecast is fair and if the MAPE value is more than 50%, it is considered that the forecast is inaccurate (Ungpansattawong, 2012).

Results

From the data on the number of foreigners permitted to work throughout Thailand from January 2007 to December 2021, it can be shown in the form of time series data, as shown in Figure 1. Considering the graph, it was found that the number of foreigners allowed to work in Thailand tended to increase, and there may be seasonal variation in the time series because the graph looks up and down repeatedly. The Augmented Dickey-Fuller (ADF) test was used to determine stationarity, it was found that the Dickey-Fuller statistic value is -3.328 (p-value = 0.0686). Therefore, at a 0.10 significant level, the time series data is stationary. The result of each modeling method as shown in Table 1.

Table 1 shows the results of the predictive modeling of each technique. The Simple Exponential Smoothing technique has only one initial value of the smoothing estimate, which is ℓ_0, and there is only one

coefficient from the smoothing equation is α, ignoring the influence of trends and seasons, where α values that make AIC, $AICc$, BIC the lowest are α = 0.9999.

The results of predictive modeling by Trend Method that is interested in the influence of trends, there will be 2 starting values, namely the initial value of the smoothed estimate (ℓ_0) and the initial value of the slope estimate (b_0), and there are 2 main coefficients: α and β, where α is the coefficient from the level equation and β are the coefficients from the trend equation which Holt's Linear Trend Method gives the α and β values that make the lowest AIC, $AICc$, BIC values are α = 0.9928 and α = 0.0001, while the Damped Trend Method will have the damped smoothing coefficient (ϕ) increased by α, β and ϕ, making the lowest AIC, $AICc$, BIC values α = 0.9919, β = 0.0001 and ϕ = 0.9460.

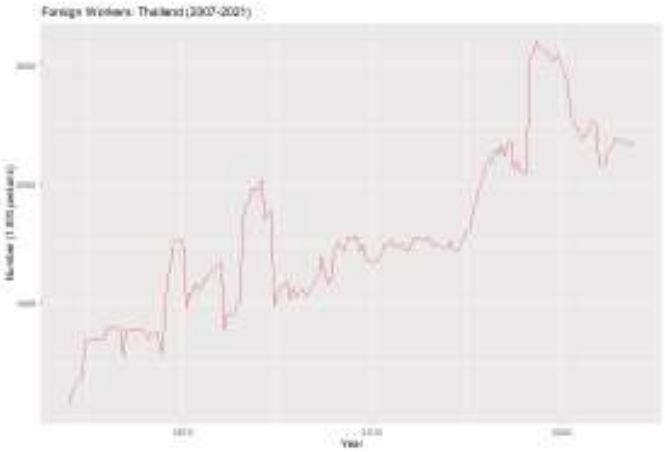


Figure 1 Data on the number of foreigners permitted to work throughout Thailand (unit: 1,000 people) from January 2007 to December 2021.

Table 1 Modeling results by exponential smoothing method.

Value	Simple Exponential Smoothing	Trend Method		Holt-Winters' Seasonal Method			
		Holt's Linear	Damped	Additive Method	Multiplicative Method	Damped Method	
						Additive	Multiplicative
Initial Value							
ℓ_0	168.277	154.761	154.571	443.525	442.405	438.806	423.420
b_0	-	14.038	65.986	18.748	20.652	28.289	29.994
$S_{0.1}$	-	-	-	23.875	1.004	24.041	1.020
$S_{0.2}$	-	-	-	25.143	1.038	25.801	1.015
$S_{0.3}$	-	-	-	39.347	1.010	37.767	1.017
$S_{0.4}$	-	-	-	59.781	1.027	60.237	1.024
$S_{0.5}$	-	-	-	28.014	1.039	30.079	0.995
$S_{0.6}$	-	-	-	-39.503	1.009	-46.203	0.974
$S_{0.7}$	-	-	-	-97.684	0.978	-97.271	0.966
$S_{0.8}$	-	-	-	-5.546	0.992	-4.193	1.005

Table 1 Modeling results by exponential smoothing method (cont.).

Value	Simple Exponential Smoothing	Trend Method		Holt-Winters' Seasonal Method			
		Holt's Linear	Damped	Additive Method	Multiplicative Method	Damped Method	
						Additive	Multiplicative
$S_{0,9}$	-	-	-	-18.304	0.973	-17.447	0.994
$S_{0,10}$	-	-	-	0.981	0.979	1.348	1.007
$S_{0,11}$	-	-	-	-42.198	0.948	-45.827	0.974
$S_{0,12}$	-	-	-	26.094	1.002	31.637	1.011
Coefficient Value							
α	0.9999	0.9928	0.9919	0.9891	0.7525	0.9878	0.9866
β	-	0.0001	0.0001	0.0002	0.0001	0.0001	0.0221
γ	-	-	-	0.0001	0.0001	0.0003	0.0002
ϕ	-	-	0.9460	-	-	0.9800	0.9800
Model selection							
AIC	2556.861	2559.456	2561.346	2577.528	2641.696	2579.408	2662.437
$AICc$	2557.008	2559.826	2561.868	2581.608	2645.776	2583.998	2667.028
BIC	2566.233	2575.075	2580.090	2630.836	2694.804	2635.639	2708.668

The result of predictive modeling by technique Holt-Winters' Seasonal Method is a technique that focuses on both trends and seasons. Therefore, in addition to the initial value of the smoothed estimate (ℓ_0) and the initial value of the slope estimate (b_0), there are also 12 default values of the season or seasonal indices ($S_{0,1}$, $S_{0,2}$, ..., $S_{0,12}$). According to the nature of the monthly time series data, there are 3main coefficients: α is the coefficient from the smoothed level equation, β is the coefficient from the smoothed equation of the trend (Trend Equation) and γ is the coefficient from the smoothed equation of the season (Seasonal Equations).

Holt-Winters' Additive Method provides the value for α, β and γ that make AIC, $AICc$, BIC the lowest as follow; α = 0.9891, β = 0.0002 and γ = 0.0001. Holt-Winters' Multiplicative Method provides the value for α, β and γ that make AIC, $AICc$, BIC the lowest as follow; α = 0.7525, β = 0.0001 and γ = 0.0001.

For the last method, the Damped Holt-Winters' Method, which is both an Additive Method and a Multiplicative Method, the Damped Smoothing Coefficient (ϕ) is added. Damped Holt-Winters' Additive Method has The values of α, β, γ and ϕ that result in the minimum values of AIC, $AICc$, BIC are α = 0.9978, β = 0.0001, γ = 0.0003 and ϕ = 0.9800. The Damped Holt-Winters' Multiplicative Method has the values of α, β, γ and ϕ that result in the lowest values of AIC, $AICc$, BIC have minimum values of α = 0.9866, β = 0.0221, γ = 0.0002 and ϕ = 0.9800.

Table 2 The result of forecasting assessment.

Exponential Smoothing Techniques	Training Data		Testing Data	
	RMSE	MAPE (%)	RMSE	MAPE (%)
Simple Exponential Smoothing	152.913	6.410	227.715	9.391
Holt's Linear Trend Method	152.274	6.322	308.644	13.311
Damped Trend Method	152.225	6.528	227.850	9.397
Holt-Winter's Additive Method	149.612	7.918	319.368	13.533
Holt-Winter's Multiplicative Method	159.429	7.988	337.302	14.185
Damped Holt-Winter's Additive Method	149.558	7.947	213.832	8.596
Damped Holt-Winter's Multiplicative Method	151.192	7.616	196.760	7.789

From Table 2, the researcher intends to evaluate the forecasting accuracy of the model for the period between 2007 and 2020 (training data). From the results, it was found that each method was quite accurate since all methods gave MAPE values less than 10% with Damped Holt-Winter's Additive Method giving the least value of RMSE. The method is close to all true values as shown in Figure 2.

Considering the forecasting assessment of each method to forecast in 2021 (Testing Data), Simple Exponential Smoothing, Damped Trend Method, Damped Holt-Winters' Additive Method, and Damped Holt-Winters' Multiplicative Method were found to produce quite accurate forecasting results, with MAPE values of less than 10%.

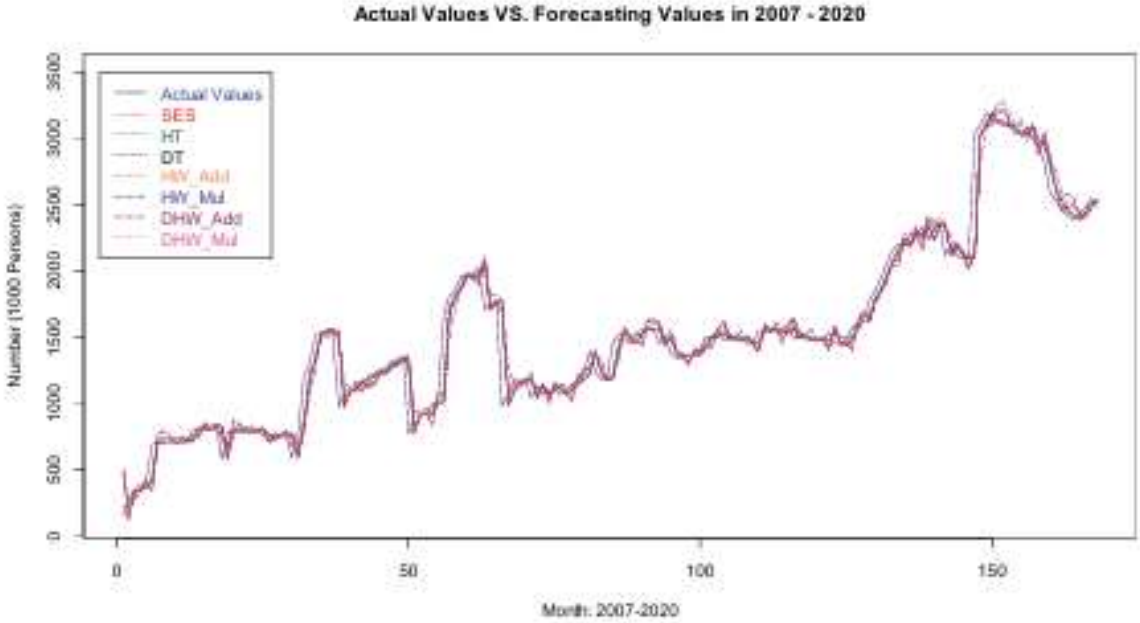


Figure 2 Forecasting by Exponential Smoothing with Various Techniques in 2007-2020.

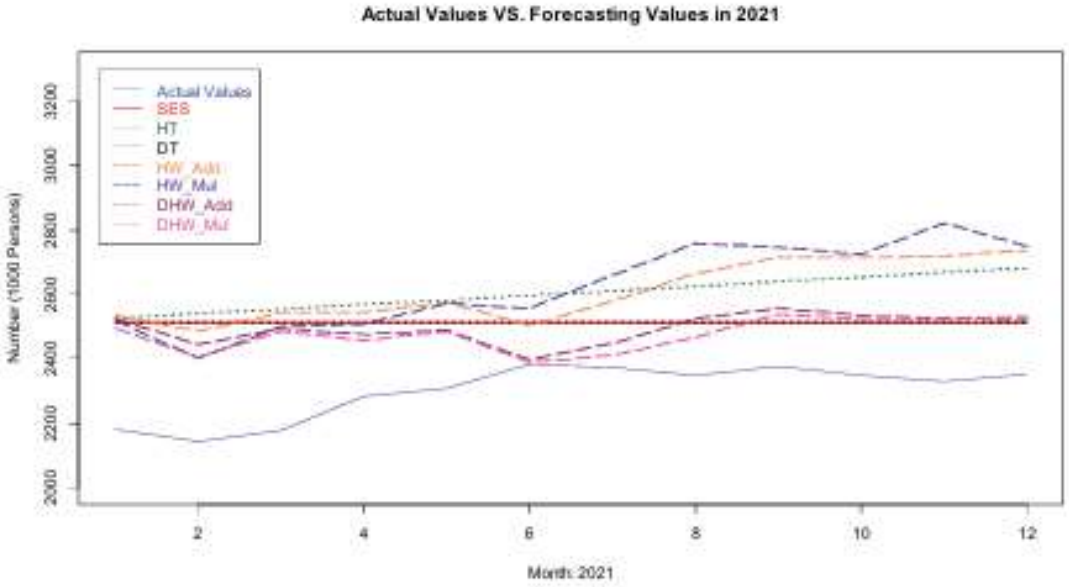


Figure 3 Forecasting by Exponential Smoothing with Various Techniques in 2021.

Holt's Linear Trend Method, Holt-Winters' Additive Method, and Holt-Winters' Multiplicative Method produced good predicting results because the MAPE value is between 10% and 20%. In addition, the Damped Holt-Multiplicative Winter's Method had a lower RMSE value than other approaches, indicating that it had a higher level of predicting accuracy.

From Figure 3, when the models of each method were compared with the actual data, it was found that the simple exponential smoothing method and the damped trend method overlapped and were found to be relatively stable. Holt's Linear Trend Method provides a forecast line that shows an increasing linear trend. Holt-Winters' Additive Method and Holt-Winters' Multiplicative Method have higher trend forecasts, but there are fluctuations from the influence of the seasons. Damped Holt-Winters' Additive Method and Damped Holt-Winters' Multiplicative Method are methods that add damping to slow down the rate of change in the number of foreign workers and are relatively stable but still influenced by the season. In comparison to other approaches, Damped Holt-Multiplicative Winter's method offers the prediction line that is most closely related to the true value and has the minimum RMSE value.

Conclusion and Discussion

This research presents a method for constructing a forecast model using exponential smoothing to time series data of the number of migrant workers throughout Thailand. This study collected data on the number of foreigners permitted to work throughout the Kingdom from January 2007 to December 2021 from the statistical database of the Bureau of Foreign Workers Administration, Department of Employment. The total of 180 values from the data collection were divided in to 2 sets: 1) 168 values for predictive modeling using 3 techniques: Simple Exponential Smoothing (SES), Trend Method, and Holt-Winters' Seasonal Method. Trend Methods can be divided into 2 types: Holt's Linear Trend Method and the Damped Trend Method. The Holt-Winters' Seasonal Method can be further subdivided into four methods: Holt-Winters' Additive Method, Holt-Winters' Multiplicative Method, Damped Holt-Winters' Additive Method, and Damped Holt-Winters' Multiplicative Method, for a total of seven methods. 2) 12 values were used to check the accuracy of forecasting using the lowest MAPE and RMSE criteria. The results showed that the Damped Holt-Winters' Multiplicative Method was the most accurate method for forecasting, indicating that the data tend to increase and the influence of the season is unstable, with the following forecasting model.

Forecasting Equation:

$$\hat{Y}_{t+1} = (\ell_t + b_t \sum_{i=1}^{h} 0.98^i) s_{t+1-m(k+1)}$$

Level Equation:

$$\ell_t = 0.9866 \frac{Y_t}{s_{t-m}} + 0.0134(\ell_{t-1} + 0.98 b_{t-1})$$

Trend Equation:

$$b_t = 0.0221(\ell_t - \ell_{t-1}) + 0.9779(0.98) b_{t-1}$$

Seasonal Equation:

$$s_t = 0.0002 \frac{Y_t}{(\ell_{t-1} + 0.98 b_{t-1})} + 0.9998 s_{t-m}$$

The initial value of the smoothed estimate (ℓ_0) was 423.420, the initial value of the slope estimate (b_0) was 29.994, and the initial value of the other 12 seasonality estimates or indices were 1.020, 1.015, 1.017, 1.024, 0.995, 0.974, 0.966, 1.005, 0.994, 1.007, 0.974, and 1.011 respectively from January to December. When using the forecasting model to plot a comparison graph between the actual data and the forecast for 2021, it was found that the Damped Holt-Winters' Multiplicative Method still had a clear distance between the actual data line and the forecast line despite the MAPE value and the lowest RMSE. But from the forecasting equations obtained, it is still enough to explain that adding damping has caused the rate of change in the number of foreign workers to slow down and be relatively stable, consistent with the situation of foreign workers in Thailand in 2021, which is still during the outbreak of COVID-19. Especially the third wave of the outbreak where the factory cluster was one of the sources causing the virus to spread across the country. As a result, migrant workers from neighboring countries who come to work in Thailand are seen as a risk group for both infection and transmission. Thailand has taken various measures to help control the outbreak of the disease among foreign workers, such as suspending the movement of workers along the border, delaying the approval of importing foreign workers, and providing flexibility for foreign workers whose permits will expire to be able to live in Thailand (Puey Ungphakorn Institute of Economic Research, 2020). This is the reason why the rate of change in the number of foreign workers slows down.

The forecasting model has shown that the number of foreign workers in Thailand fluctuates according to the trend caused by the increasing demand for labor in the industrial sector which corresponds to the research project on the needs of labor in the eastern region in the next 5 years (2018-2022). It was described that in the next 5 years there will be more demand for labor. This is because factories are constantly in demand for labor, especially in manufacturing industries with the highest demand for labor causing foreign workers to increase as well. Furthermore, there are also seasonal fluctuations caused by groups of migrant workers who use border passes under the border crossing agreement. which came to work in a round-trip season (Labor Economics Division, 2021) and irregular fluctuations caused by unusual events during the COVID-19 epidemic (Puey Ungphakorn Institute of Economic Research, 2020).

The forecasting using the exponential smoothing method prioritizes the most recent data and exponentially prioritizes the next data (Labor Market Research Division, 2007). This method does not take other factors into account at all, which are expected to affect the number of foreign workers in Thailand. In addition to the spread of COVID-19, there are other factors such as economic expansion (Labor Economics Division, 2021) or the expansion of industrial investment (Labor Market Information Administration Division, 2021). Therefore, in improving the model to forecast the number of migrant workers, a relationship model may be built by using other variables that correlate with the number of migrant workers, such as GDP, population, etc., to forecast as well to get more accurate forecasting results.

References

Emiliano, P. C., Vivanco, M. J.F. & de Menezes, F. S. (2014). Information criteria: How do they behave in different models?. *Computational Statistics & Data Analysis, 69*, 141-153.

Hyndman, R. J. & Athanasopoulos, G. (2018). *Forecasting: principle and practice* (2nd ed). OTexts.

Labor Economics Division. (2021). *Report on the economic situation, international labor and international labor migration, quarter 1/2021*. http://warning.mol.go.th/

Labor Market Information Administration Division, (2021). *Labor market situation in the central region 2nd Quarter 2021 (April-June).* https://www.doe.go.th/prd/assets/upload/files/lmia_th/ad05adcf09882a92c09eba133d6ed961.pdf.

Labor Market Research Division. (2007). *Knowledge management labor market situation analysis and labor demand forecasting.* https://www.doe.go.th/prd/assets/upload/files/lmia_th/ca63341b1b3cfe4fa4fe92c863bfd641.pdf.

Office of Foreign Workers Administration. (2022). *Statistics on the number of foreigners permitted to work. Balance throughout the Kingdom for the month of August 2022.* Ministry of Labor.

Puey Ungphakorn Institute of Economic Research. (2020). *Exploring the facts of foreign workers in Thailand: Part 1 low-skilled labor.* https://www.pier.or.th/abridged/2020/14/

Tarat, S., (2021). The effects of the first wave of COVID-19 pandemic on businesses with migrant worker in Thailand. *Thammasat Journal, 40*(3), 74-92.

Thailand Development Research Institute. (2011), *Impact of hiring migrant workers in Thailand under the Nationality verification era, TDRI Report No. 86.* Thailand Development Research Institute.

Ungpansattawong, S., (2012). *Statistical forecasting techniques.* Khon Kaen University Press.

REVIEW OF INTERNATIONAL GEOGRAPHICAL EDUCATION
ISSN: 2146-0353 • © RIGEO • 11(9), SPRING, 2021
www.rigeo.org
Research Article

The Design and Development of Micro Grid Electrical Power Supply for Seismo Sensor with An Artificial Perceptron Neural Network

Jarun Khonrang[1]
Faculty of Industrial Technology, Chiangrai Rajabhat University, Thailand
jarun.kho@cmu.ac.th

Kamol Boonlom[2]
School of Computer and Information Technology, Chiangrai Rajabhat University, Thailand
b-kamol@hotmail.com

Atikhom Siri[3]
School of Computer and Information Technology, Chiangrai Rajabhat University, Thailand
atikhom.sir@cmu.ac.th

Jumrus Klinhnu[4]
School of Computer and Information Technology, Chiangrai Rajabhat University, Thailand
k.jumrus@hotmail.com

[2] Corresponding Author: Email: b-kamol@hotmail.com

Abstract
This research presented the application of the neural network theory in order to solve the problems of the electrical power supply system used in seismo sensor equipment with no continuity vibration and the system requiring the multiple power supply resources for the alternative power. Therefore, the designed system applied a perceptron mathematical model as a function to stimulate this system in making a decision to choose the micro grid power sources between solar power cells at 300 watts, 24 volts and the external power source at 720 watts, 24 volts. From testing its performance, it indicated that when the power supply source system did not use the artificial perception neural network, the system slowly responded to the decision - making time in an average time of 120 milliseconds while the ripple voltage was increased at peak to peak 0.5 volts. This could affect the power system to the seismo sensor which had no stability and continuity. However, it was applied to the system which was likely more effective and reliable due to having a decision-making from the data set, size 100. Moreover, the decrease of the delay time was over 0.8 which caused the ripple voltage at peak-to-peak 0.26 volt. As a result, it could conclude that the studies were able to help the electrical power supply system for a seismo sensor have more effectiveness and it could be adapted for the smart grid system in the future.

Keywords
Neural network theory, Perceptron, The micro grid, Power supplies, The smart grid

To cite this article: Khonrang, J.; Boonlom, K.; Siri, A.; and Klinhnu, J. (2021) The Design and Development of Micro Grid Electrical Power Supply for Seismo Sensor with An Artificial Perceptron Neural Network. *Review of International*

Introduction

Nowadays, the problems of instability in electrical systems are used in measurement tasks that require precision and efficiency. But That is a significant issue that must be addressed and remedied. The smart grid principle has already been used to tackle the problem of power metering and to switch the power source to a system that isn't working (Atilla Doruk, Ihab El-Aff and Mumtaz Yilmaz, 2016: 1) (Wei-qing Tao and Xin-xi Yuan, 2012: 172). Later, it was enhanced to integrate with IT systems (Taein Hwang, et al.,2012: 89) and to add information processing for usage in the workplace. Moreover, the management of renewable energy sources began in 2013. Asian countries such as Singapore and Malaysia began to widely implement smart grid concepts (Akshay Deshpande, et al., 2015: 22) (Yanwen Luo, et al., 2014: 185). Also, it has played a role in the sector since the inception of smart grid work, such as automatic control systems and backup power systems (Mukesh Gujar, et al., 2013: 5) (Rui Huang, et al., 2014: 362). However, artificial intelligence, on the other hand, has begun to be integrated into smart grid systems in computer applications. The notion of neural network theory has been used to aid in the calculation and decision-making for the system in order to improve its efficiency (Devi Rani Guha and Sarat Kumar Patra, 2010: 356) (M. Hirahara and N. Oka, 1993: 2157) (Seok Bae Yun, et al., 2002: 2147). Therefore, As a result, it has been introduced as a solution to the aforementioned issues. Artificial intelligence aids in the selection of an external power supply for the seismo sensor in order to optimize performance and reduce system noise. As a result, the researcher has devised and implemented. This research presents the design and development of the electrical power supply system in order to apply to the seismo sensor station through the application of the artificial perceptron neural network. This network will make a decision in choosing two outside electrical power supply sources: solar energy and electrical system network from Electricity Generating Authority of Thailand. From this technique, can help the system have higher efficiency when comparing with general operating system. From the past electrical power supply system, it indicated that the system was quite simple and not complicated. However, many problems were found; when the main electrical power supply had lower voltage and the system had changed the electrical power supply reserved, the system worked too slow because of having no proper decision-making which caused the voltage value at the output with the low voltage at the beginning for a long time (Δd) resulting in the seismo sensor to start again during that time which made the measuring lack of continuity and had an effect on the seismo sensor equipment. Moreover, the output voltage of the system had an interrupting signal and the VRP size was high causing the system stability which would result in the damage of the equipment in long run.

As mentioned earlier, the team designed and created the electrical power supply system in order to be applied with the seismo sensor station in increasing the data procession through an artificial perceptron neural network. This network had an easiness and rapidity in decision-making leading to the system more quickly changing the power source than the old one which could reduce the voltage at the beginning time causing the Δd time shorter. Furthermore, it could prevent an error from the electrical power supply dropped for a while and also the designed system was added the circuit system of filtering the interrupting signal to maintain the output of the power supply source had continuity and reduced the interrupting signal occurring in the power supply system.

Research Methodology

The design and development of the electrical power supply system was used with the seismo sensor station by applying the process system through the artificial perceptron neural network, starting from several parts as shown in figure 1. The artificial perceptron neural network topology is depicted in figure 2 to describe the process from input to output.

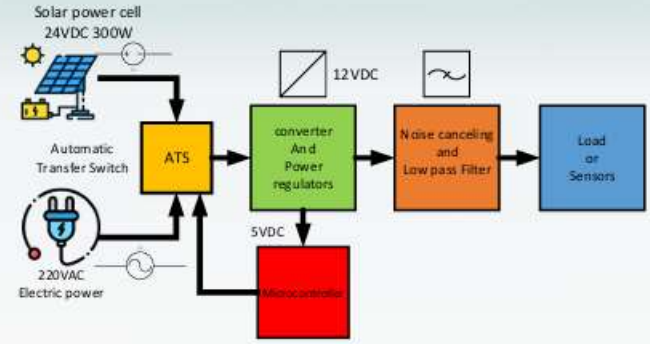


Figure 1 The diagram of the electrical power supply system for a micro grid seismo sensor by using the artificial perceptron neural network.

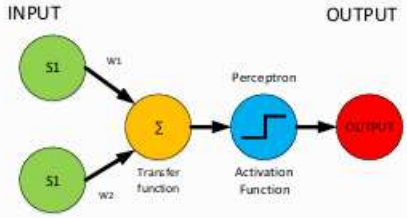


Figure 2 Illustrating the theory of the artificial perceptron neural network

The design of the artificial perceptron neural network

Table 1
Table determining the weight value

Input 1 (S1)	Input 2 (S2)	Input (Op)
1	2	1
2	2	0
3	0	1
0	1	0

Determine the weight value W1 and W2 as 0.3 as 0.7 respectively according to the bias value which values as 2 functions activated as

$$= \begin{cases} 1 \; if \; \sum_{i=1}^{n} (s_i \times w_i) + b_1 = 0 \\ 0 \; otherwise \end{cases}$$

From the model designed, n values as 2 Starting to calculate from input 1 and input 2 and determining the output from transmitted function as t_{out} from the equation below.

$$Op = (s_1 \times w_1) + (s_2 \times w_2) + b_1$$

When substituting for S_1 , S_2 , $W_{1,\,2}$ and b_1 as the following result.

$$O_p = (1 \times 0.3) + (2 \times 0.7) + 2$$
$$O_p = (0.3) + (1.4) + 2$$
$$O_p = 3.7$$

Taking the value O_P into the activated function as shown below;

$$f(x) = \begin{cases} 1 \; if \; (S_1 \times W_1) + (S_2 \times W_2) + b_1 > 0 \\ 0 \; otherwise \end{cases}$$

$$f(x) = \begin{cases} 1 \; if \; O_p > 0 \\ 0 \; otherwise \end{cases}$$

$$f(x) = \begin{cases} 1 \; if \; 3.7 > 0 \\ 0 \; otherwise \end{cases}$$

$$f(x) = 1$$

By the expected output = 1 (From table) Thus, the error can be calculated as shown below.

$$\text{Error} = \text{Output}_{desired} - \text{Output}_{result}$$

When substituting for $\text{Output}_{desired}$ from the table = 1 and Output_{result} = 1 as the result below.

Error = 1-1
Error = 0

When bringing the error result to be calculated for Δweight result taken to adjust the weight value of each input by using Loss Function shown below.

$$\Delta\text{weight} = \text{error X Input}$$

At input S1, the result should be;

$$\Delta\text{weight}_{S1} = 0 \text{ X } 1$$
$$\Delta\text{weight}_{S1} = 0$$

At input S2, the result should be;

$$\Delta\text{weight}_{S2} = 0 \text{ X } 2$$
$$\Delta\text{weight}_{S2} = 0$$

Then taking the Δweight value to adjust the weight value of each input by using this equation.

$$\text{Weight}_{NEW} = \text{weight} + \Delta\text{weight}$$

At input S1 as the result shown below.

$$\text{Weight}_{NEWS1} = W_1 + \Delta\text{weight}_{S1}$$
$$\text{Weight}_{NEWS1} = 0.3 + 0$$

$Weight_{NEWS1} = 0.3$

At input S1 as the result shown below.

$Weight_{NEWS2} = W_1 + \Delta weight_{S2}$
$Weight_{NEWS2} = 0.7 + 0$
$Weight_{NEWS2} = 0.7$

Thus, the result gained from W1 and W2 are 0.3 and 0.7 respectively. After adjusting each weight value, the input order No. 2 from the table is taken into learning process as a passing function below.

$$Op = (s_1 \times w_1) + (s_2 \times w_2) + b_1$$

$Op = (2 \times 0.3) + (2 \times 0.7) + 2$

$Op = (0.6) + (1.4) + 2$

$Op = 4$

After that taking Op value into the activated function as shown below.

$$f(x) = \begin{cases} 1 \; if \; O_p > 0 \\ 0 \; otherwise \end{cases}$$

$$f(x) = \begin{cases} 1 \; if \; 4 > 0 \\ 0 \; otherwise \end{cases}$$

$f(x) = 1$

When substituting for $Output_{desired}$ from the table = 1 and $Output_{result}$ = 1 as the result shown below.

Error = 0-1
Error = -1

And the Δweight value at input S1 as the result shown below.

$\Delta weight_{S1}$ = (-1) X 2
$\Delta weight_{S1}$ = -2

At input S2 as the result below.

$\Delta weight_{S2}$ = (-1) X 2
$\Delta weight_{S2}$ = -2

After that taking the Δweight value to adjust the weight value of each input by using the equation at input S_1 as the result shown below.

$Weight_{NEWS1} = W_1 + \Delta weight_{S1}$
$Weight_{NEWS1} = 0.3 + (-2)$
$Weight_{NEWS1} = (-1.7)$

At input S1 as the result shown below.

$Weight_{NEWS2} = W_1 + \Delta weight_{S2}$
$Weight_{NEWS2} = 0.7 + (-2)$
$Weight_{NEWS2} = (-1.3)$

Here are the new values of W1 and W2 converted into (-1.7) and (-1.3) respectively. In terms of input order No.3 from the table is taken into learning process as a passing function below.

$$O_p = (3 \times (-1.7)) + (0 \times (-1.3)) + 2$$
$$O_p = (-5.1) + (0) + 2$$
$$O_p = -3.1$$

After that taking Op value into the activated function as the result shown below.

$$f(x) = \begin{cases} 1 \; if \; O_p > 0 \\ 0 \; otherwise \end{cases}$$

$$f(x) = \begin{cases} 1 \; if \; -3.1 > 0 \\ 0 \; otherwise \end{cases}$$

$$f(x) = 0$$

When substituting for $Output_{desired}$ from the table = 1 and $Output_{result}$ = 0 as the result shown below.

$$Error = 1 - 0$$
$$Error = 1$$

And the Δweight value at input S_1 as the result shown below.

$$\Delta weight_{S1} = 1 \text{ X } 3$$
$$\Delta weight_{S1} = 3$$

At input S_2 as the result shown below.

$$\Delta weight_{S2} = 1 \text{ X } 0$$
$$\Delta weight_{S2} = 0$$

After that taking the Δweight value to adjust the weight value of each input by using the equation at input S_1 as the result shown below.

$$Weight_{NEWs1} = W_1 + \Delta weight_{S1}$$
$$Weight_{NEWs1} = (-1.7) + 3$$
$$Weight_{NEWs1} = 1.3$$

At input S_1 as the result shown below.

$$Weight_{NEWs2} = W_1 + \Delta weight_{S2}$$
$$Weight_{NEWs2} = (-1.3) + 0$$
$$Weight_{NEWs2} = (-1.3)$$

Here are the new values of W_1 and W_2 converted into (-1.7) and (-1.3) respectively. In terms of input order No.4 from the table is taken into learning process as a passing function below.

$$O_p = (0 \times (-1.3)) + (1 \times (-1.3)) + 2$$
$$O_p = 0 + (-1.3) + 2$$
$$O_p = 1.8$$

After that taking O_p value into the activated function as the result shown below.

$$f(x) = \begin{cases} 1 \; if \; O_p > 0 \\ 0 \; otherwise \end{cases}$$

$$f(x) = \begin{cases} 1 \; if \; 1.8 > 0 \\ 0 \; otherwise \end{cases}$$

$$f(x) = 1$$

When substituting for $Output_{desired}$ from the table = 1 and $Output_{result}$ = 0 as the result shown below.

$$Error = 1 - 0$$
$$Error = 1$$

And the Δweight value at input S_1 as the result shown below.

$$\Delta weight_{S1} = (-1) \; X \; 0$$
$$\Delta weight_{S1} = 0$$

At input S_2 as the result below

$$\Delta weight_{S2} = (-1) \; X \; 1$$
$$\Delta weight_{S2} = (-1)$$

After that taking the Δweight value to adjust the weight value of each input by using the equation at input S_1 as the result shown below.

$$Weight_{NEWs1} = W_1 + \Delta weight_{S1}$$
$$Weight_{NEWs1} = 1.3 + 0$$
$$Weight_{NEWs1} = 1.3$$

At input S_1 as the result shown below.

$$Weight_{NEWs2} = W_1 + \Delta weight_{S2}$$
$$Weight_{NEWs2} = (-1.3) + (-1)$$
$$Weight_{NEWs2} = (-2.3)$$

Here are the new values of W_1 and W_2 converted into (-1.7) and (-1.3) respectively. It is clearly seen that when taking the values of four input and output data sets to be applied in learning process which the actual correctness must have the value more than 0.8.

The design of the voltage regulator

In designing the voltage regulator, the feedback voltage regulator is mainly used as shown in figure 3.

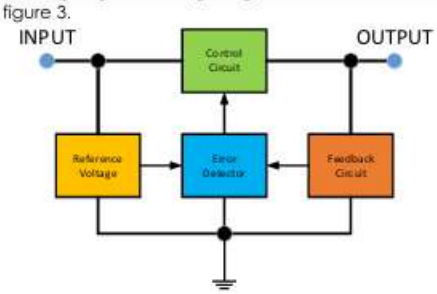


Figure 3 The block diagram of the voltage regulator

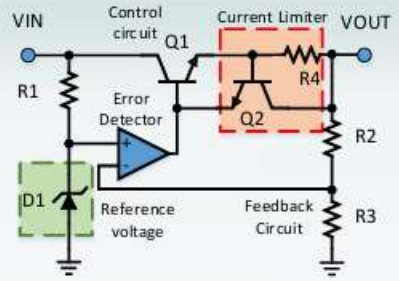


Figure 4 The simulated regulator of the voltage regulator designed

Choose the Zener voltage of which the referred voltage equals 6 volts that chooses the Zener diode No. 1N5233BTA which we can calculate the value of the voltage at the output from Figure 4.

$$V_{out} \cong \left(1+\frac{R_2}{R_3}\right) \times V_{ref}$$

$$V_{out} \cong \left(1+\frac{10k\Omega}{10k\Omega}\right) \times 6V = 12V$$

Design the highest electric current value controlling the voltage via calculating from choosing the current used which is limited not more than 3 Amperes. Thus, in choosing for working, the resistor, a R_4, will be calculated in order to limit the flow of the electric current of the control circuit as shown in the equation below.

$$R_4 = \frac{0.7V}{I_{Max}} = \frac{0.7V}{3} = 0.233\Omega$$

We choose the resistor which is widely used and has the value nearly 0.24Ω with the error value at 1 percent. This will increase the highest current for functioning at round 2.91 Amperes.

The design of the low pass filter circuit or LPF

In using the equipment, it consumes the current at moderate level causing the noise in the system which is not too high. Thus, the low pass filter circuit,1st order type, can filter the unwanted frequency and can help reduce using more equipment which can design and calculate as follows.

To calculate for the cutoff frequency value in the low pass filter circuit or LPF is very important because the measurement system of the sensor relies on the voltage and the current passing smoothly and regularly. In the design, the low noise signal will make the measurement system stable. In this research, the low pass filter circuit or LPF, RC filter type, is designed and applied as it is easy to design, the equipment used in welding or connecting is not complicated. Thus, the low pass filter circuit is used in this study as the equation below.

$$\omega_c = \frac{1}{RC} = 2\pi fc$$

ω_C stands for angle - cutting frequency, its counting unit as Radian/Second

f_C stands for the line- cutting frequency, its counting unit as Hertz (Hz)
R stands for the electrical resistance, its counting unit as Ohm (Ω)
C stands for the capacity of capacitor, its counting unit as Farad (F)
In the low pass filter circuit, we determine R = 3 Ω and C = 4,700 μF thus,

$$\omega_c = \frac{1}{3 \times 4{,}700 \times 10^{-6}} = 71\ rad/s$$

Thus $f_c = \frac{\omega_c}{2\pi} = \frac{71}{2 \times 3.14} = 11.3\ H_z$

Research Experimental Results

From measuring and testing results, When measuring the ripple voltage passing through the output circuit, it showed that the ripple voltage was at 0.26 volts peak to peak while the ripple voltage of the input circuit before filtering the signal was at 0.5 peak to peak which the reduction rate of the signal was around 3dB as shown in figure 4 by the current for working of the electrical power used for the seismo sensor was 18 Watts. It was clearly seen that the effectiveness of the designed circuit could be well applied to the seismo sensor the seismo sensor and had low interrupting signal as the result shown in figure 5.

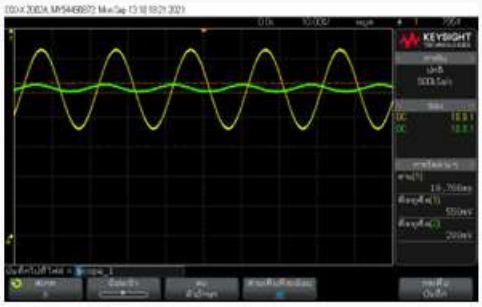


Figure 5 showed the ripple signal occurring in the ripple circuit and signal which occurring after passing the low pass filter circuit when the seismo sensor having the electrical power consumption rate at 18 Watts.

The result of time measurement in making a decision to choose the electrical power supply source responding was at an average range of time 60 millisecond before turning back to steady state when having the artificial neural network system.
Meanwhile the old system had the responding time at an average range of time 120 millisecond It indicted that the system when using the artificial neural network system, the system would make a decision in choosing the power source having the appropriate electrical power level, and resulted in making the system have good working efficiency and did not need to start a new system from figure 6. Moreover, the fabrications of the circuits have illustrated in figure 7.

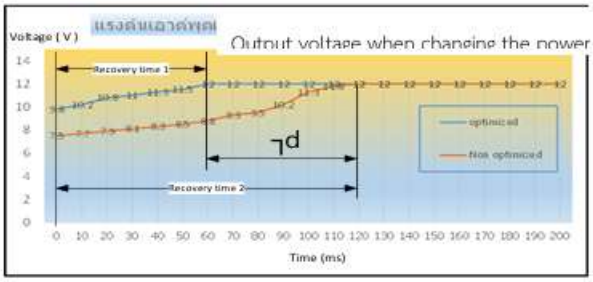


Figure 6 Show the graph of the signal voltage when the system chooses the power supply source between the old system without an artificial neural network and an artificial neural system.

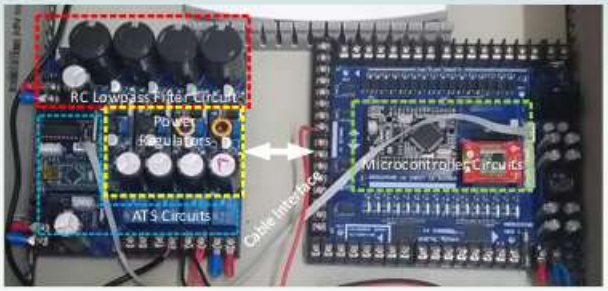


Figure 7 Show the electrical power supply system circuit for the micro grid electrical power supply for a seismo sensor with an artificial perceptron neural network

Conclusion

From the experimental result of the design and development the micro grid electrical power supply for a seismo sensor with an artificial perceptron neural network, it could conclude that when putting the artificial perceptron neural network into the system designed, it could help the system make a decision more quickly than the old one which has no artificial perceptron neural network. It was clearly seen that the output time value had low voltage at the beginning time (Δd) at 60 millisecond which made the system come back to the steady state more quickly when having the change of the power supply source. Moreover, when designing to add the low pass filter circuit system which caused the output voltage of the system having noise (Vrp) or the ripple voltage had the amplitude decreased from the output voltage without filtering frequency t 0.5 volt peak to peak until the ripple voltage at 0.26 volt peak to peak which had the signal-decreased value at around 3 decibels (3dBc). Thus, this research can conclude that the micro grid electrical power supply for a seismo sensor with an artificial perceptron neural network can increase the effectiveness and the stability of the electrical power supply circuit and on be Applied to the electrical power supply circuit for other works in the future.

Discussion Of Results

According to past researches, artificial intelligence systems have been employed in the past to assist in the decision-making of the power supply to be utilized with most of the power systems that are distinct from the system, according to a previous study. Low-power DC applications, such as those found in sensors and other devices. This necessitates a low-noise signal level and switches sensitivity to terminate the power source. As a result of the system that the researcher developed and designed, the system's efficiency in reducing noise and the switch's delay time in selecting the power supply could be increased, resulting in the system's high efficiency and stability. It's also suitable for sensor devices that require low noise.

Acknowledgement

The success of this research was under the support and the assistance from National Research Council of Thailand and Chiang Rai Rajabhat University, Project code 621 612 0203, Budget year 2021.

References

Akshay Deshpande, et al. (2015). "smart Renewable Energy Micro Grid for Indian Scenarios". *International Conference on Advanced Computing and Communications ADCOM)*. India : Chennai, pp.22-28.

Atilla Donuk and Ihab El-Aff;Mumtaz Yilmaz. (2016). "Metering and data processing in a micro-scale area for smart grid applications". *4th International Istanbul Smart Grid Congress and Fair (ICSG)*. Turkey : Istanbul, pp.1-5.

Devi Rani Guha and Sarat Kumar Patra.(2010). "Cochannel Interference Minimization Using Wilcoxon Multilayer Perceptron Neural Network". *International Conference on Recent Trends in Information, Telecommunication and Computing*. India : Kochi, Kerala,pp.356-362.

Mukesh Gujar, Alekhya Datta and Parimita Mohanty.(2013). "Smart Mini Grid: An innovative distributed generation based energy system". *IEEE Innovative Smart Grid Technologies-Asia (ISGT Asia)*. India : Bangalore,pp.5-10.

Rui Huang, el at.(2014). "Research on the power utilization strategy of smart power community integrated with micro-grid system". *IEEE Workshop on Advanced Research and Technology in Industry Applications (WARTIA)*. Canada : Ottawa, Ontario,pp.362-368.

Taein Hwang, et al. (2012). "Design of application-level reference models for micro energy grid in IT perspective". *8th International Conference on Computing and Networking Technology (INC, ICCIS and ICMIC)*. Korea (South) : Gyeongju, pp. 89-95.

Wei-qing Tao and Xin-xi Yuan. (2012). "Investigation on the Application of IEC61850 in Smart Distribution Grid with Micro-grid". *International Conference on Control Engineering and Communication Technology (ICCECT 2012)*. China : Shenyang, Liaoning, pp. 172-178.

Yanwen Luo, el at. (2014). "Application of the distributed generation, micro and smart power grid in the urban planning". *The 4th Annual IEEE International Conference on Cyber Technology in Automation, Control and Intelligent*. China : Hong Kong, pp.185-190.

M. Hirahara and N. Oka.(1993). "A hybrid model composed of a multilayer perceptron and a radial basis function network". *Proceedings of 1993 International Conference on Neural Networks (IJCNN)*. Japan : Nagoya, pp 2157-2163.

Seok Bae Yun, el at.(2002). "Hardware implementation of neural network with expansible and reconfigurable architecture". *Proceedings of the 9th International Conference on Neural Information Processing*. Singapor, pp.2147-2153.

การปลูกพืชกัญชาทางการแพทย์ในระบบเกษตรอัจฉริยะ: กรณีศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

Medical Cannabis Cultivation in Smart Farming: A Case Study of Chiang Rai Rajabhat University (CRRU), Thailand

ปิยพร ศรีสม[1*], ณัฏฐพล สันธิ[2], กิตติศักดิ์ นิวรัตน์[3], จำรัส กลิ่นหนู[4], ณรงค์ศักดิ์ ศรีสม[4], รันฎา เผ่ากันทะ[5] และ กรนิกา เชื่อนแก้ว[5]

Piyaporn Srisom[1*], Natthaphon Santhi[2], Kittisak Newrat[3], Jumrus Klinhnu[4], Narongsak Srisom[4], Randa, Phaokantha[5] and Kornika Kuankaew[6]

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการปลูก การเก็บเกี่ยวกัญชาแต่ละสายพันธุ์ในระบบปิด Smart Farm โดยมีสายพันธุ์พืชกัญชาที่ใช้ในการศึกษาวิจัยจำนวน 12 สายพันธุ์ วิธีการปลูกที่ทำการศึกษา คือ การเพาะเมล็ด และการปักชำ ร่วมกับการวิเคราะห์น้ำและดินที่ใช้ในการปลูกพืชกัญชา ส่วนการเก็บเกี่ยวใช้วิธีการทำให้แห้งโดยวิธีการแขวนตาก และวิธีการใช้เครื่องอบแห้งเยือกแข็งโดยใช้สุญญากาศ ผลการศึกษาวิจัยพบว่า (1) วิธีการปลูกแบบการเพาะเมล็ดพืชกัญชาทุกสายพันธุ์มีการปรับตัวและเจริญเติบโตได้ดี การขยายพันธุ์โดยการปักชำสามารถเพิ่มปริมาณต้นกัญชาได้อย่างรวดเร็ว ลักษณะของต้นกัญชาที่ได้มีลักษณะเหมือนต้นแม่พันธุ์ ยกเว้นสายพันธุ์ 8004 ที่พืชกัญชาหยุดการเจริญเติบโตและตายทั้งหมด ทั้งนี้ อัตราการรอดของพืชกัญชาในระยะต้นอ่อนและระยะออกดอก โดยวิธีการเพาะเมล็ด การปักชำรอบที่ 1 และการปักชำรอบที่ 2 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .01 ระยะการเจริญเติบโตที่แตกต่างกันมีแนวโน้มที่จะมีผลต่อการอยู่รอดของต้นกัญชาแตกต่างกัน (2) ที่ผลผลิตต่อต้นที่ความหนาแน่น 9 ต้น/ตรม. การศึกษาการเก็บเกี่ยวโดยวิธีการแขวนตาก ได้น้ำหนักเฉลี่ยต่อต้นไม่แตกต่างจากวิธีการใช้เครื่องอบแห้งเยือกแข็งโดยใช้สุญญากาศ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .01 โดยวิธีการแขวนตากและวิธีการใช้เครื่องอบแห้งเยือกแข็งโดยใช้สุญญากาศมีน้ำหนักผลผลิตเฉลี่ยต่อต้นอยู่ในช่วง 26.47 – 182.64 และ 38.40 – 174.72 กรัม ตามลำดับ

คำสำคัญ: กัญชา, การเก็บเกี่ยว, ระบบปิด, เกษตรอัจฉริยะ

---

[1] โปรแกรมวิชาเทคโนโลยีเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย จังหวัดเชียงราย 57100

[2] โปรแกรมวิชาภาษาตะวันตก คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย จังหวัดเชียงราย 57100

[3] คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย จังหวัดเชียงราย 57100

[4] โปรแกรมวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะเทคโนโลยีดิจิทัล มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย จังหวัดเชียงราย 57100

[5] บริษัทโกลเด้นไทรแองเกิ้ลกรุ๊ป จำกัด จังหวัดเชียงราย 57100

[1] Program of Chemistry Technology, Faculty of Science and Technology, Chiang Rai Rajabhat University, Chiang Rai, 57100

[2] Program of Western Languages, Faculty of Humanity od Social Science, Chiang Rai Rajabhat University, Chiang Rai, 57100

[3] Faculty of Education, Chiang Rai Rajabhat University, Chiang Rai, 57100

[4] Program of Information Technology, Faculty of Digital Technology, Chiang Rai Rajabhat University, Chiang Rai, 57100

[5] Golden Triangle Group Co., Ltd., Chiang Rai, 57100

*Corresponding author: sc_piyaporn@cru.ac.th

Abstract

The aim of this research was to study the cultivation and harvest processes of 12 cannabis strains in the indoor smart farm. The selected cultivation processes were seed germination and cloning, while hang – dry and vacuum – freeze – dry were used for the harvest. The study also focused on examining water and soil properties for use in cannabis cultivation. The results showed that: (1) The cannabis cultivation was successfully grown and propagated for all 12 strains. The cloning method was able to quickly increase the number of cannabis plants and maintain identical characteristics to the mother plant, while only the BOO4 strain stopped growing and died. Notably, the survival rate of cannabis in the seedling and flowering by seed germination during cloning cycle 1 and cloning cycle 2 showed statistically significant difference at .01. Different growing periods tended to differently affect the survival of cannabis plants. (2) At a density of 9 plants/m^2, the average weight per plant was no statistically significant difference at .01 between hang – dry and vacuum – freeze – dry method. The weight per plant obtained from hang – dry and vacuum – freeze – dry method were average in the range of 26.47 – 182.64 and 38.40 – 174.72 g, respectively.

Keywords: Cannabis, Harvest, Indoor Smart Farm, Smart Farming

Introduction

Cannabis is a type of weed commonly known as *Cannabis Sativa* or scientifically recognized as *Cannabis Sativa Sativa* or *Cannabis Sativa Indica*. Their leaves are deeply lobed into the petiole and the flowers are green but the male inflorescences and the female inflorescences appear in different plants. Cannabis is native plant in climate areas such as Asia, South America and the Middle East. Medical cannabis is now clearly defined as cannabis products and cannabinoid molecules that are prescribed by physicians for their patients. This plant is widely acknowledged as the main source of cannabinoids, which have shown considerable therapeutic potential for conditions including inflammation, depression, nausea, epilepsy, and other clinically significant effects [1]. It is widely recognized that Δ9-tetrahydrocannabinol (THC) and cannabidiol (CBD) are the predominant phytocannabinoids found in cannabis. The main difference between medical and regular cannabis is the amount of THC, the main psychoactive component. Regular cannabis contains THC 5 – 35%, in medical ca – up to 1% [2].

Information technology nowadays especially during this digital era plays a vital role in human's working life and daily living routines which involves various types of modern technology choices. Agriculture is one of the manufacturing sectors and the backbones of the country's economic system. Smart farming is a farming system that uses information technology as a tool in driving farming processes for convenience and ease of management and operation within the farm. This system offers speedy process and accurate use of resources within the farm which means cost-effective farming for high productivity and quality which allows farmers to maintain their competitive advantages against other manufacturers in the market. The use of smart farming by deploying various options of information technology can uplift the productivity and promote upskilling, reskilling and new

skilling of the human workforce in modern farming which would lead to high quality and quantity agricultural produce that sufficiently meets the market demand. Importantly, technological-driven farming also promotes the digital economy mobilization of the country for a sustainable and environmentally friendly farming approach for the future of Thailand agriculture.

For this reason, Chiang Rai Rajabhat University (CRRU), which is a public university and Golden Triangle Group Company Limited (GTG), have foreseen the potential and benefits from the use of cannabinoid compounds and cannabis plants for medical purposes and many other ways. The interest focuses on the cannabis production process in order to obtain quality, standardized and safe cannabis products for consumers in the region. CRRU and GTG then worked collaboratively with an aim to study and develop state-of-the-art cultivation processes for cannabis production including development of cannabis strains suitable for the climate and environmental conditions in Thailand that may affect the production of cannabinoid compounds among different strains in an indoor farming system. The study also covers the complete post-harvest process of cannabis in order to offer quality produce for effective use in the medical practice of the country. And finally, the aim involves extending the results and knowledge for development in other areas including creating innovation and academic services for society for sustainable local development which underpins the university's ultimate mission.

Research Objectives

1. To examine efficiency of cannabis cultivation and harvest in smart farming under GAP (Good Agriculture Practice)

2. To compare the harvesting methods in regard to yield weight of each strains obtained from cannabis cultivation in smart farming

Scope of the Research

Scope of Settings

1. An indoor smart farm was built using metal structure and isolated panels and sectioned into rooms for cannabis cultivation research.

2. An indoor smart farm is a cannabis research center namely IA01 Building located within the area of Chiang Rai Rajabhat University, Chiang Rai, Thailand with GPS No. 19.993844, 99.845182.

Scope of Population

12 cannabis strains were imported for use in this cultivation project i.e. B001, B002, B003, B004, C001, M001, R001, R002, R003, S001, S002 and S003.

Scope of Content

The study's cultivation processes focus on seedling and cloning for each cannabis strain in a smart farming system which is designed to fully control the environment.

Methodology

Cannabis Cultivation and Harvest

Seedling

1. Select cannabis strains in seed form for cultivation in this study put the selected seeds into a glass of water and place it with no direct light for 24 hr.

2. After 24 hr., place the seeds in tissue paper sprinkled with water. Cover the seeds with the tissue paper. Put the seeds into a small propagation container with the windows closed in the lid. Place it with no direct light.

3. After 24 – 48hr., seeds start germinating cracking the shield and start showing root. Transplant seedlings to a small cloning plot packed with peat-moss pre-watered at 0.6 EC and 5.5 pH. Dig a hole in the pot with chopstick and then plant the seed with the root facing downwards and leaving the shield on the surface of the soil.

4. Place the propagation container with the seed inside under fluorescent lights with blue spectrum at distance of about 30 centimeters, starting from the seeding period to the beginning of the flowering. Lights are necessarily on for 18 hours and off for 6 hours daily. Temperature control is between 24 – 26 °C with humidity range between 90 – 100%.

Cloning

1. Mix 40 liters of peat moss and 25 grams of Trichoderma, and break them into tiny pieces.
2. Take peat moss and put them into a cloning tray and level them evenly to fit with the cloning slot.
3. Dissolve B1 additive in 1 liter of water. Add Cal-Mag until getting EC (Electric Conductivity) at 0.3 plus AB 0.6 and pH at 6.0. Then, soak the prepared peat moss.
4. Spray plain water at the soil surface to add moisture to the soil and then let the soil rest for 5 minutes.
5. Cut the branches into 10-14 cm long with an angle of 45 degrees. Slightly scrape the base of the branches on both sides and trim their edge to reduce their water absorption ability.
6. Dip the cuttings in Clonex Gel. Plant the cuttings at a depth of 4 – 5 cm they need to be firm, cannot move from sides. Scan barcodes and place the barcodes in the planting pots.
7. Spray the tray cover and cover the cloning tray. Then completely seal all the cover holes, if any.
8. Observe the clonings during 7 – 12 days by opening the air holes and the cover to check the roots and unhealthy plants.
9. After 12 – 14 days, if the cloning plants show strong roots, transfer them to the nursery room. The appropriate temperature during the cloning period is 23.5 – 25°C, relative humidity is 68 – 80% and lighting time is 18 – 24 hours.

Harvest

1. When cannabis plants reach the required age and are ready for harvest, cannabis plants are cut at the base and weighed before removing the leaves.

2. Use scissors to trim off any excessive fan leaves with sugar leaves in order to keep only the inflorescences and stems. Weigh them before drying the inflorescences and the stems. The hang – dry takes 10–14 days.

The drying process comprises 2 methods i.e. 1) hang – dry and 2) Vacuum Freeze Dryer.

The temperature for the hang – dry process is 18 – 20 °C, relative humidity is 50 – 55%, and the drying period is 14 days. The temperature for a vacuum – freeze – dry is –55°C, relative humidity is 55%, and the drying period is 18 – 19 hours.

Storage

1. Separate inflorescences from stems. Weigh and install them in zipper bags.
2. Store the dried product in a safe room with A/C.

Results

The principal aim of this study was to investigate the cultivation and harvesting processes of cannabis strains in the indoor smart farm system. 120 seeds (12 cannabis strains and 10 seeds per strain) were imported for use in this research project at IA01 Building of Chiang Rai Rajabhat University, Chiang Rai, Thailand following the license granted by Thai FDA for Narcotics Category 5 No. 5/2020 (Import). The results were shown in Table 1.

Table 1: Survival rates of cannabis plants across three cultivation methods: Seedling, Cloning Cycle 1 and Cloning Cycle 2, during the initial (I), nursery (N) and flowering (F) stage

Strains	Seedling			Cloning Cycle 1			Cloning Cycle 2		
	I	N	F	I	N	F	I	N	F
B001	10	9	8	111	108	104	192	162	118
B002	10	10	10	116	113	108	224	189	158
B003	10	10	10	118	113	98	117	82	53
B004	10	0	0	0	0	0	0	0	0
C001	10	10	10	30	27	23	392	167	133
M001	10	9	7	33	31	31	57	52	0
R001	10	10	10	33	33	33	53	51	0
R002	10	10	10	34	30	30	52	46	0
R003	10	10	9	38	32	32	74	66	0
S001	10	10	10	33	32	31	81	71	0
S002	10	9	7	45	39	37	85	74	0
S003	10	10	10	33	32	31	51	45	0
Total	120	107	101	624	590	558	1,378	1,005	462

F_{total} = 7.660*, $F_{Nursery}$ = 10.425*, $F_{Flowering}$ = 2.871

From Table 1, it was found that the survival rate of cannabis plants from seedling and cloning cycle 1 to flowering stage was higher than cloning cycle 2. One-way ANOVA was used to statistically analyze and determine the significant difference in survival rates of cannabis plants among the three cultivation methods. It was found that different periods of cultivation methods affected the survival rate of cannabis plants at the significance level of .01. This meant that different growing periods tended to differently affect the survival of cannabis plants. This was further analyzed by Scheffe Test in order to determine the significant difference among each of the paired cultivation methods. The Scheffe results showed that:

(1) At the initial stage, the seedling, cloning cycle 1 and cloning cycle 2 showed no statistical difference at the confidence level of .05 ($p \geq .05$).

(2) At the nursery stage, there were two pairs showing statistical significant differences at the confidence level of .01 ($p \leq .01$). Those two pairs were seedling – cloning cycle 2 and cloning cycle 1 – cloning cycle 2.

(3) At the flowering stage, there were two pairs showing statistical significant differences at the confidence level of .01 ($p \leq .01$). Those two pairs were seedling – cloning cycle 2 and cloning cycle 1 – cloning cycle 2.

Table 2: Summary of Cannabis Harvest in Smart Farm System

Strains	Harvest (Plants)	Hang Dry	Freeze Dry
		Average Weight (g)/plant	Average Weight (g)/plant
B001	230	84.69	51.87
B002	276	94.80	56.69
B003	161	42.14	32.39
B004	0	-	-
C001	166	182.64	107.33
M001	38	40.72	41.29
R001	43	64.41	46.43
R002	40	56.70	54.32
R003	41	44.13	174.72
S001	41	52.13	61.76
S002	44	26.47	38.40
S003	41	53.57	55.50
Average	93.42	67.49	65.52
S.D.	90.31	42.95	41.18
CV (%)	96.67	63.63	62.86

$t_{stat} = 0.109$

Remarks** The license granted by Thai FDA for Narcotics Category 5 Production No. 10/2020 (Cultivation) allowed this research project to produce cannabis (cultivation) within the area of 324 square meters for 720 plants/cycle and 4 cycles/year.

From Table 2, it was found that 1,121 cannabis plants were harvested. 813 plants were dried by the hang – dry method and the yield accounted for 73,906.20 grams, while 308 plants were dried by vacuum – freeze – dryer and the yield accounted for 17,096.20 grams. It was found that the hang – dry method offered the cannabis average weight at 67.49 grams/plant (S.D. = 42.95) while the vacuum – freeze – dryer offered the cannabis average weight 65.52 grams/plant (S.D. = 41.18). The t-test analysis indicated that there was no significant difference between the hang-dry method and the vacuum-freeze-drying method at a confidence level of 0.01.

Conclusion and Discussion

1) The efficiency of cannabis cultivation in a smart farm system at Chiang Rai Rajabhat University in a smart farm system underpinning GAP (Good Agriculture Practice) was investigated within 2 cycles. Cycle 1 cultivated 5 cannabis strains from seedlings which comprised 4 high CBD strains and 1:1 (CBD:THC) 1 strain. Cycle 2 cultivated the rest of 7 strains. The cultivation controlled temperature, relative humidity, light and intensity, water, CO_2 and the overall ventilation system in the smart farm facility. The cultivation process started from seedling and growing cannabis plants until they were ready for cloning cycle 1. The cloning cycle 1 was designed for mother plant selection and nurtured them for use in the cloning process. The mother plant selection criteria relied mainly on fertility, strength, cannabinoids and yields of the prospective mother plants across each of the strains. Next, the cloning cycle 2 was cultivated by using cloning cuttings from the selected mother plants. The clonings were carefully nurtured from the initial stage to flowering stage. Under the controlled environment in the smart farm system, cannabis plants from all 12 strains cultivated by 3 cultivation methods i.e. seedling, cloning cycle 1 and cloning cycle 2 showed stable growth and well-adjusted to the environment from the initial to flowering stage. In addition, cloning cycle 1 and cloning cycle 2 could offer speedy propagation of all cannabis plants and maintain the characteristics identical to their mother plants except that of B004 strain which stopped growing and totally died. However, it was found that a significant difference of the cannabis plants survival rate was observed at the confidence level of .01 during nursery and flowering stages among 3 cultivation methods i.e. seedling, cloning cycle 1, and cloning cycle 2. This meant that different growing rates affected differently to the survival rate of cannabis plants. The Scheffe Test was deployed to determine the significant difference between the paired cultivation methods. It was found that two pairs showed a significant difference at the confidence level of .01 ($p \leq .01$) for the growing period during the nursery stage that affected the survival rate of the cannabis plants. Those two pairs of cultivation methods were seedling – cloning cycle 2 and cloning cycle 1 – coning cycle 2. Likewise, it was found that two pairs showed a significant difference at the confidence level of .01 ($p \leq .01$) for the growing period during the flowering stage that affected the survival rate of the cannabis plants. Those two pairs of cultivation methods were seedling – cloning cycle 2 and cloning cycle 1 – cloning cycle 2. Therefore, the cloning cycle 2 showed a different survival rate from seedling and cloning cycle 1 in the nursery and flowering stages. This suggested that, for productivity aim, cultivation by cloning was appropriate for cloning cycle 1 in order to attain high standardized survival rate and maintain consistent growth until harvesting

period. This finding concurred with the study by Vaddhanaphuti [3] who asserted that plant propagation by cloning is an economical, convenient, fast and straightforward reproduction method. But, the only drawback is the cloned plants do not have a taproot system, unable to emerge new plant species, and unable to add good properties into the clones such as resistance to deprived soil conditions, diseases and insects.

2) The comparison of cannabis harvest methods between hang – dry and vacuum – freeze – dryer revealed that the hang – dry method offered higher average cannabis weight per plant than that of the vacuum – freeze – dryer at the significance level of .01. However, the hang – dry consumed more drying time than that of the vacuum freeze dryer, but the freeze dryer is conducive to drying capacity per time due to equipment loading limitation. This finding supported the study by Khunphutthiraphi et al. who underscored that, at the significance level of .05, 20 hours were a perfect duration for using vacuum – freeze – dryer in order to maintain holistic physical and psychological properties of cannabis produce such as odor, taste, texture and preference when compared to 14, 16 and 18 hours [4]. In addition, Vanhove reported the analysis of the relationship between density factor and cannabis diversity affecting the yield of cannabis cultivated in an indoor smart farm system [5]. It was found that, at the confidence level of .05, the yields of cannabis grown in an indoor facility in Belgium were 48 grams for the density of 12 plants/square meters while only 36 grams for the density of 16 plants/square meters. Toonen et al. proposed that the appropriate number of cannabis density was 32 plants per square meter which offered 608 grams/square meter or 19 grams/plant [6]. Interestingly, the cannabis density in this research project was 9 plants/square meter and average weight for the cannabis flower dried by the hang – dry method was 90.91 grams while average weight for the cannabis flower dried by the vacuum – freeze – dryer method was 55.51 grams. This could be concluded that the cannabis yield produced in this project is considered high productivity. Furthermore, it was found that the cannabis C001 strain offered the highest average yield weight judging from the fact that this strain delivered the average yield weight per plant at 182.64 grams dried by the hang – dry method whilst reduced to 107.33 grams per plant by the vacuum – freeze – dryer method. This suggested that the C001 strain is considered a good strain for introducing to farmers who are interested in cannabis cultivation using indoor smart farm platforms.

Acknowledgements

This research was supported by Golden Triangle Group Co., Ltd. and Chiang Rai Rajabhat University.

References

1. Valizadehderakhshan, M., Shahbazi, A, Kazem-Rostami, M., Scott Todd, M., Bhowmik, A. and Wang, L. (2021). Extraction of Cannabinoids from *Cannabis sativa L. (Hemp)*. Agriculture, 11(5), 384 – 405.
2. Azizxonovna, N.M. (2024). Positive and Negative Aspects of Medical Cannabis. Web of Medicine: Journal of Medicine, Practice and Nursing, 2(3), 38 – 41.
3. Vaddhanaphuti, N. (2010). Plant Propagation. (4th Edition). Bangkok: Odeon Store.

4. Khunphutthiraphi, T., Kangkavisut, N., & Wasikadilok, N. (2020). Effects of Freeze Drying Time and Water Rehydration Temperature on Product Quality of Crystallized Salacca. Journal of Food Technology, Siam University, 15(2), 155-163.
5. Vanhove, W. (2014). The agronomy and economy of illicit indoor cannabis cultivation. Ph.D. thesis, Ghent University, Belgium.
6. Toonen, M., Ribot, S. & Thissen, J. (2006). Yield of Illicit Indoor Cannabis Cultivation in The Netherlands. Journal of Forensic Sciences, 51(5), 1050 – 1054.
7. Narcotic Act (No. 7). Government Gazette. Volume 136. Part 19 A. Dated 18 February 2019. pp. 1 – 16.
8. Hamilton. (2009). Breeding Better Crops. Scientific American, 19: 16 – 17.

บทความวิจัย

ปีที่ 2 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2566

วารสาร มรภ.กพ. วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี

Journal of KPRU Science Mathematics and Technology

สมการไดโอเฟนไทน์ $21^x + 4^y = z^2$

On the Diophantine equations $21^x + 4^y = z^2$

ธัญวรัชญ์ บุตรสาร[1,*], นิติมา พรหมมารัตน์[2] และ ณัฐมน กันไชย[1]

[1]โปรแกรมวิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคำนวณ

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย เชียงราย ประเทศไทย

[2]โปรแกรมวิชาคณิตศาสตร์ คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย เชียงราย ประเทศไทย

Thanwarat Butsan[1,*], Nitima Phrommarat[2] and Natthamon kanchai[1]

[1]Department of Mathematics and Computing Science,

Faculty of Science and Technology, Chiang Rai Rajabhat University Chiang Rai Thailand

[2]Department of Mathematics,

Faculty of Education, Chiang Rai Rajabhat University, Chiang Rai, Thailand

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้จะศึกษาการมีผลเฉลยของสมการไดโอเฟนไทน์ในรูปแบบ $21^x + 4^y = z^2$ โดยพิจารณาการมีผลเฉลยของสมการไดโอเฟนไทน์ดังกล่าว เมื่อ x, y และ z เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ

คำสำคัญ : สมการไดโอเฟนไทน์, จำนวนเฉพาะ, ผลเฉลยเดียว

Abstract

The objective of this work is to study the existence of non-negative integer solutions of the Diophantine equation $21^x + 4^y = z^2$.

Keywords : Diophantine equation, Prime numbers, Unique solution

* **Corresponding author : thanwarat.but@crru.ac.th**

Received : 29/06/2023 **Revised : 25/12/2023** **Accepted : 09/01/2024**

ที่มาและความสำคัญ

สมการไดโอเฟนไทน์ (Diophantine equations) คือ สมการที่สนใจคำตอบที่เป็นจำนวนเต็ม ซึ่งอาจเป็นดีกรีหนึ่งหรือมากกว่านั้น อาจมีตัวแปรเดียวหรือหลายตัวแปร สมการไดโอแฟนไทน์เป็นสมการที่ศึกษากันอย่างมากมายในหลายรูปแบบ รูปแบบหนึ่งที่ได้ศึกษาอย่างกว้างขวาง คือ สมการที่อยู่ในรูป $a^x + p^y = z^2$ ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ในปี ค.ศ. 2011 [1] Suvarnamani ได้ศึกษาผลเฉลยของสมการไดโอเฟนไทน์ $2^x + p^y = z^2$ เมื่อ x,y และ z เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ และ p เป็นจำนวนเฉพาะ

ในปี ค.ศ. 2012 Sroysang [2] ได้ พิสูจน์ว่า $(x, y, z) = (1, 0, 3)$ เป็นผลเฉลยเดียวที่ x,y และ z เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ ของสมการไดโอเฟนไทน์ $18^x + 19^y = z^2$

ในปี ค.ศ. 2013 Sroysang [3] ได้แสดงว่าสมการไดโอเฟนไทน์ $2^x + 3^y = z^2$ มีเพียงสามผลเฉลยคือ $(0, 1, 2),(3, 0, 3)$ และ $(4, 2, 5)$ และในปีเดียวกัน Sroysang [4] ได้ศึกษาสมการไดโอเฟนไทน์ $7^x + 8^y = z^2$ โดยที่ x,y และ z เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ และพบว่าสมการดังกล่าวมีผลเฉลยเพียงผลเฉลยเดียว นั่นคือ $(x, y, z) = (1, 0, 3)$

ในปี ค.ศ. 2014 Sroysang [5, 6] ได้แสดงให้เห็นว่า $(1, 0, 3)$ เป็นผลเฉลยเดียวของสมการไดโอเฟนไทน์ $8^x + 13^y = z^2$ และ $8^x + 59^y = z^2$ เมื่อ x,y และ z เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาสมการไดโอเฟนไทน์ที่อยู่ในรูป $21^x + 4^y = z^2$ โดยการนำเสนอการพิสูจน์ผลเฉลยของสมการนี้ เป็นแนวคิดหนึ่งที่เป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่สนใจศึกษาการหาผลเฉลยของสมการไดแฟนไทน์ โดยอาศัยทฤษฎีบทที่มักใช้ในการพิสูจน์การมีผลเฉลยของสมการไดโอแฟนไทน์คือ

ทฤษฎีบท 1 [7] (Catalan's conjecture) $(a, b, x, y) = (3, 2, 2, 3)$ เป็นผลเฉลยเดียวของสมการไดโอแฟนไทน์ $a^x - b^y = 1$ เมื่อ a,b,x และ y เป็นจำนวนเต็มที่ $min\ \{a, b, x, y\} > 1$

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ในบทความนี้จะศึกษา สมการไดโอเฟนไทน์ $21^x + 4^y = z^2$ โดยการพิสูจน์ว่ามีผลเฉลยเพียงผลเฉลยเดียวหรือไม่ ซึ่งจะเริ่มต้นด้วยการพิสูจน์บทตั้ง ทำการพิสูจน์การมีผลเฉลยของสมการไดโอเฟนไทน์ $1 + 4^y = z^2$ โดยที่ y,z เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ ดังต่อไปนี้

บทตั้ง 2 สมการ $1 + 4^y = z^2$ ไม่มีผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ

พิสูจน์ กำหนดให้ $1 + 4^y = z^2$

กรณีที่ 1 ถ้า $y = 0$

จะได้ว่า $1 + 4^0 = z^2$

นั่นคือ $z^2 = 2$

ดังนั้น $z = \sqrt{2}$ ซึ่งไม่เป็นจำนวนเต็ม

กรณีที่ 2 ถ้า $y = 1$

จะได้ว่า $1 + 4^1 = z^2$

นั่นคือ $z^2 = 5$

ดังนั้น $z = \sqrt{5}$ ซึ่งไม่เป็นจำนวนเต็ม

กรณีที่ 3 ถ้า $y > 1$ จะได้ $2y > 1$

3.1 ถ้า $z = 0$ จะได้ $1 + 4^y = 0$

นั่นคือ $4^y = -1$ เป็นไปไม่ได้

3.2 ถ้า $z = 1$ จะได้ $1 + 4^y = 1$

นั่นคือ $4^y = 0$ เป็นไปไม่ได้

3.3 ถ้า $z > 1$ จัดรูปสมการจะได้ $1 = z^2 - 2^2y$

โดยทฤษฎีบท 1 จะได้ว่า $z = 3$ และ $2y = 3$

ทำให้ได้ว่า $y = 3/2$ ซึ่งไม่เป็นจำนวนเต็ม

จากทั้ง 3 กรณีสรุปได้ว่า สมการไดโอแฟนไทน์ $1 + 4^y = z^2$ ไม่มีผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ □

ทฤษฎีบท 3 สมการ $21^x + 1 = z^2$ โดยที่ $x, z \geq 0$ ไม่มีผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ

พิสูจน์ ให้ $21^x + 1 = z^2$ แบ่งการพิจารณาเป็น 3 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 ถ้า $x = 0$

จะได้ $21^0 + 1 = z^2$

นั่นคือ $1 + 1 = z^2$

ดังนั้น $z = \sqrt{2}$ ซึ่งไม่เป็นจำนวนเต็ม

กรณีที่ 2 ถ้า $x = 1$

จะได้ $21^1 + 1 = z^2$

นั่นคือ $z^2 = 22$

ดังนั้น $z = \sqrt{22}$ ซึ่งไม่เป็นจำนวนเต็ม

กรณีที่ 3 ถ้า $x > 1$ จัดสมการให้อยู่ในรูป $z^2 - 21^x = 1$

3.1 ถ้า $z = 0$ จะได้ว่า $-21^x = 1$ จะได้ว่า $x = 1$ เกิดข้อขัดแย้ง

3.2 ถ้า $z = 1$ จะได้ว่า $-21^x = 0$ เป็นไปไม่ได้

3.3 ถ้า $z > 1$ จากทฤษฎีบท 1 ซึ่งกล่าวว่าสมการ $a^x - b^y = 1$ มีผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบเพียงผลเฉลยเดียว คือ $(a, b, x, y) = (3, 2, 2, 3)$ เกิดข้อขัดแย้ง

จากทั้ง 3 กรณีย่อยจะได้ว่า ถ้า $x > 1$ จะไม่สามารถหาผลเฉลยได้

จากทั้ง 3 กรณีจึงสรุปได้ว่า สมการไดโอแฟนไทน์ $21^x + 1 = z^2$ ไม่มีผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ

□

ทฤษฎีบท 4 สมการไดโอแฟนไทน์ $21^x + 4^y = z^2$ มีผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบเพียงชุดเดียวคือ $(x, y, z) = (1, 1, 5)$

พิสูจน์ ให้ $21^x + 4^y = z^2$ โดยที่ x, y และ z เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ แบ่งการพิจารณาเป็น 3 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 $x = 0$

จะได้ $1 + 4^y = z^2$

โดยบทตั้ง 2 จะได้ว่าไม่มีผลเฉลย

กรณีที่ 2 $x = 1$

จะได้ $21 + 4^y = z^2$ นั่นคือ $21 = z^2 - 4^y = (z - 2^y)(z + 2^y)$

เนื่องจาก 21 สามารถเขียนอยู่ในรูปผลคูณของจำนวนเต็มบวกได้สองแบบคือ $3 \cdot 7$

และ $21 \cdot 1$ นอกจากนี้ $z + 2^y > z - 2^y$ จึงสามารถแบ่งพิจารณาเป็นสองกรณีย่อยดังนี้

กรณี 2.1

$$z + 2^y = 7 \tag{1}$$

และ

$$z - 2^y = 3 \tag{2}$$

จาก สมการ (1) และสมการ (2) จะได้ว่า $2^{y+1} = 4$

นั่นคือ $y + 1 = 2$

ดังนั้น $y = 1$

และจะได้ $z = 5$

นั่นคือ $(1, 1, 5)$ เป็นผลเฉลยหนึ่งของสมการ

กรณี 2.2

$$z + 2^y = 21 \tag{3}$$

และ

$$z - 2^y = 1 \tag{4}$$

จาก สมการ (3) และสมการ (4) จะได้ว่า $2^{y+1} = 20$ และจะได้ $2^{y-1} = 5$

กรณีนี้จึงเป็นไปไม่ได้

กรณีที่ 3 $x > 1$

เมื่อพิจารณา $21^x = z^2 - 2^2y = (z - 2^y)(z + 2^y)$

และกำหนดให้ u เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ และ $u < x$ โดยที่

$21^u = z - 2^y$

$21^{x-u} = z + 2^y$

จะได้ว่า $21^u(21^{x-2u} - 1) = 21^{x-u} - 21^u = 2 \cdot 2^y = 2^{y+1}$

เนื่องจาก 21^u ไม่สามารถจัดอยู่ในรูป 2^n ทุก n ที่เป็นจำนวนนับ

จะได้ว่า $21^u = 121^x - 1 = 2^{y+1}$

นั่นคือ $21^x - 2^{y+1} = 1$

โดยทฤษฎีบท 1 จะได้ว่า สมการดังกล่าวไม่มีผลเฉลย

จากทั้ง 3 กรณี จึงสรุปได้ว่าสมการไดโอแฟนไทน์ $21^x + 4^y = z^2$ มีผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบเพียงผลเฉลยเดียวคือ $(x, y, z) = (1, 1, 5)$ □

สรุปผลการวิจัย

สำหรับในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลเฉลย (x, y, z) เมื่อ x, y และ z เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ ของสมการไดโอแฟนไทน์ $21^x + 4^y = z^2$ พบว่า $(x, y, z) = (1, 1, 5)$ เป็นผลเฉลยเพียงผลเฉลยเดียวของสมการดังกล่าว

กิตติกรรมประกาศ

บทความวิจัยฉบับนี้ลุล่วงไปด้วยดีด้วยการสนับสนุนจาก คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

เอกสารอ้างอิง

[1] Suvarnamani, A. (2011). Solutions of the Diophantine equation $2^x + p^y = z^2$. International Journal of Mathematical Sciences and Applications, 1(13), p. 1415-1419.

[2] Sroysang, B. (2012). More on the Diophantine Equation $8^x + 19^y = z^2$. International Journal of Pure and Applied Mathematics, 81(4), p. 601-604.

[3] Sroysang, B. (2013). More on the Diophantine Equation $2^x + 3^y = z^2$. International Journal of Pure and Applied Mathematics, 84(2), p. 133-137.

[4] Sroysang, B. (2013). More on the Diophantine Equation $7^x + 8 = z^2$. International Journal of Pure and Applied Mathematics, 84(1), p. 111-114.

[5] Sroysang, B. (2014). More on the Diophantine Equation $8^x + 13^y = z^2$. International Journal of Pure and Applied Mathematics, 90(1), p. 69-72.

[6] Sroysang, B. (2014). More on the Diophantine Equation $8^x + 59^y = z^2$. International Journal of Pure and Applied Mathematics, 91(1), p. 139-142.

[7] Mihilescu, P. (2004). Primary cycolotomic units and a proof of Catalan's conjecture. Journal für die reine und angewandte Mathematik, 27(2004), p. 167 - 195.

Math. Appl. **2** (2013), 105–112
DOI: 10.13164/ma.2013.08

ON EXPONENTIATION AND MULTIPLICATION OF n-ARY HYPERALGEBRAS

NITIMA CHAISANSUK

Abstract. In the paper, a new operation of product of n-ary hyperalgebras is introduced and studied which lies between their direct product and the direct product of their idempotent hulls. With respect to the product introduced, we give sufficient conditions for the validity of the first exponential law and a weak form of the second exponential law for a natural exponentiation of n-ary hyperalgebras.

1. Introduction

Birkhoff's direct arithmetic of partially ordered sets [1] was extended to relational systems by several authors, see, e.g., [6, 7] and [9, 10]. Conversely, the cardinal arithmetic has been restricted from relational systems to (n-ary) algebras in [11], to partial algebras in [13] and to hyperalgebras in [12]. In the present paper, we continue the study of the arithmetic of hyperalgebras from [12]. Note that, as for generality, hyperalgebras lie between relational systems and algebras because algebras are the relational systems that are both partial algebras and hyperalgebras.

In [7], M. Novotný and J. Šlapal introduced and studied a new operation of product of relational systems which is a combination of their direct sum and direct product. In this note, we restrict the operation of product discussed in [7] to hyperalgebras. We will study the behavior of the product obtained and will find conditions under which a naturally defined exponentiation of n-ary hyperalgebras satisfies the first exponential law with respect to the product.

The theory of hyperalgebras has intensively been studied since the beginning of 1990's (see [2]) when hyperalgebras proved to be useful for many application in various branches of mathematics and computer science (automata theory). The aim of the present paper is to contribute to further development of the theory of hyperalgebras. We will focus on the arithmetic of n-ary hyperalgebras. First, we will introduce the operation of the direct sum od n-ary hyperalgebras in a natural way and show that it is compatible with the direct product of the hyperalgebras in the sense that the direct product distributes over it. Then, we will introduce a new operation for n-ary hyperalgebras, called the combined product, and investigate its behavior. In particular, we will be interested in the relationship of the combined

MSC (2010): primary 08A05, 08A99.
Keywords: n-ary hyperalgebra, diagonality, mediality, direct product, the first and second exponential laws.
This research was supported by the Royal Golden Jubilee Ph.D. Program of the Thailand Research Fund, the Graduate School and the Faculty of Science, Chiang Mai University, Thailand.

product to the naturally defined exponentiation of n-ary hyperalgebras. We will find sufficient conditions for the validity of the first exponential law and a weak form of the second exponential law with respect to the combined product.

2. Combined product of n-ary hyperalgebras

Given sets G, H, we denote by G^H the set of all mappings of H into G. It is easy to see that there is a bijection $\varphi : (G^H)^K \to G^{H\times K}$(where $\times$ denotes the cartesian product) given by $\varphi(h)(x,y) = h(y)(x)$ whenever $h \in (G^H)^K, x \in H$ and $y \in K$. The bijection φ will be called *canonical*.

Throughout the paper, maps $f : G \to H$ (G, H sets) will often be denoted by indexed sets $(f_i; i \in G)$ where $f_i \in H$ for every $i \in G$. Then, of course, f_i means $f(i)$ for every $i \in G$.

Let n be a non-negative integer. By an n-ary *hyperalgebra* we understand a pair $\mathbf{G} = (G,p)$ where G is a non-empty set, called the *carrier* of $\mathbf{G}$, and $p : G^n \to \exp G \setminus \{\emptyset\}$ is a map, called the *n-ary hyperoperation* of $\mathbf{G}$. To avoid some unwanted singularities, we do not consider the trivial case $n = 0$, i.e., we restrict our considerations to n-ary hyperalgebras with $n > 0$ only. An n-ary hyperalgebra $\mathbf{G} = (G,p)$ with the property card $p(x_1,\dots,x_n) = 1$ for every $x_1,\dots,x_n \in G$ is called an *n-ary algebra*. Binary hyperalgebras are usually called *hypergroupoids*.

Given an n-ary hyperalgebra $\mathbf{G} = (G,p)$ and non-empty subsets $X_1,\dots,X_n$ of G, we put $p(X_1,\dots,X_n) = \bigcup\{p(x_1,\dots,x_n); x_1 \in X_1,\dots,x_n \in X_n\}$.

Let $\mathbf{G} = (G,p)$, $\mathbf{H} = (H,q)$ be a pair of n-ary hyperalgebras. Then, $\mathbf{G}$ is called a *subhyperalgebra* of $\mathbf{H}$ provided that $G \subseteq H$ and $p(x_1,\dots,x_n) = q(x_1,\dots,x_n)$ whenever $x_1,\dots x_n \in G$. Given n-ary hyperalgebras $\mathbf{G}$, $\mathbf{H}$ with the same carrier G, we put $\mathbf{G} \le \mathbf{H}$ if $p(x_1,\dots,x_n) \subseteq q(x_1,\dots,x_n)$ whenever $x_1,\dots x_n \in G$. A map $f : H \to G$ is called a *homomorphism* of $\mathbf{H}$ into $\mathbf{G}$ if $f(q(x_1,\dots,x_n)) \subseteq p(f(x_1),\dots,f(x_n))$. The set of all homomorphisms of $\mathbf{H}$ into $\mathbf{G}$ will be denoted by $Hom(\mathbf{H},\mathbf{G})$. If f is a bijection of H onto G and $f(q(x_1,\dots,x_n)) = p(f(x_1),\dots,f(x_n))$ whenever $x_1,\dots,x_n \in H$, then f is called an *isomorphism* of $\mathbf{H}$ onto $\mathbf{G}$. In other words, an isomorphism of $\mathbf{H}$ onto $\mathbf{G}$ is a bijection $f : H \to G$ such that f is a homomorphism of $\mathbf{H}$ into $\mathbf{G}$ and f^{-1} is a homomorphism of $\mathbf{G}$ into $\mathbf{H}$. If there is an isomorphism of $\mathbf{H}$ onto $\mathbf{G}$, then we write $\mathbf{H} \cong \mathbf{G}$ and say that $\mathbf{H}$ and $\mathbf{G}$ are*isomorphic*. We say that $\mathbf{H}$ may be *embedded* into $\mathbf{G}$ and write $\mathbf{H} \preceq \mathbf{G}$ if there exists a subhyperalgebra $\mathbf{G}'$ of $\mathbf{G}$ such that $\mathbf{H} \cong \mathbf{G}'$.

The *direct product* of a non-empty family $\mathbf{G}_i = (G_i, p_i), i \in I$, of n-ary hyperalgebras is the n-ary hyperalgebra $\prod_{i\in I}\mathbf{G}_i = (\prod_{i\in I} G_i, q)$ where $\prod_{i\in I} G_i$ is the cartesian product and q is given by $q(f_1,\dots,f_n) = \prod_{i\in I} p_i(f_1(i),\dots,f_n(i))$ whenever $f_1,\dots,f_n \in \prod_{i\in I} G_i$. If the set I is finite, say $I = \{1,\dots,m\}$, then we write $\mathbf{G}_1 \times \dots \times \mathbf{G}_m$ instead of $\prod_{i\in I} G_i$. If $\mathbf{G}_i = \mathbf{G}$ for every $i \in I$, then we write $\mathbf{G}^I$ instead of $\prod_{i\in I}\mathbf{G}_i$.

The *direct sum* of a family $\mathbf{G}_i = (G, p_i), i \in I$, of n-ary hyperalgebras is the n-ary hyperalgebra $\sum_{i\in I}\mathbf{G}_i = (G,q)$ where, for every $x_1,\dots,x_n \in G, q(x_1,\dots,x_n) = \bigcup_{i\in I} p_i(x_1,\dots,x_n)$. If the set I is finite, say $I = \{1,\dots,m\}$, then we write $\mathbf{G}_1 \uplus \dots \uplus \mathbf{G}_m$ instead of $\sum_{i\in I}\mathbf{G}_i$.

An n-ary hyperalgebra $\mathbf{G} = (G,p)$ is said to be *idempotent* if, for every $x \in G$, $x \in p(x_1,\dots,x_n)$ whenever $x = x_1 = \dots = x_n$. Let $\mathbf{G} = (G,p)$ be an n-ary

hyperalgebra. For every $x_1, \ldots, x_n \in G$, we put

$$\bar{p}(x_1, \ldots, x_n) = \begin{cases} p(x_1, \ldots, x_n) \cup \{x\} & \text{if there is } x \in G \text{ with } x = x_1 = \ldots = x_n, \\ p(x_1, \ldots, x_n) & \text{if there are } i, j \in \{1, \ldots, n\} \text{ with } x_i \neq x_j. \end{cases}$$

The n-ary hyperalgebra $(G, \bar{p})$ is called the *idempotent hull* of $\mathbf{G}$ and is denoted by $\bar{\mathbf{G}}$.

Let $\mathbf{G}_i = (G_i, p_i), i \in I$, be a non-empty family of n-ary hyperalgebras. The *combined product* of the family $\mathbf{G}_i, i \in I$, is the n-ary hyperalgebra $\bigotimes_{i \in I} \mathbf{G}_i = (\prod_{i \in I} G_i, r)$ given by $\bigotimes_{i \in I} \mathbf{G}_i = \sum_{i \in I} \prod_{j \in I} \mathbf{G}_{ij}$ where

$$\mathbf{G}_{ij} = \begin{cases} \bar{\mathbf{G}}_j & \text{if } i = j, \\ \mathbf{G}_j & \text{if } i \neq j. \end{cases}$$

Thus, for any $(x_1^i; i \in I), \ldots, (x_n^i; i \in I) \in \prod_{i \in I} \mathbf{G}_i$, we have $(x^i; i \in I) \in r((x_1^i; i \in I), \ldots, (x_n^i; i \in I))$ if and only if there exists a subset $J \subseteq I$, card $J \leq 1$, such that $x^i \in p_i(x_1^i, \ldots, x_n^i)$ for every $i \in I \setminus J$ and $x^i = x_1^i = x_2^i = \ldots = x_n^i$ and for every $i \in J$.

If the set I is finite, say $I = \{1, \ldots, m\}$, we write $\mathbf{G}_1 \otimes \ldots \otimes \mathbf{G}_m$ instead of $\bigotimes_{i \in I} \mathbf{G}_i$. We then clearly have $\mathbf{G}_1 \otimes \ldots \otimes \mathbf{G}_m = (\mathbf{G}_{11} \times \mathbf{G}_{12} \times \ldots \times \mathbf{G}_{1m}) \uplus (\mathbf{G}_{21} \times \mathbf{G}_{22} \times \ldots \times \mathbf{G}_{2m}) \uplus \ldots \uplus (\mathbf{G}_{m1} \times \mathbf{G}_{m2} \ldots, \times \mathbf{G}_{mm}) = (\bar{\mathbf{G}}_1 \times \mathbf{G}_2 \times \ldots \times \mathbf{G}_m) \uplus (\mathbf{G}_1 \times \bar{\mathbf{G}}_2 \times \ldots \times \mathbf{G}_m) \uplus \ldots \uplus (\mathbf{G}_1 \times \mathbf{G}_2 \times \ldots \times \bar{\mathbf{G}}_m)$. In particular, if $I = \{1, 2\}$, then, for any $(x_1, y_1), \ldots, (x_n, y_n) \in \mathbf{G}_1 \times \mathbf{G}_2$, $(x, y) \in r((x_1, y_1), \ldots, (x_n, y_n))$ if and only if one of the following three conditions is satisfied:

(i) $x \in p_1(x_1, \ldots, x_n)$ and $y \in p_2(y_1, \ldots, y_n)$,
(ii) $x = x_1 = x_2 = \ldots = x_n$ and $y \in p_2(y_1, \ldots, y_n)$,
(iii) $x \in p_1(x_1, \ldots, x_n)$ and $y = y_1 = y_2 = \ldots = y_n$.

If I is a singleton, say $I = \{j\}$, then $\bigotimes_{i \in I} \mathbf{G}_i = \bar{\mathbf{G}}_j$.

Remark 2.1. Let $\mathbf{G}_i, i \in I$ be a family of n-ary hyperalgebras. We clearly have $\prod_{i \in I} \mathbf{G}_i \leq \bigotimes_{i \in I} \mathbf{G}_i \leq \prod_{i \in I} \bar{\mathbf{G}}_i = \bigotimes_{i \in I} \bar{\mathbf{G}}_i$ and $\overline{\bigotimes_{i \in I} \mathbf{G}_i} \leq \bigotimes_{i \in I} \bar{\mathbf{G}}_i$. If $\mathbf{G}_i$ is idempotent for every $i \in I$, then all the previous inequalities become equalities. If at most one of the n-ary hyperalgebras $\mathbf{G}_i, i \in I$, is not idempotent, then $\bigotimes_{i \in I} \mathbf{G}_i$ is idempotent.

The following statement shows that the direct sum of n-ary hyperalgebras is compatible with their direct product in the sense that the direct product distributes over it.

Theorem 2.2. *Let $\mathbf{G}_i = (G_i, p_i), i \in I$, be a non-empty family of n-ary hyperalgebras and let $\mathbf{H} = (H, q)$ be an n-ary hyperalgebra. Then $\sum_{i \in I} \mathbf{H} \otimes \mathbf{G}_i = \mathbf{H} \otimes \sum_{i \in I} \mathbf{G}_i$.*

Proof. Let $\sum_{i \in I} \mathbf{G}_i = (G, s), \mathbf{H} \otimes \mathbf{G}_i = (H \times G, r_i)$ for each $i \in I$, $\mathbf{H} \otimes \sum_{i \in I} \mathbf{G}_i = (H \times G, u)$ and $\sum_{i \in I} \mathbf{H} \otimes \mathbf{G}_i = (H \times G, v)$. We will show that $u((x_1, y_1), \ldots, (x_n, y_n)) = v((x_1, y_1), \ldots, (x_n, y_n))$ for every $(x_1, y_1), \ldots, (x_n, y_n) \in H \times G$. It is easy to see that the following five conditions are equivalent:

(a) $(x, y) \in u((x_1, y_1), \ldots, (x_n, y_n))$;
(b) one of the following three cases occurs:
  (i) $x \in q(x_1, \ldots, x_n)$ and $y \in s(y_1, \ldots, y_n)$,

(ii) $x = x_1 = x_2 = \ldots = x_n$ and $y \in s(y_1, \ldots, y_n)$,
(iii) $x \in q(x_1, \ldots, x_n)$ and $y = y_1 = y_2 = \ldots = y_n$;
(c) one of the following three cases occurs:
(i) $x \in q(x_1, \ldots, x_n)$ and $y \in p_i(y_1, \ldots, y_n)$ for some $i \in I$,
(ii) $x = x_1 = x_2 = \ldots = x_n$ and $y \in p_i(y_1, \ldots, y_n)$ for some $i \in I$,
(iii) $x \in q(x_1, \ldots, x_n)$ and $y = y_1 = y_2 = \ldots = y_n$;
(d) $(x, y) \in r_i((x_1, y_1), \ldots, (x_n, y_n))$ for some $i \in I$;
(e) $(x, y) \in v((x_1, y_1), \ldots, (x_n, y_n))$.

This proves the statement. □

3. Power of hyperalgebras

Definition 3.1. An n-ary hyperalgebra (G, p) is called *medial* if, for every $n \times n$-matrix (a_{ij}) over G, from $x_i \in p(a_{i1}, \ldots, a_{in})$ for each $i = 1, \ldots, n$ and $y_j \in p(a_{1j}, \ldots, a_{nj})$ for each $j = 1, \ldots, n$, it follows that $p(x_1, \ldots, x_n) = p(y_1, \ldots, y_n)$.

The medial n-ary algebras are studied in [11]. The mediality may be extended, in a natural way, from n-ary algebras to universal algebras. The medial universal algebras are then often called commutative or the universal algebras satisfying the interchange law and are dealt with, e.g., in [4, 5] and [11]. The medial groupoids are studied in [3].

Example 3.2. (1) Let $(X, \leq)$ be a partially ordered set with a least element 0 and let A be the set of all atoms of $(X, \leq)$. Put $0' = \{0\}$ and, for any $x \in X$ with $x \neq 0$, put $x' = \{y \in X; y < x \text{ and } y \in A \cup \{0\}\}$. Further, for any pair $x, y \in X$, put $x * y = x' \cap y'$. Then, $(X, *)$ is a medial hypergroupoid. Indeed, it can easily be seen that, for any $a, b, c, d \in X$, we have $x * y = f * g$ whenever $x \in a * b$, $y \in c * d$, $f \in a * c$ and $g \in b * d$.

(2) Every unary algebra $\mathbf{G}$ consisting of two-element cycles only is medial and, moreover, the n-ary hyperalgebra $\bar{\mathbf{G}}$ is medial, too.

Lemma 3.3. *Let $\mathbf{H} = (H, q)$ and $\mathbf{G} = (G, p)$ be n-ary hyperalgebras and let $f_1, \ldots, f_n \in Hom(\mathbf{H}, \mathbf{G})$. Let $f : H \to G$ be a map such that $f(x) \in p(f_1(x), \ldots, f_n(x))$ for every $x \in H$. If $\mathbf{G}$ is medial, then f is a homomorphism from $\mathbf{H}$ into $\mathbf{G}$.*

Proof. Let $x_1, \ldots, x_n \in H$. We will show that $f(q(x_1, \ldots, x_n)) \subseteq p(f(x_1), \ldots, f(x_n))$. Let $y \in f(q(x_1, \ldots, x_n))$. Then, there exists $x \in q(x_1, \ldots, x_n)$ such that $y = f(x)$, so that $f(x) \in f(q(x_1, \ldots, x_n))$. Since $f_1, \ldots, f_n \in Hom(\mathbf{H}, \mathbf{G})$ and $x \in q(x_1, \ldots, x_n)$, we have $f_j(x) \in f_j(q(x_1, \ldots, x_n)) \subseteq p(f_j(x_1), \ldots, f_j(x_n))$ for each $j = 1, \ldots, n$. By the assumption, we have $f(x_i) \in p(f_1(x_i), \ldots, f_n(x_i))$ for each $i = 1, \ldots, n$ and $f(x) \in p(f_1(x), \ldots, f_n(x))$. Since $\mathbf{G}$ is medial, $p(f_1(x), \ldots, f_n(x)) = p(f(x_1), \ldots, f(x_n))$. Thus, $y = f(x) \in p(f(x_1), \ldots, f(x_n))$. □

The previous lemma enables us to define:

Definition 3.4. Let $\mathbf{G} = (G, p)$ and $\mathbf{H} = (H, q)$ be n-ary hyperalgebras and let $\mathbf{G}$ be medial. The *power* of $\mathbf{G}$ and $\mathbf{H}$ is the n-ary hyperalgebra $\mathbf{G}^{\mathbf{H}} = (Hom(\mathbf{H}, \mathbf{G}), r)$ where, for any $f_1, \ldots, f_n \in Hom(\mathbf{H}, \mathbf{G})$, $r(f_1, \ldots, f_n) = \{f \in G^H; f(x) \in p(f_1(x), \ldots, f_n(x)) \text{ for each } x \in H\}$.

It is easy to see that the power $\mathbf{G}^{\mathbf{H}}$ of n-ary hyperalgebras is idempotent whenever $\mathbf{G}$ is idempotent (and medial).

Theorem 3.5. *Let $\mathbf{G}, \mathbf{H}$ be n-ary hyperalgebras. If $\mathbf{G}$ is medial, then so is $\mathbf{G}^{\mathbf{H}}$.*

Proof. Let $\mathbf{G} = (G, p)$, $\mathbf{H} = (H, q)$, $\mathbf{G}^{\mathbf{H}} = (Hom(\mathbf{H}, \mathbf{G}), r)$ and let (f_{ij}) be an $n \times n$-matrix over $Hom(\mathbf{H}, \mathbf{G})$. Suppose $h_i \in r(f_{i1}, \ldots, f_{in})$ for all $i = 1, \ldots, n$ and $g_j \in r(f_{1j}, \ldots, f_{nj})$ for all $j = 1, \ldots, n$. For every $x \in H$, we have $h_i(x) \in p(f_{i1}(x), \ldots, f_{in}(x))$ for all $i = 1, \ldots, n$ and $g_j(x) \in p(f_{1j}(x), \ldots, f_{nj}(x))$ for all $j = 1, \ldots, n$. Since $\mathbf{G}$ is medial, we have $p(h_1(x), \ldots, h_n(x)) = p(g_1(x), \ldots, g_n(x))$ for every $x \in H$. Therefore, $r(h_1, \ldots, h_n) = r(g_1, \ldots, g_n)$, so that $\mathbf{G}^{\mathbf{H}}$ is medial. □

Definition 3.6. An n-ary hyperalgebra (G, p) is called *diagonal* if, for every $n \times n$-matrix (a_{ij}) over G, we have $p(p(a_{11}, \ldots, a_{1n}), \ldots, p(a_{n1}, \ldots, a_{nn})) \cap p(p(a_{11}, \ldots, a_{n1}), \ldots, p(a_{1n}, \ldots, a_{nn})) \subseteq p(a_{11}, \ldots, a_{nn})$.

For idempotent algebras, the diagonality introduced coincides with the diagonality studied in [8].

Example 3.7. It may easily be seen that the hypergroupoid from Example 3.2 is diagonal.

Theorem 3.8. *Let $\mathbf{G}, \mathbf{H}$ be n-ary hyperalgebras. If $\mathbf{G}$ is medial and diagonal, then $\mathbf{G}^{\mathbf{H}}$ is diagonal.*

Proof. Let $\mathbf{G} = (G, p)$, $\mathbf{H} = (H, q)$, $\mathbf{G}^{\mathbf{H}} = (Hom(\mathbf{H}, \mathbf{G}), r)$ and let (f_{ij}) be an $n \times n$-matrix over $Hom(\mathbf{H}, \mathbf{G})$. Suppose that $f \in r(r(f_{11}, \ldots, f_{1n}), \ldots, r(f_{n1}, \ldots, f_{nn})) \cap r(r(f_{11}, \ldots, f_{n1}), \ldots, r(f_{1n}, \ldots, f_{nn}))$. Then, $f(x) \in p(p(f_{11}(x), \ldots, f_{1n}(x)), \ldots, r(f_{n1}(x), \ldots, f_{nn}(x))) \cap p(p(f_{11}(x), \ldots, f_{n1}(x)), \ldots, p(f_{1n}(x), \ldots, f_{nn}(x)))$ for every $x \in H$. Since $\mathbf{G}$ is diagonal, we have $f(x) \in p(f_{11}(x), \ldots, f_{nn}(x))$ for every $x \in H$. Thus, $f \in r(f_{11}, \ldots, f_{nn})$. Hence, $\mathbf{G}^{\mathbf{H}}$ is diagonal. □

We will find sufficient conditions for the validity of the first exponential law for exponentiation of n-ary hyperalgebras with respect to the combined product, i.e., the law

$$(\mathbf{G}^{\mathbf{H}})^{\mathbf{K}} \cong \mathbf{G}^{\mathbf{H} \otimes \mathbf{K}}.$$

Lemma 3.9. *Let $\mathbf{G}, \mathbf{H}, \mathbf{K}$ be n-ary hyperalgebras and let $\mathbf{G}$ be medial and diagonal. Then, the canonical bijection $\varphi : (G^H)^K \to G^{H \times K}$ restricted to $Hom(\mathbf{K}, \mathbf{G}^{\mathbf{H}})$ is a bijection of $Hom(\mathbf{K}, \mathbf{G}^{\mathbf{H}})$ onto $Hom(\mathbf{H} \otimes \mathbf{K}, \mathbf{G})$.*

Proof. Let $\mathbf{G} = (G, p)$, $\mathbf{H} = (H, q)$, $\mathbf{K} = (K, s)$, $\mathbf{G}^{\mathbf{H}} = (Hom(\mathbf{H}, \mathbf{G}), r)$, $\mathbf{H} \otimes \mathbf{K} = (H \times K, v)$ and let $\mathbf{G}$ be diagonal and medial.

Let $h \in Hom(\mathbf{K}, \mathbf{G}^{\mathbf{H}})$ and let $(y_1, z_1), \ldots, (y_n, z_n) \in H \times K$. To show that $\varphi(h)(v((y_1, z_1), \ldots, (y_n, z_n)) \subseteq p(\varphi(h)(y_1, z_1), \ldots, \varphi(h)(y_n, z_n))$, let $x \in \varphi(h)(v((y_1, z_1), \ldots, (y_n, z_n)))$. Then, there exists $(y, z) \in v((y_1, z_1), \ldots, (y_n, z_n))$ such that $x = \varphi(h)(y, z)$. Thus, one of the following three conditions is satisfied:

(i) $y \in q(y_1, \ldots, y_n)$ and $z \in s(z_1, \ldots, z_n)$,
(ii) $y = y_1 = y_2 = \ldots = y_n$ and $z \in s(z_1, \ldots, z_n)$,
(iii) $y \in q(y_1, \ldots, y_n)$ and $z = z_1 = z_2 = \ldots = z_n$.

If $z \in s(z_1,\dots,z_n)$, then $h(z) \in h(s(z_1,\dots,z_n)) \subseteq r(h(z_1),\dots,h(z_n))$, hence $\varphi(h)(y,z) = h(z)(y) \in p((h(z_1)(y),\dots,h(z_n)(y)) = p(\varphi(h)(y,z_1),\dots,\varphi(h)(y,z_n)$ for every $y \in H$. Thus, $\varphi(h)(y,z) \in p(\varphi(h)(y_1,z_1),\dots,\varphi(h)(y_n,z_n))$ provided that (ii) is satisfied.

If $y \in q(y_1,\dots,y_n)$, then $\varphi(h)(y,z) = h(z)(y) \in h(z)(q(y_1,\dots,y_n)) \subseteq p(h(z)(y_1),\dots,h(z)(y_n)) = p(\varphi(h)(y_1,z),\dots,\varphi(h)(y_n,z))$ for every $z \in K$. Thus, $\varphi(h)(y,z) \in p(\varphi(h)(y_1,z_1),\dots,\varphi(h)(y_n,z_n))$ provided that (iii) is satisfied.

Suppose that (i) is satisfied. Since $z \in s(z_1,\dots,z_n)$, by the above considerations, we have $\varphi(h)(y_i,z) \in p(\varphi(h)(y_i,z_1),\dots,\varphi(h)(y_i,z_n))$ for every $i = 1,\dots,n$ and $\varphi(h)(y,z) \in p(\varphi(h)(y,z_1),\dots,\varphi(h)(y,z_n))$. Since $y \in q(y_1,\dots,y_n)$, by the above considerations we have $\varphi(h)(y,z_j) \in p(\varphi(h)(y_1,z_j),\dots,\varphi(h)(y_n,z_j))$ for every $j = 1,\dots,n$ and $\varphi(h)(y,z) \in p(\varphi(h)(y_1,z),\dots,\varphi(h)(y_n,z))$. The diagonality of $\mathbf{G}$ implies $\varphi(h)(y,z) \in p(\varphi(h)(y_1,z_1),\dots,\varphi(h)(y_n,z_n))$. We have shown that $\varphi(h) \in Hom(\mathbf{H}\otimes\mathbf{K},\mathbf{G})$.

Let $g \in Hom(\mathbf{H}\otimes\mathbf{K},\mathbf{G})$, $z_1,\dots,z_n \in K$. To show that $\varphi^{-1}(g)(s(z_1,\dots,z_n)) \subseteq r\ (\varphi^{-1}(g)(z_1)\ ,\dots,\varphi^{-1}(g)(z_n))$, let $x \in \varphi^{-1}(g)(s(z_1,\dots,z_n))$. Then, there exists $z \in s(z_1,\dots,z_n)$ such that $x \in \varphi^{-1}(g)(z)$. Let $y \in H$. Thus, $(y,z) \in v((y,z_1),\dots,(y,z_n))$. Since $g \in Hom(\mathbf{H}\otimes\mathbf{K},\mathbf{G})$, we have $g(y,z) \in g(v((y,z_1)\ ,\dots,(y,z_n)) \subseteq p(g(y,z_1),\dots,g(y,z_n))$. It follows that $\varphi^{-1}(g)(z)(y) \in p(\varphi^{-1}(g)(z_1)(y)\ ,\dots,\varphi^{-1}(g)(z_n)(y))$, hence $\varphi^{-1}(g)(z) \in p(\varphi^{-1}(g)(z_1),\dots,\varphi^{-1}(g)(z_n))$. Therefore, $\varphi^{-1}(g)(s(z_1,\dots,z_n)) \subseteq r(\varphi^{-1}(g)(z_1),\dots,\varphi^{-1}(g)(z_n))$. Consequently, $\varphi^{-1}(g) \in Hom(\mathbf{K},\mathbf{G}^{\mathbf{H}})$. □

Theorem 3.10. *Let $\mathbf{G},\mathbf{H},\mathbf{K}$ be n-ary hyperalgebras. If $\mathbf{G}$ is medial and diagonal, then*

$$(\mathbf{G}^{\mathbf{H}})^{\mathbf{K}} \cong \mathbf{G}^{\mathbf{H}\otimes\mathbf{K}}.$$

Proof. Let $\mathbf{G} = (G,p)$, $\mathbf{H} = (H,q)$, $\mathbf{K} = (K,s)$, $\mathbf{G}^{\mathbf{H}} = (Hom(\mathbf{H},\mathbf{G}),r)$, $\mathbf{H}\otimes\mathbf{K} = (H\times K,v)$, $(\mathbf{G}^{\mathbf{H}})^{\mathbf{K}} = (Hom(\mathbf{K},\mathbf{G}^{\mathbf{H}}),t)$, $\mathbf{G}^{\mathbf{H}\otimes\mathbf{K}} = (Hom(\mathbf{H}\otimes\mathbf{K},\mathbf{G}),u)$ and let $\mathbf{G}$ be diagonal and medial. Because of Lemma 3.9, we are to show that $\varphi(t(h_1,\dots,h_n)) = u(\varphi(h_1),\dots,\varphi(h_n))$ whenever $h_1,\dots,h_n \in Hom(\mathbf{K},\mathbf{G}^{\mathbf{H}})$.

Let $x \in \varphi(t(h_1,\dots,h_n))$. Then, there exists $h \in t(h_1,\dots,h_n)$ such that $x = \varphi(h)$. Since $h \in t(h_1,\dots,h_n)$, we have $h(z) \in r(h_1(z),\dots,h_n(z))$ for every $z \in K$. Therefore, $h(z)(y) \in p(h_1(z)(y),\dots,h_n(z)(y))$ for every $y \in H$. Thus $\varphi(h)(y,z) \in p(\varphi(h_1)(y,z),\dots,\varphi(h_n)(y,z))$ for every $(y,z) \in H\times K$. Hence, $\varphi(h) \in u(\varphi(h_1),\dots,\varphi(h_n))$. Consequently, $\varphi(t(h_1,\dots,h_n)) \subseteq u(\varphi(h_1),\dots,\varphi(h_n))$.

Conversely, let $x \in u(\varphi(h_1),\dots,\varphi(h_n))$. By Lemma 3.9, there exists $h \in Hom(\mathbf{K},\mathbf{G}^{\mathbf{H}})$ with $x = \varphi(h)$, so that $\varphi(h) \in u(\varphi(h_1),\dots,\varphi(h_n))$. Then, $\varphi(h)(y,z) \in p(\varphi(h_1)(y,z)\ ,\dots,\varphi(h_n)(y,z))$ for every $(y,z) \in H\times K$, which implies $h(z)(y) \in p(h_1(z)(y)\ ,\dots,\ h_n(z)(y))$ for every $y \in H$ and $z \in K$. It follows that $h(z) \in r(h_1(z),\dots,\ h_n(z))$ for every $z \in K$. Therefore, $h \in t(h_1,\dots,h_n)$, thus $\varphi(h) \in \varphi(t(h_1,\dots,h_n))$. Hence, $u(\varphi(h_1),\dots,\varphi(h_n)) \subseteq \varphi(t(h_1,\dots,h_n))$.

We have shown that $\varphi(t(h_1,\dots,h_n)) = u(\varphi(h_1),\dots,\varphi(h_n))$. Thus, $(\mathbf{G}^{\mathbf{H}})^{\mathbf{K}}$ is isomorphic to $\mathbf{G}^{\mathbf{H}\otimes\mathbf{K}}$. □

Remark 3.11. It follows from Theorem 3.10 that the first exponential law with respect to the direct product, i.e., the law $(\mathbf{G}^{\mathbf{H}})^{\mathbf{K}} \cong \mathbf{G}^{\mathbf{H}\times\mathbf{K}}$, is valid whenever $\mathbf{G},\mathbf{H},\mathbf{K}$ are n-ary hyperalgebras, $\mathbf{G}$ medial and diagonal and $\mathbf{H},\mathbf{K}$ idempotent.

This result was proved in [12]. But Theorem 3.10 says that, with respect to the combined product, the first exponential law is satisfied for any n-ary hyperalgebras $\mathbf{H}, \mathbf{K}$, not only for idempotent ones.

It may easily be seen that the direct product of a family of medial n-ary hyperalgebras is a medial n-ary hyperalgebra. But this is not generally true for the combined product of n-ary hyperalgebras. With respect to the combined product, we have the following weak form of the second exponential law:

Proposition 3.12. *Let $\mathbf{G}_i$, $i \in I$, be a non-empty family of medial n-ary hyperalgebras and $\mathbf{H}$ be an n-ary hyperalgebra. If $\bigotimes_{i\in I} \mathbf{G}_i$ is medial, then*

$$\bigotimes_{i\in I} \mathbf{G}_i^{\mathbf{H}} \preceq (\bigotimes_{i\in I} \mathbf{G}_i)^{\mathbf{H}}.$$

Proof. Let $\mathbf{G}_i = (G_i, p^i)$ for every $i \in I$, $\mathbf{H} = (H, q)$, $\bigotimes_{i\in I} \mathbf{G}_i = (\prod_{i\in I} G_i, r)$, $\mathbf{G}_i^H = (Hom(\mathbf{H}, \mathbf{G}_i), u^i)$ for every $i \in I$, $\bigotimes_{i\in I} \mathbf{G}_i{}^{\mathbf{H}} = (\prod_{i\in I} Hom(\mathbf{H}, \mathbf{G}_i), s)$ and $(\bigotimes_{i\in I} \mathbf{G}_i)^{\mathbf{H}} = (Hom(\mathbf{H}, \bigotimes_{i\in I} \mathbf{G}_i), t)$. We define a map $\alpha : \prod_{i\in I} Hom(\mathbf{H}, \mathbf{G}_i) \to (\prod_{i\in I} G_i)^H$ by $\alpha(f^i;\ i \in I)(z) = (f^i(z);\ i \in I)$ for each $z \in H$.

Let $(f^i;\ i \in I) \in \prod_{i\in I} Hom(\mathbf{H}, \mathbf{G}_i)$. Let $h \in \alpha(f^i;\ i \in I)(q(x_1, \ldots, x_n))$. Then, $h = \alpha(f^i;\ i \in I)(x)$ where $x \in q(x_1, \ldots, x_n)$. Thus, $h = \alpha(f^i; i \in I)(x) = (f^i(x); i \in I)$. Since $x \in q(x_1, \ldots, x_n)$ and $f^i \in Hom(\mathbf{H}, \mathbf{G}_i)$ for every $i \in I$, we have $f^i(x) \in p^i(f^i(x_1), \ldots, f^i(x_n))$ for every $i \in I$. Thus, $h = (f^i(x); i \in I) \in r((f^i(x_1); i \in I), \ldots, (f^i(x_n); i \in I)) = r(\alpha(f^i;\ i \in I)(x_1), \ldots, \alpha(f^i;\ i \in I)(x_n))$. Consequently, $\alpha(f^i;\ i \in I)(q(x_1, \ldots, x_n)) \subseteq r(\alpha(f^i;\ i \in I)(x_1), \ldots, \alpha(f^i;\ i \in I)(x_n))$. Therefore, $\alpha(f^i;\ i \in I) \in Hom(\mathbf{H}, \bigotimes_{i\in I} \mathbf{G}_i)$. We have shown that α maps $\prod_{i\in I} Hom(\mathbf{H}, \mathbf{G}_i)$ into $Hom(\mathbf{H}, \bigotimes_{i\in I} \mathbf{G}_i)$.

Suppose that $\alpha(f^i;\ i \in I) = \alpha(g^i;\ i \in I)$ where $(f^i;\ i \in I), (g^i;\ i \in I) \in \prod_{i\in I} Hom(\mathbf{H}, \mathbf{G}_i)$. Then $(f^i(x);\ i \in I) = \alpha(f^i;\ i \in I)(x) = \alpha(g^i;\ i \in I)(x) = (g^i(x);\ i \in I)$ for every $x \in H$. Therefore, $f^i(x) = g^i(x)$ for every $i \in I$ and for every $x \in H$. Hence, $f^i = g^i$ for every $i \in I$. Thus, α: $\prod_{i\in I} Hom(\mathbf{H}, \mathbf{G}_i) \to Hom(\mathbf{H}, \bigotimes_{i\in I} \mathbf{G}_i)$ is an injection.

Finally, let $(f_1^i;\ i \in I), \ldots, (f_n^i;\ i \in I) \in \prod_{i\in I} Hom(\mathbf{H}, \mathbf{G}_i)$. We are to show that $\alpha(s((f_1^i;\ i \in I), \ldots, (f_n^i;\ i \in I))) = t(\alpha(f_1^i;\ i \in I), \ldots, \alpha(f_n^i;\ i \in I))$. It is easy to see that the following seven conditions are equivalent:

(a) $f \in \alpha(s_\lambda((f_1^i;\ i \in I), \ldots, (f_n^i;\ i \in I)))$;
(b) $f = \alpha(f^i; i \in I)$ where $(f^i; i \in I) \in s((f_1^i; i \in I), \ldots, (f_n^i; i \in I))$;
(c) $f = \alpha(f^i; i \in I)$ and there exists $J \subseteq I$, card $J \leq 1$, such that $f^i \in u^i(f_1^i, \ldots, f_n^i)$ for every $i \in I \setminus J$ and $f^i = f_1^i = f_2^i = \ldots = f_n^i$ for every $i \in J$;
(d) $f(x) = (f^i(x); i \in I)$ for every $x \in H$ and there exists $J \subseteq I$, card $J \leq 1$, such that $f^i(x) \in p_\lambda^i(f_1^i(x), \ldots, f_n^i(x))$ for every $i \in I \setminus J$ and every $x \in H$ and $f^i(x) = f_1^i(x) = f_2^i(x) = \ldots = f_n^i(x)$ for every $i \in J$ and every $x \in H$;
(e) $f(x) = (f^i(x); i \in I) \in r((f_1^i(x);\ i \in I), \ldots, (f_n^i(x);\ i \in I))$ for every $x \in H$;
(f) $f(x) \in r(\alpha(f_1^i;\ i \in I)(x), \ldots, \alpha(f_n^i;\ i \in I)(x))$ for every $x \in H$;
(g) $f \in t(\alpha(f_1^i;\ i \in I), \ldots, \alpha(f_n^i;\ i \in I))$.

Consequently, $\alpha(s((f_1^i;\, i\in I),\dots,(f_n^i;\, i\in I))) = t(\alpha(f_1^i;\, i\in I),\dots,\alpha(f_n^i;\, i\in I))$, which yields $\bigotimes_{i\in I}\mathbf{G}_i^{\mathbf{H}} \preceq (\bigotimes_{i\in I}\mathbf{G}_i)^{\mathbf{H}}$. □

Remark 3.13. It may easily be shown that, in the previous Proposition, we may write $\cong$ instead of $\preceq$ provided that $\mathbf{G}_i$ is idempotent for every $i\in I$. We then obtain the second exponential law for the direct product, i.e., the law $\prod_{i\in I}\mathbf{G}_i^{\mathbf{H}} \cong (\prod_{i\in I}\mathbf{G}_i)^{\mathbf{H}}$. We leave it as an open problem to find a necessary and sufficient condition for the validity of the second exponential law for the direct power of n-ary hyperalgebras with respect to the combined product, i.e., the law $\bigotimes_{i\in I}\mathbf{G}_i^{\mathbf{H}} \cong (\bigotimes_{i\in I}\mathbf{G}_i)^{\mathbf{H}}$.

References

[1] G. Birkhoff, *Generalized arithmetic*, Duke Math. J. **9** (1942), 283–302. DOI: 10.1215/S0012-7094-42-00921-9

[2] P. Corsini (ed.), *Algebraic Hyperstructures and Applications*, Proceedinds of the Sixth International Congress, Prague, 1996, Democritus University of Thrace, Greece, 1997.

[3] J. Ježek and T. Kepka, *Medial Groupoids*, Rozpravy ČSAV, Řada Mat. a Přír. Věd. 93/1, Academia, Prague, 1983.

[4] L. Klukovits, *On commutative universal algebras*, Acta Sci. Math. (Szeged) **34** (1973), 171–174.

[5] F. E. Linton, *Autonomous equational categories*, J. Math. Mech. **15** (1966), 637–642.

[6] V. Novák, *On a power of relational structures*, Czech. Math. J. **35** (1985), 321–328.

[7] M. Novotný and J. Šlapal, *On powers of relational structures*, Publ. Math. Debrecen **61** (2002), 341–356.

[8] J. Plonka, *Diagonal algebras*, Fund. Math. **58** (1966), 309–321.

[9] J. Šlapal, *Direct arithmetic of relational systems*, Publ. Math. Debrecen **38** (1991), 39–48.

[10] J. Šlapal, *Cardinal arithmetic of general relational systems*, Czech. Math. J. **43** (1993), 125–139.

[11] J. Šlapal, *On exponentiation of n-ary algebras*, Acta Math. Hungar. **63** (1994), 313–322.

[12] J. Šlapal, *On exponentiation of universal hyperalgebras*, Alg. Universalis **44** (2000), 187–193.

[13] J. Šlapal, *Exponentiality in categories of partial algebras*, Mat. Pannon. **13** (2002), 201–206.

Nitima Chaisansuk, Department of Mathematics, Chiang Mai University, Faculty of Science, 239 Huaykaew Road, Tumbol Suthep Amphur Muang, 50200 Chiang Mai, Thailand
e-mail: nitimachaisansuk@gmail.com

บทความวิจัย

ปีที่ 3 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2567
วารสาร มรภ.กพ. วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี
Journal of KPRU Science Mathematics and Technology

จำนวนโครมาติคของบางกราฟ

The Chromatic Number of Some Graphs

ศิวรี สุดสนิท*, จิติศักดิ์ เสียงดัง, ธนกฤต ศรีวิชา, ทะนงศักดิ์ จัดที่
โปรแกรมวิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคำนวณ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
Sivaree Sudsanit*, Jitisak Seangdang, Tanakrit Srewicha, Tanongsak Jadtee
Department of Mathematics and Computing Science,
Faculty of Science and Technology, Chiang Rai Rajabhat University

บทคัดย่อ

สำหรับกราฟ G ใด ๆ จะเรียกว่ามีการระบายสีจุดบนกราฟ ถ้ากำหนดสีให้แต่ละจุดในกราฟ แล้วจุดที่ประชิดกันจะมีสีต่างกัน และเรียกการระบายสีจุดบนกราฟว่าเป็นกราฟ k สี มากไปกว่านั้นถ้า k เป็นจำนวนที่น้อยที่สุดที่ทำให้ G เป็นกราฟ k สี แล้วเราจะเรียกกราฟ G ว่ามี k เป็น **จำนวนโครมาติค** และแทนด้วยสัญลักษณ์ $\chi(G) = k$

ในงานวิจัยนี้เราต้องการศึกษา จำนวนโครมาติคของไซเคิลบุคกราฟ แฟนกราฟ ปริซึมกราฟ ไลน์กราฟของไซเคิลบุคกราฟ กราฟลูกอ๊อด และกราฟอมยิ้ม

คำสำคัญ : จำนวนโครมาติค, ไซเคิลบุคกราฟ, แฟนกราฟ, ปริซึมกราฟ, ไลน์กราฟของไซเคิลบุคกราฟ, กราฟลูกอ๊อด, กราฟอมยิ้ม

Abstract

Let G be a graph. Then G is called Colouring Vertices if we assign a color to each vertex then the adjacent vertices will have different colors and the Colouring Vertices is called k – Colorable Graph. Moreover, if k is the smallest number that makes G a k – Colorable Graph, then we call the graph G to have k as a Chromatic Number and is represented by the symbol $\chi(G) = k$.

* Corresponding author : sivaree.sud@crru.ac.th
Received : 11/02/2024 Revised : 01/07/2024 Accepted : 15/07/2024

The objective of this work is to study the Chromatic Number of Cycle Book Graph, Fan Graph, n-Prism Graph, Line Graph of Cycle Book Graph, Tadpole Graph and Lollipop Graph.

Keywords : Chromatic Number, Cycle Book Graph, Fan Graph, n-Prism Graph, Line Graph of Cycle Book Graph, Tadpole Graph, Lollipop Graph

ที่มาและความสำคัญ

ทฤษฎีกราฟนั้น มีจุดเริ่มจากผลงานตีพิมพ์ของ เลออนฮาร์ด ออยเลอร์ ภายใต้ชื่อ Solutio problematis ad geometriam situs pertinentis ในปี ค.ศ. 1736 (พ.ศ. 2279) [1] หรือที่รู้จักกันในนาม ปัญหาสะพานทั้งเจ็ดแห่งเมืองโคนิกส์เบิร์ก (Seven Bridges of Konigsberg) เขาสนใจวิธีที่จะข้ามสะพานทั้ง 7 แห่งนี้ โดยข้ามแต่ละสะพานเพียงครั้งเดียวเท่านั้น จากนั้นทฤษฎีกราฟได้มีการศึกษาอย่างแพร่หลายโดยหนึ่งในนั้นคือการระบายสีของกราฟ ต่อมาในปี ค.ศ. 1852 (พ.ศ. 2395) ฟรานซิส กัทธรี ได้ตั้งปัญหาสี่สี เพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้ที่จะใช้สีเพียง 4 สี เพื่อระบายให้กับประเทศต่าง ๆ บนแผนที่ใด ๆ โดยที่ประเทศเพื่อนบ้านจะไม่มีสีเดียวกัน ซึ่งปัญหาดังกล่าวก็คือปัญหาการระบายสีให้กับจุดในกราฟโดยจุดประชิดกันจะไม่มีสีที่เหมือนกัน ซึ่งเราสามารถแทนประเทศแต่ละประเทศด้วยจุดและมีเงื่อนไขว่า 2 ประเทศใด ๆ ที่เป็นประเทศเพื่อนบ้านกันก็จะถูกแทนด้วยจุด 2 จุดที่ประชิดกัน ซึ่งปัญหาดังกล่าวคือการหาจำนวนโครมาติคของกราฟนั่นเอง

ต่อมาในปี พ.ศ. 2560 [2] นิจุดมี่ พิพรรธนจินดา จากมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ได้รวบรวมและจัดทำตำราที่เกี่ยวกับทฤษฎีกราฟเบื้องต้นและหนึ่งในองค์ความรู้ที่สำคัญที่ท่านได้รวบรวมจัดทำไว้ในตำราคือ ทฤษฎีบทและนิยามของจำนวนโครมาติคของบางกราฟ อาทิเช่น P_n, C_n และ K_n ซึ่งพบว่า $\chi(P_n)=2$ สำหรับทุก $n\geq 1$,

$$\chi(C_n)=\begin{cases}2 & \text{เมื่อ } n \text{ เป็นจำนวนคู่}\\ 3 & \text{เมื่อ } n \text{ เป็นจำนวนคี่}\end{cases} \quad \text{และ } \chi(K_m)=m \text{ สำหรับทุก } m\geq 1$$

ผู้วิจัยได้เล็งเห็นถึงความสำคัญในการศึกษาจำนวนโครมาติคของกราฟและพบว่ายังมีอีกหลายกราฟที่ยังไม่ได้ทำการหาจำนวนโครมาติค ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะทำการศึกษาและหาจำนวนโครมาติค ของกราฟ 6 กราฟ ได้แก่ ไซเคิลบุคกราฟ แฟนกราฟ บริซึมกราฟ โลน์กราฟของไซเคิลบุคกราฟ กราฟลูกอ๊อด และกราฟพอมปี้ม

โดยนิยามพื้นฐานของจำนวนโครมาติค การดำเนินการบนกราฟ และนิยามกราฟทั้ง 6 กราฟมีดังต่อไปนี้

บทนิยาม 1 [2] สำหรับกราฟ G ใด ๆ จะเรียกว่า**มีการระบายสีจุดบนกราฟ (Colouring Vertices)** ถ้ากำหนดสีให้แต่ละจุดในกราฟ โดยที่จุดที่ประชิดกันจะมีสีต่างกัน และถ้าสีที่ใช้มี k สี เรียกกราฟนี้ว่ากราฟ k สี (k – Colorable Graph)

บทนิยาม 2 [2] สำหรับกราฟ G ใด ๆ จะเรียกว่ามี k เป็น **จำนวนโครมาติค (Chromatic Number)** ถ้า k เป็นจำนวนที่น้อยที่สุดที่ทำให้ G เป็นกราฟ k สี จะใช้สัญลักษณ์ $\chi(G)$ แทนจำนวนโครมาติคในกราฟ G

บทนิยาม 3 [2] จะเรียกกราฟ G ที่มี $\chi(G) = k$ ว่าเป็น k - **โครมาติคกราฟ** (k-Chromatic Graph)

บทนิยาม 4 สำหรับกราฟ $G = (V(G), E(G))$ และกราฟ $H = (V(H), E(H))$ ที่ซึ่ง $V(G) \bigcap V(H) = \emptyset$ จะได้ว่า **การคูณแบบกล่อง (Box Product)** ของกราฟ G และ H จะใช้สัญลักษณ์ $G \square H$ ซึ่งเป็นกราฟที่ประกอบด้วยเซตของจุดและเส้นดังนี้

$$V(G \square H) = V(G) \times V(H) = \{(x, y) \mid x \in V(G) \text{และ} y \in V(H)\}$$

$$E(G \square H) = \{(u_1, u_2)(v_1, v_2 \mid u_1 = v_1) \text{และ} u_2 v_2 \in E(H)$$

$$\text{หรือ} u_2 = v_2 \text{และ} u_1 v_1 \in E(G)\}$$

บุคกราฟ (Book Graph) หรือ กราฟหนังสือ กราฟดังกล่าวจะมีแผนภาพคล้ายหนังสือ จะใช้สัญลักษณ์ B_n แทนบุคกราฟที่แต่ละหน้าเป็นไซเคิล C_4 และมีจำนวน n หน้าจะให้นิยามไซเคิลบุคกราฟซึ่งเป็นบุคกราฟอีกหนึ่งแบบที่ควบคุมบุคกราฟโดยแต่ละหน้าเป็นไซเคิล C_n

บทนิยาม 5 [2] สำหรับแต่ละ $i = 1, 2, ..., m$ กำหนดให้ G_i เป็นกราฟที่ไอโซมอร์ฟิคกับไซเคิล C_n ให้เซตของจุดและเส้นของกราฟ G_i คือ $V(G_i) = \{0_i, 1_i, \ldots, (n-1)_i\}$ และ $E(G_i) = \{k_i(k+1)_i k = 0, 1, ..., n-2\} \cup \{0_i(n-1)_i\}$ ที่ซึ่ง $0_i = 0, 1_i = 1 \forall i = 1, ..., m$ นั่นคือสำหรับทุก $i \neq j, V(G_i) \cap V(G_j) = \{0, 1\}$

ให้ $B_n(m)$ แทน**ไซเคิลบุคกราฟ (Cycle Book Graph)** ที่แต่ละหน้าเป็นไซเคิล C_n และมีจำนวน m หน้าที่ประกอบด้วยเซตของจุดและเส้นคือ

$$V(B_n(m)) = \bigcup_{i=1}^{m} (V(G_i))$$

และ

$$E(B_n(m)) = \bigcup_{i=1}^{m} (E(G_i))$$

ตามลำดับ

บทนิยาม 6 [3] ให้ $1 \leq m \in \mathbb{Z}^+$ และ $2 \leq n \in \mathbb{Z}^+$ **แฟนกราฟ (Fan Graph)** แทนด้วยสัญลักษณ์ $F_{m,n}$ คือ กราฟ $F_{(m,n)} \cong \overline{K}_m + P_n$ กำหนดโดย $V(F_{(m,n)}) = V(\overline{K}_m) \cup V(P_n)$ และ

$$E(Fm, n) = E(P_n) \cup \{uv \mid u \in V(\overline{K}_m), v \in V(P_n)\}$$

บทนิยาม 7 [2] จะเรียกกราฟ G ว่าเป็น n-**ปริซึมกราฟ** (n-Prisms Graph) ถ้า $G \cong P_2 \square C_n$

บทนิยาม 8 [4] ให้ $G : (V(G), E(G))$ ไลน์กราฟ **(Line Graph)** ของกราฟ G เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $L(G)$ กำหนดจุดและเส้นดังนี้

$$V(L(G)) = E(G)$$

$$E(L(G)) = \{e_i e_j | e_i \text{และ} e_j \text{เป็นเส้นประชิดในกราฟ} G\}$$

บทนิยาม 9 [5] กราฟลูกอ๊อด (Tadpole Graph) แทนด้วยสัญลักษณ์ $T_{n,k}$ คือกราฟที่เกิดจากการเชื่อม C_n และ P_k ด้วยบริดจ์ โดย $3 \leq n \in \mathbb{Z}^+ 0 \leq k \in \mathbb{Z}$

บทนิยาม 10 [6] กราฟอมยิ้ม (Lollipop Graph) แทนด้วยสัญลักษณ์ $L_{p,k}$ คือกราฟที่เกิดจากการเชื่อม K_p และ P_k ด้วยบริดจ์ โดย $1 \leq p \in \mathbb{Z}^+ 0 \leq k \in \mathbb{Z}$

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาจำนวนโครมาติคของไซเคิลบุคกราฟ แฟนกราฟ ปริซึมกราฟ ไลน์กราฟของไซเคิลบุคกราฟ กราฟลูกอ๊อดและกราฟอมยิ้ม จากการวิจัยพบว่าเราสามารถแยกพิจารณาการหาโครมาติคของไลน์กราฟของไซเคิลบุคกราฟได้ 2 กรณี ตามขั้นตอนการพิสูจน์ ซึ่งนำเสนอในทฤษฎีบทที่ 4 และ 5 ตามลำดับ สำหรับกราฟที่เหลือ ผู้วิจัยได้นำเสนอการพิสูจน์ในทฤษฎีบทดังแสดงต่อไปนี้

ทฤษฎีบท 1 ให้ $3 \leq n \in \mathbb{Z}^+$ และ $1 \leq m \in \mathbb{Z}^+$ จะได้ว่า

$$\chi(B_n(m)) = \begin{cases} 2 & \text{เมื่อ } n \text{ เป็นจำนวนคู่} \\ 3 & \text{เมื่อ } n \text{ เป็นจำนวนคี่} \end{cases}$$

พิสูจน์

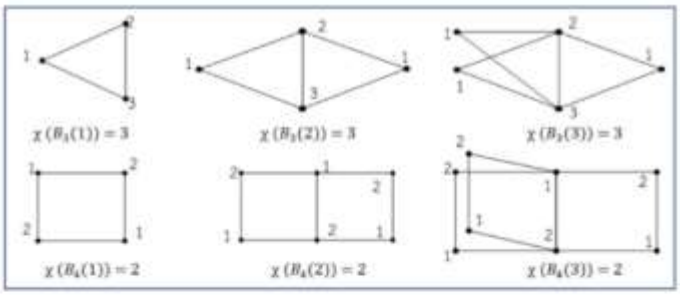
จากนิยามของไซเคิลบุคกราฟ $B_n(m)$ เราจะพบว่ากราฟดังกล่าวมีแต่ละหน้าเป็นไซเคิล C_n และมีจำนวนหน้าทั้งหมด m หน้า เมื่อพิจารณาขั้นตอนการกำหนดสีให้กับจุดในกระบวนการหาจำนวนโครมาติค $\chi(B_n(m))$ ในแต่ละหน้าจะพบว่ามีค่าเท่ากับ $\chi(C_n)$ และจาก

$$\chi(C_n) = \begin{cases} 2 & \text{เมื่อ } n \text{ เป็นจำนวนคู่} \\ 3 & \text{เมื่อ } n \text{ เป็นจำนวนคี่} \end{cases}$$

ส่งผลให้

$$\chi(B_n(m)) = \begin{cases} 2 & \text{เมื่อ } n \text{ เป็นจำนวนคู่} \\ 3 & \text{เมื่อ } n \text{ เป็นจำนวนคี่} \end{cases}$$

□



ภาพที่ 1: แสดง $B_3(m)$ และ $B_4(m) 1 \leq m \leq 3$

ทฤษฎีบท 2 ถ้า $1 \leq m \in \mathbb{Z}^+$ และ $2 \leq n \in \mathbb{Z}^+$ แล้ว $\chi(F_{m,n}) = 3$

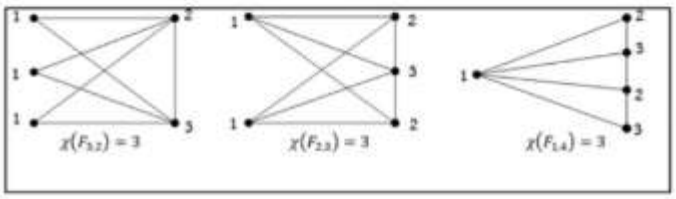
พิสูจน์ เนื่องจากแฟนกราฟ $F_{m,n} \cong \overline{K}_m + P_n$ เมื่อพิจารณาขั้นตอนการกำหนดสีให้กับจุดในการหาจำนวนโครมาติค $\chi(F_{m,n})$ จะเห็นได้ว่า $\chi(F_{m,n}) = \chi(F_{1,n}) \forall 1 \leq m \in \mathbb{Z}^+$ เพราะ $F_{m,n}$ คือ $F_{1,n}$ ที่มี m หน้า ดังนั้นการกำหนดสีให้แต่ละหน้าของ $F_{m,n}$ เหมือนกับการกำหนดสีให้กับ $F_{1,n}$

ต่อไปเราจะพิสูจน์ว่า $\chi(F_{1,n}) = 3 \forall 2 \leq n \in \mathbb{Z}^+$ โดยมีขั้นตอนการกำหนดสีให้กับจุดดังนี้ เนื่องจาก $F_{1,n} \cong \overline{K}_1 + P_n$ ดังนั้น $V(F_{1,n}) = V(\overline{K}_1) \cup V(P_n)$

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดสีแรกให้กับจุดใน $\overline{K}_1$

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดสีให้กับจุดใน P_n โดยลำดับที่เป็นจำนวนคี่ให้เป็นสีที่ 2 และลำดับที่เป็นจำนวนคู่ให้เป็นสีที่ 3 (เนื่องจากทุกคู่ของจุดที่อยู่ในลำดับที่เป็นจำนวนคู่/จำนวนคี่ ไม่ประชิดกัน เพราะฉะนั้นเราจึงสามารถใส่สีเดียวกันได้)

จากขั้นตอนข้างต้น จะพบว่า $\chi(F_{1,n}) = 3 \forall 2 \leq n \in \mathbb{Z}^+$ ส่งผลให้ $\chi(F_{m,n}) = 3$ สำหรับทุก $1 \leq m \in \mathbb{Z}^+$ และ $2 \leq n \in \mathbb{Z}^+$ □



ภาพที่ 2: แสดงแฟนกราฟ $F_{3,2} F_{2,3}$ และ $F_{1,4}$ เป็นกราฟ 3 สี

ทฤษฎีบท 3 ให้ G เป็น n-ปริซึมกราฟ โดยที่ $3 \leq n \in \mathbb{Z}^+$ จะพบว่า

$$\chi(G) = \begin{cases} 2 & \text{เมื่อ } n \text{ เป็นจำนวนคู่} \\ 3 & \text{เมื่อ } n \text{ เป็นจำนวนคี่} \end{cases}$$

พิสูจน์ ให้ G เป็น n-ปริซึมกราฟ โดยที่ $3 \leq n \in \mathbb{Z}^+$ เนื่องจาก $G \cong P_2 \square C_n$ ดังนั้น G เป็นปริซึมกราฟที่มีหน้าเป็น C_n

ให้ $a_1, a_2, a_3, ..., a_n$ เป็นเซตของจุดใน C_n หน้าใดหน้าหนึ่ง

และ $b_1, b_2, b_3, ..., b_n$ เป็นเซตของจุดใน C_n หน้าที่เหลือ โดย a_i ประชิดกับ b_i สำหรับทุก $1 \leq i \leq n$

สำหรับการหา $\chi(G)$ สามารถแยกพิจารณาการกำหนดสีให้กับจุดเป็น 2 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 n **เป็นจำนวนคี่**

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดสีให้กับจุด a_i เมื่อ $1 \leq i \leq n-1$ กำหนดโดย

ถ้า i เป็นเลขคี่ใส่สีที่ 1 และ

ถ้า i เป็นเลขคู่ใส่สีที่ 2

แต่เนื่องจาก a_n ประชิดกับ a_1 และ a_{n-1} ทำให้ไม่สามารถใส่สีที่ 1 และสีที่ 2 ได้

ดังนั้นเราจึงใส่สีที่ 3 ให้กับจุด a_n

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดสีให้กับจุด b_i เมื่อ $1 \leq i \leq n-1$

ถ้า i เป็นเลขคี่ แล้ว b_i ไม่สามารถใส่สีที่ 1 ได้ เนื่องจาก b_i กับ a_i ประชิดกัน

1 เราจึงกำหนดสีที่ 2 ให้กับ b_i ทุกจุด เมื่อ $1 \leq i \leq n-1$

ถ้า i เป็นเลขคู่ แล้ว b_i ไม่สามารถใส่สีที่ 2 ได้ เนื่องจาก b_i กับ a_i ประชิดกัน

เราจึงกำหนดสีที่ 3 ให้กับ b_i ทุกจุด เมื่อ $1 \leq i \leq n-1$ และ

เนื่องจาก b_n ประชิดกับ b_1, b_{n-1}, a_n ทำให้ไม่สามารถใส่สีที่ 2 และสีที่ 3 ได้

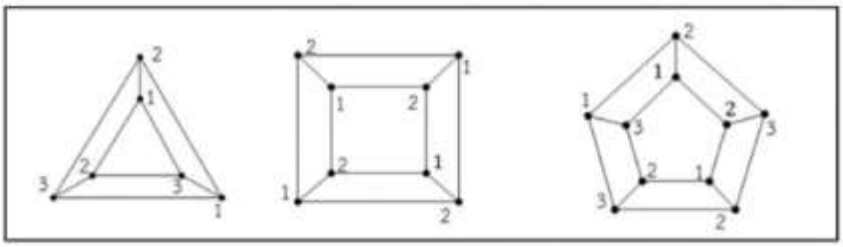
เราจึงกำหนดสีที่ 1 ให้กับ b_n

กรณีที่ 2 n **เป็นจำนวนคู่**

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดสีให้กับจุด a_i โดยถ้า i เป็นเลขคี่ใส่สีที่ 1 และถ้า i เป็นเลขคู่ใส่สีที่ 2

ขั้นตอนที่ 2 เนื่องจาก b_i ประชิดกับ $a_i \forall i$ ดังนั้น b_i จะต้องใส่สีที่ต่างจาก a_i จึงทำให้ได้ว่า b_i ที่ซึ่งถ้า i เป็นเลขคี่ ใส่สี 2 และถ้า i เป็นเลขคู่ใส่สี 1

จากขั้นตอนข้างต้นจะได้ว่าจำนวนโครมาติคของ n-ปริซึมกราฟ จะมี



ภาพที่ 3: แสดงโครมาติคของ 3 -ปริซึมกราฟ, 4 -ปริซึมกราฟ และ 5 -ปริซึมกราฟ

$$\chi(G) = \begin{cases} 2 & \text{เมื่อ } n \text{ เป็นจำนวนคู่} \\ 3 & \text{เมื่อ } n \text{ เป็นจำนวนคี่} \end{cases}$$

□

สำหรับการหาโครมาติคของกราฟที่ 4 ซึ่งก็คือไลน์กราฟของไซเคิลบุคกราฟนั้น ผู้วิจัยสามารถแยกพิจารณาเป็น 2 กรณี ตามขั้นตอนการพิสูจน์ที่แตกต่างกัน ซึ่งผู้วิจัยได้นำเสนอในทฤษฎีบทที่ 4 และ 5 ตามลำดับ ดังนี้

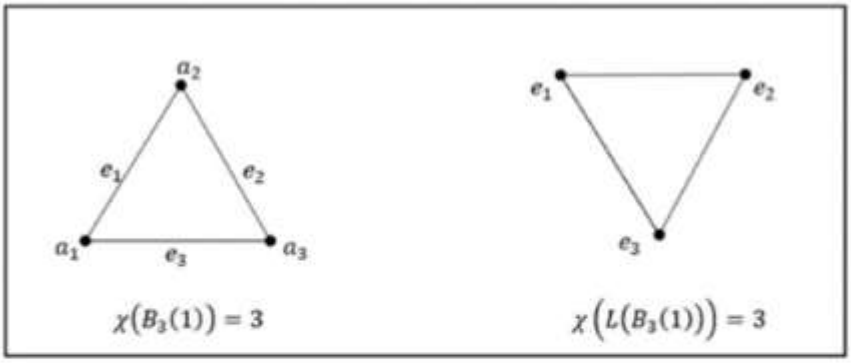
ทฤษฎีบท 4 ให้ $3 \leq n \in \mathbb{Z}^+$ จะได้ว่า

$$\chi(L(B_n(1))) = \begin{cases} 2 & \text{เมื่อ } n \text{ เป็นจำนวนคู่} \\ 3 & \text{เมื่อ } n \text{ เป็นจำนวนคี่} \end{cases}$$

พิสูจน์

ให้ $G = B_n(1)$ เนื่องจาก G เป็น (n,n) กราฟ กำหนด $V(G) = \{a_1, a_2, a_3, .., a_n\}$ และ $E(G) = \{e_1, e_2, e_3, .., e_n\}$ โดยที่ $e_i = a_i a_{i+1} 1 \leq i \leq n-1$ และ $e_n = a_n a_1$ จากนิยามของไลน์กราฟเราจะได้ว่า $V(L(G)) = E(G) = \{e_1, e_2, e_3, ..., e_n\}$ และ $E(L(G)) = \{e_i e_{i+1} | 1 \leq i \leq n-1\} \cup \{e_1 e_n\}$ ซึ่งเห็นได้ชัดว่า $L(G)$ เป็น (n,n) กราฟ

ต่อไปเราจะพิสูจน์ว่า $G \cong L(G)$ ให้ $f : V(G) \to V(L(G))$ กำหนดโดย $f(a_i) = e_i \forall 1 \leq i \leq n$ เห็นได้ชัดว่า f เป็นฟังก์ชัน 1-1 ทั่วถึง ต่อไปพิจารณา $e_i = a_i a_{i+1} \in E(G) \Leftrightarrow f(a_i)f(a_{i+1}) = e_i e_{i+1} \in E(L(G))$ สำหรับทุก $1 \leq i \leq n-1$ และ $e_n = a_n a_1 \in E(G) \Leftrightarrow f(a_n)f(a_1) = e_n e_1 \in E(L(G))$ ดังนั้นมีไอโซมอฟิซึมจาก G ไป $L(G)$ เพราะฉะนั้น $G \cong L(G)$ ส่งผลให้ $\chi(L(G)) = \chi(G)$ แต่เนื่องจาก $G = B_n(1) = C_n$ เพราะฉะนั้น $\chi(G) = \chi(C_n)$ ด้วย ทำให้เราได้ว่า



ภาพที่ 4: แสดงกราฟและโครมาติคของกราฟ $B_3(1)$ และ $L(B_3(1))$

$$(L(B_n(1)) = \begin{cases} 2 & \text{เมื่อ } n \text{ เป็นจำนวนคู่} \\ 3 & \text{เมื่อ } n \text{ เป็นจำนวนคี่} \end{cases}$$

□

ทฤษฎีบท 5 ให้ $2 \leq m \in \mathbb{Z}^+ 3 \leq n \in \mathbb{Z}^+$ จะได้ว่า $\chi(L(B_n(m))) = m + 1$

พิสูจน์ ให้ $B_n(m)$ เป็นไซเคิลบุคกราฟ ที่แต่ละหน้าเป็นไซเคิล C_n และมีจำนวน m หน้า โดยที่ $2 \leq m \in \mathbb{Z}^+$ และ $3 \leq n \in \mathbb{Z}^+$

กำหนดให้กราฟ G_i เป็นกราฟที่ไอโซมอฟิคกับไซเคิลกราฟ C_n เมื่อ $1 \leq i \leq m$ โดยที่ $V(G_i) = \{0_i, 1_i, 2_i, ..., (n-1)_i\}$ โดย 0_i ประชิดกับ $(n-1)_i$ และ n_i ประชิดกับ $(n+1)_i \forall 0 \leq n \leq n-2$

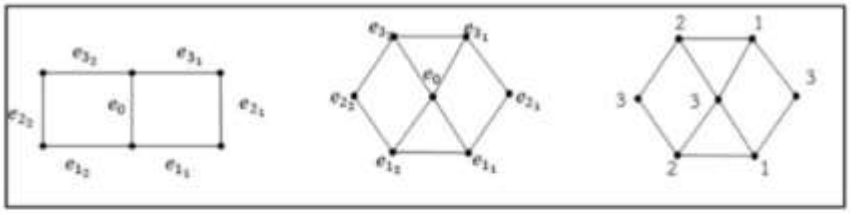
จากนิยามไซเคิลบุคกราฟ กำหนดให้ $0_i = 0, 1_i = 1 \forall i = 1, ..., m$

$e_0 = 01,$

$e_{a_i} = a_i(a+1)_i; 1 \leq a \leq n-2, 1 \leq i \leq m$ และ

$e_{(n-1)_i} = 0(n-1)_i; 1 \leq i \leq m$

จากนิยามไลน์กราฟ จะพบว่าจุด 2 จุดใด ๆ จะประชิดกันในไลน์กราฟของไซเคิลบุคกราฟก็ต่อเมื่อเส้น 2 เส้นนั้นประชิดกันในไซเคิลบุคกราฟ จากการกำหนดข้างต้นจะพบว่า ทุกคู่ของเส้นที่อยู่ใน $\{e_0\} \cup \{e_{(n-1)_i} | 1 \leq i \leq m\}$ ประชิดกันหมด และทุกคู่ของเส้นที่อยู่ใน $\{e_0\} \cup \{e_{1_i} | 1 \leq i \leq m\}$ ประชิดกันหมดด้วย ทำให้ทุกคู่ของจุดที่อยู่ใน $\{e_0\} \cup \{e_{(n-1)_i} | 1 \leq i \leq m\}$ประชิดกันใน $L(B_n(m))$ และในทำนองเดียวกันทุกคู่ของจุดที่อยู่ใน $\{e_0\} \cup \{e_{1_i} | 1 \leq i \leq m\}$ ประชิดกันใน $L(B_n(m))$ เช่นเดียวกัน เกิดเป็นคอมพลีทกราฟที่มี $m+1$ จุด (K_{m+1}) จำนวน 2 กราฟ เชื่อมกันที่จุด e_0 ซึ่ง $\chi(K_{m+1}) = m + 1$



ภาพที่ 5: : แสดง $E(B_4(2)), V(L(B_4(2)))$ และ $\chi(L(B_4(2))) = 3$ ตามลำดับ

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดให้ ทุกจุดที่อยู่ใน $\{e_{1_i}, e_{(n-1)_i} | 1 \leq i \leq m\}$ ใส่สี i

ขั้นตอนที่ 2 จุด e_0 ใส่สี $m+1$

ขั้นตอนที่ 3 เนื่องจากสมาชิกทุกตัวที่อยู่ใน $\{e_0\} \cup \{e_{b_i} | n-1 > b \in \mathbb{E}^+, 1 \leq i \leq m\}$ ไม่ประชิดกันเลย ดังนั้น e_{b_i} สามารถใส่สีเดียวกับ e_0 ได้ ส่งผลให้ e_{b_i} ใส่สี $m+1 \forall n-1 > b \in \mathbb{E}^+$ และ $1 \leq i \leq m$

ขั้นตอนสุดท้าย พิจารณาจุดที่อยู่ใน $\{e_{c_i} | c \in \mathbb{O}^+, 1 < c < (n-1), 1 \leq i \leq m\}$ เนื่องจากทุกจุดที่อยู่ใน $\{e_{1_i}, e_{(n-1)_i} | 1 \leq i \leq m\}$ ใส่สี i ดังนั้นจุด $e_{1_{(i+1)}}$ และ $e_{(n-1)_{(i+1)}}$ ใส่สี $i+1$ และเมื่อพิจารณา $e_{c_i}; c \in \mathbb{O}^+, 1 < c < (n-1), 1 \leq i \leq m$ พบว่า e_{c_i} ไม่ประชิดกับ $e_{1_{(i+1)}}$ และ $e_{(n-1)_{(i+1)}}$ ทำให้เราได้ว่า $e_{c_i}, 1 \leq i \leq m-1$ สามารถใส่สีเดียวกันกับ $e_{1_{(i+1)}}$ และ $e_{(n-1)_{(i+1)}}$ เพราะฉะนั้น e_{c_i} ใส่สี $i+1, c \in \mathbb{O}^+, 1 < c < (n-1), \forall 1 \leq i \leq m-1$ ในทำนองเดียวกัน เราพบว่า $e_{c_m}; c \in \mathbb{O}^+, 1 < c < (n-1)$ ไม่ประชิดกับ e_{1_1} และ $e_{(n-1)_1}$ ส่งผลให้ e_{c_m} สามารถใส่สีเดียวกันกับ e_{1_1} และ $e_{(n-1)_1}$ ได้ นั่นคือ e_{c_m} ใส่สี $1, c \in \mathbb{O}^+, 1 < c < (n-1)$ จากขั้นตอนการใส่สีทั้งหมด ส่งผลให้ $\chi(L(B_n(m))) = m+1$

□

ทฤษฎีบท 6 ให้ $3 \leq n \in \mathbb{Z}^+$ และ $0 \leq k \in \mathbb{Z}$ จะได้ว่า

$$\chi(T_{n,k}) = \begin{cases} 2 & \text{เมื่อ } n \text{ เป็นจำนวนคู่} \\ 3 & \text{เมื่อ } n \text{ เป็นจำนวนคี่} \end{cases}$$

พิสูจน์ เนื่องจากกราฟลูกอ๊อด $(T_{n,k})$ คือกราฟที่เกิดจากการเชื่อม C_n และ P_k ด้วยบริดจ์ กำหนดให้

$V(C_n) = \{v_1, v_2, v_3, ..., v_n\}$

$V(P_k) = \{p_1, p_2, p_3, ..., p_k\}$ และบริดจ์คือ v_1p_1 เราสามารถพิจารณาเป็น 2 กรณี

กรณีที่ 1 $k = 0$ แสดงว่า $T_{n,0}$ คือกราฟ C_n เพราะฉะนั้น

$$\chi(T_{n,0}) = \chi(C_n) = \begin{cases} 2 & \text{เมื่อ } n \text{ เป็นจำนวนคู่} \\ 3 & \text{เมื่อ } n \text{ เป็นจำนวนคี่} \end{cases}$$

กรณีที่ 2 $k \geq 1$ ขั้นแรก เราจะกำหนดสีให้กับ C_n บทตั้ง 4.1 จะพบว่า

$$\chi(C_n) = \begin{cases} 2 & \text{เมื่อ } n \text{ เป็นจำนวนคู่} \\ 3 & \text{เมื่อ } n \text{ เป็นจำนวนคี่} \end{cases}$$

จึงไม่เป็นปัญหาที่เราจะกำหนดให้ v_1 ถูกระบายด้วยสีที่ 1 และเนื่องจาก v_1p_1 เป็นบริดจ์ ดังนั้น p_1 จะต้องใส่สีอื่นที่ไม่ใช่สีที่ 1 เราจึงกำหนดให้ p_1 ถูกระบายด้วยสีที่ 2 ขั้นตอนต่อไป เราจะระบายสีให้กับจุดที่เหลือใน P_k โดย

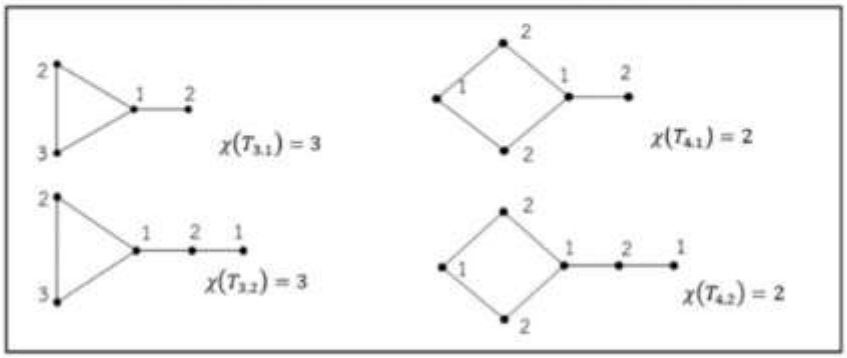
กำหนดให้ P_i ระบายสีที่ 2 เมื่อ i เป็นเลขคี่ และ P_i ระบายสีที่ 1 เมื่อ i เป็นเลขคู่จากขั้นตอนและวิธีการใส่สีข้างต้นจะพบว่า กราฟลูกอ๊อด $(T_{n,k})$ มี

$$\chi(C_n) = \begin{cases} 2 & \text{เมื่อ } n \text{ เป็นจำนวนคู่} \\ 3 & \text{เมื่อ } n \text{ เป็นจำนวนคี่} \end{cases}$$

□

ทฤษฎีบท 7

$$\chi(L_{p,k}) = \begin{cases} p & \text{เมื่อ } \forall 1 \leq p \in \mathbb{Z}^+, k = 0 \text{ หรือ } 2 \leq p \in \mathbb{Z}^+, 1 \leq k \in \mathbb{Z}^+ \\ 2 & \text{เมื่อ } 1 \leq k \in \mathbb{Z}^+, p = 1 \end{cases}$$



ภาพที่ 6: : แสดงจำนวนโครมาติคของกราฟลูกอ๊อด

พิสูจน์

กรณีที่ 1 พิจารณากรณีที่ $\forall 1 \leq p \in \mathbb{Z}^+, k = 0$ หรือ $2 \leq p \in \mathbb{Z}^+, 1 \leq k \in \mathbb{Z}^+$

แบ่งการพิสูจน์ออกเป็น 2 กรณีย่อยได้ดังนี้

กรณีที่ 1.1 $\forall 1 \leq p \in \mathbb{Z}^+, k = 0$

เนื่องจาก $L_{p,0} \cong K_p$และเราทราบว่า $\chi(K_p) = p, \forall 1 \leq p \in \mathbb{Z}^+$

เพราะฉะนั้น $\chi(L_{p,0}) = \chi(K_p) = p$

กรณีที่ 1.2 $2 \leq p \in \mathbb{Z}^+, 1 \leq k \in \mathbb{Z}^+$

กรณีที่ 1.2.1 $p = 2$ เนื่องจาก $L_{2,k}$ คือกราฟที่ได้จากการเชื่อม K_2 และ P_k ด้วยบริดจ์

ดังนั้น $L_{2,k} \cong P_{k+2}$ จาก $\chi(P_n) = 2$ เพราะฉะนั้น $\chi(L_{2,k}) = \chi(P_{k+2}) = 2$

กรณีที่ 1.2.2 $p > 2$ เนื่องจากกราฟอมยิ้ม $(L_{p,k})$ คือกราฟที่เกิดจากการเชื่อม K_p และ P_k ด้วยบริดจ์ โดย $2 < p \in \mathbb{Z}^+$ และ $1 \leq k \in \mathbb{Z}$ กำหนดให้ $V(K_p) = k_1, k_2, k_3, ..., k_p$ และ $V(P_k) = p_1, p_2, p_3, ..., p_k$ และบริดจ์คือ k_1p_1

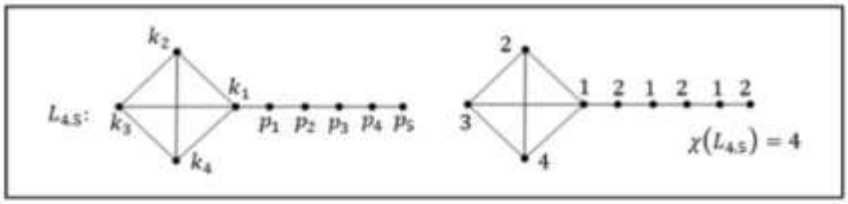
ขั้นแรก เราจะกำหนดสีให้กับ K_p เนื่องจาก $\chi(K_p) = p$ จึงไม่เป็นปัญหาที่เราจะกำหนดให้ k_1 ถูกระบายด้วยสีที่ 1 และเนื่องจาก k_1p_1 เป็นบริดจ์ ดังนั้น p_1 จะต้องใส่สีอื่นที่ไม่ใช่สีที่ 1 เราจึงกำหนดให้ p_1 ถูกระบายด้วยสีที่ 2

ขั้นตอนต่อไป เราจะระบายสีให้กับจุดที่เหลือใน P_k โดยกำหนดให้ P_i ระบายสี 2 เมื่อ i เป็นเลขคี่ และ P_i ระบายสี 1 เมื่อ i เป็นเลขคู่ จากขั้นตอนวิธีการใส่สีข้างต้นจะพบว่า กราฟอมยิ้ม $(L_{p,k})$ มีจำนวนโครมาติค $\chi(L_{p,k}) = \chi(K_p) = p$

กรณีที่ 2 พิจารณา $1 \leq k \in \mathbb{Z}^+, p = 1$

เนื่องจาก $L_{1,k} \cong P_{k+1}$ และเนื่องจาก $\chi(P_n) = 2 \forall 2 \leq n \in mathbbZ^+$ เพราะฉะนั้น $\chi(L_{1,k}) = \chi(P_{k+1}) = 2$

□



ภาพที่ 7: : แสดง $\chi(L_{p,k}) = p$

สรุปผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการหาจำนวนโครมาติคของไซเคิลบุคกราฟ แฟนกราฟ ปริซึมกราฟ ไลน์กราฟของไซเคิลบุคกราฟ กราฟลูกอ๊อด และกราฟอมยิ้ม ซึ่งการศึกษาครั้งนี้ทำให้ผู้วิจัยได้ทราบว่า

$$\chi(B_n(m)) = \begin{cases} 2 & \text{เมื่อ } n \text{ เป็นจำนวนคู่} \\ 3 & \text{เมื่อ } n \text{ เป็นจำนวนคี่} \end{cases}, \chi(F_{m,n}) = 3 \text{ และถ้า } G \text{ เป็น } n\text{-ปริซึมกราฟ แล้ว}$$

$\chi(G) = n$ มากไปกว่านั้น $\chi(L(B_n(1))) = \begin{cases} 2 & \text{เมื่อ } n \text{ เป็นจำนวนคู่} \\ 3 & \text{เมื่อ } n \text{ เป็นจำนวนคี่} \end{cases}$ และถ้า $2 \leq m \in \mathbb{Z}^+$ และ $3 \leq n \in \mathbb{Z}^+$ แล้วจะได้ว่า $\chi(L(B_n(m))) = m + 1$ ส่วนจำนวนโครมาติคของกราฟลูกอ๊อดคือ

$$\chi(T_{n,k}) = \begin{cases} 2 & \text{เมื่อ } n \text{ เป็นจำนวนคู่} \\ 3 & \text{เมื่อ } n \text{ เป็นจำนวนคี่} \end{cases}$$ และสุดท้าย จำนวนโครมาติคของกราฟอมยิ้มคือ

$$\chi(L_{p,k}) = \begin{cases} p & \text{เมื่อ } \forall 1 \leq p \in \mathbb{Z}^+, k = 0 \text{ หรือ } 2 \leq p \in \mathbb{Z}^+, 1 \leq k \in \mathbb{Z}^+ \\ 2 & \text{เมื่อ } 1 \leq k \in \mathbb{Z}^+, p = 1 \end{cases}$$

เอกสารอ้างอิง

[1] นิตยา ชิงชัย. (2530). ทฤษฎีกราฟเบื้องต้น ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[2] นิรุตติ์ พิพรรธนจินดา. (2560). ทฤษฎีกราฟเบื้องต้น ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร.

[3] นพวิชญ์ มหาวงศ์ และคณะ. (2561). จำนวนคลิกและจำนวนอิสระของแฟนกราฟ (Clique and Independent Number of Fan Graph). (ปริญญาตรี). มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย. เชียงราย.

[4] Harary, F. Norman, R. Z. (1960). Some properties of line digraphs. Rendiconti del Circolo Matematico di Palermo, vol. 9, no. 2, 161–169.

[5] Joe Demaio and John Jacobson. (2008). Electronic Journal of Graph Theory and Applications, Fibonacci number of the tadpole graph vol. 2, no. 2, 129-138.

[6] Wolfram MathWorld. (n.d.). Lollipop Graph. https://mathworld.wolfram.com/LollipopGraph.html

Preserving Performance and Reducing Energy Consumption: A Two-Phase Scheduling Approach in Cloud Computing Environments

Thanawut Thanavanich
Department of Computer Engineering, Faculty of Digital Technology, Chiang Rai Rajabhat University
Chiang Rai, Thailand
thanawut.tha@crru.ac.th

Krittika Kantawong*
Department of Digital Business, School of Information and Communication Technology, University of Phayao
Phayao, Thailand
*Corresponding Author: krittika.ka@up.ac.th

Mayoon Yaibuates
Department of Computer Engineering, Faculty of Digital Technology, Chiang Rai Rajabhat University
Chiang Rai, Thailand
mayoon.yai@crru.ac.th

Pumipong Duangtang
Department of Computer Engineering, Faculty of Digital Technology, Chiang Rai Rajabhat University
Chiang Rai, Thailand
pumipong@crru.ac.th

Atikhom Siri
Department of Computer Engineering, Faculty of Digital Technology, Chiang Rai Rajabhat University
Chiang Rai, Thailand
atikhom.s@gmail.com

Kittakorn Sriwanna
Department of Computer Engineering, Faculty of Digital Technology, Chiang Rai Rajabhat University
Chiang Rai, Thailand
kittakorn.sri@crru.ac.th

***Abstract*—Cloud computing has evolved significantly, transitioning from traditional on-demand architectures to decentralized, multi-provider models. This shift is pivotal for enhancing connectivity in the Internet of Things and data-intensive computing. While accessing shared online resources, effective task scheduling is crucial for optimal service performance. However, the challenge persists in balancing resource optimization with potential issues like energy wastage or service performance degradation. This study proposes a two-phase scheduling approach in distributed computing, addressing the balance between performance preservation and energy reduction. The method seamlessly integrates with existing algorithms, employing a prescheduling phase followed by a model to estimate processors, minimizing underutilization. Experimental results highlight its contribution to energy-efficient scheduling, emphasizing a nuanced balance between performance and energy consumption. The approach employs a mathematical model to determine suitable processors, providing versatile options for computational resource providers, aiming for energy-conscious and performance-oriented solutions.**

***Index Terms*—Task Scheduling, Energy-Aware Scheduling, Cloud Computing, Preserving Performance, Reducing Energy Consumption**

I. Introduction

Modern computing systems, spanning clusters, clouds, and edge computing, are marked by unique characteristics. To address environmental concerns, computing service providers are increasingly focused on minimizing energy consumption and carbon emissions, leading to the rise of green computing. Unlike the traditional emphasis on expanding processing capacity, providers now prioritize the development of resource management strategies. This shift aims to achieve computational efficiency while reducing energy consumption, showcasing a commitment to environmentally conscious practices. In addition to considering the environment, reducing energy usage is crucial for cost savings in operational expenses. Estimations indicate that energy consumption in computing doubles every ten years [1]. To tackle this challenge, the development of efficient schedulers is pivotal in large-scale computing systems. The primary objective is to design schedulers that not only preserve performance but also minimize wasted energy, aligning with the principles of efficiency and cost-effectiveness in business operations.

There are several ways to enhance schedulers for applications on distributed platforms and reduce power consumption can take various forms. These include leveraging low-power processor architectures or implementing Dynamic Voltage and Frequency Scaling (DVFS). Additionally, algorithm design plays a crucial role, with a focus on optimizing for energy efficiency. Modifying scheduling policies for task-based applications on available resources is another avenue. The objective of this work is to provide computational resource providers with more versatile options. This is achieved through a mathematical model capable of indicating the suitable number of processors in the system for efficient performance. The traditional approach of indiscriminately scaling the number of processors to boost processing speed often leads to significant energy wastage in service. The proposed method aims to address this challenge and offer more nuanced and energy-efficient solutions for computing tasks.

The approach can be effectively integrated with other scheduling algorithms, functioning as a two-phase scheduling

979-8-3503-1824-1/24/$31.00 ©2024 IEEE

strategy. In the initial phase, an existing prescheduling algorithm is utilized, followed by the application of our proposed model to estimate the suitable number of processors. This dual-phase strategy is designed to minimize the number of underutilized processors. Utilization levels are assessed using the efficiency metric introduced in [2], offering a comprehensive measure of processor efficiency. This metric aids in identifying opportunities for shutting down specific processors. The paper structure is organized as follows: Section 2 presents related work, various models are discussed in Section 3, details of the proposed method are provided in Section 4, experimental results and discussions are presented in Section 5, and Section 6 concludes the article.

II. Related Work

Cloud computing infrastructure is transitioning from traditional on-demand computing architectures, where computing resources originate from a single provider, to a decentralized model with multiple providers [3]. This evolution is creating new computer models to meet emerging market demands. Computing systems have access to shared computing resources via the Internet, encompassing both hardware and software, in a metered self-service format with dynamic scalability [4]. Task scheduling plays a crucial role in determining service performance in such an environment. However, there exists a dilemma in optimizing resources, and it may arise due to inefficient scheduling. This can result in the wastage of cloud resources or a degradation in service performance. Efficient task scheduling is therefore essential to strike a balance and avoid unnecessary resource consumption or performance degradation.

Most scheduling problems fall into the category of intractability problems, primarily due to the large solution space, making it time-consuming to find the optimal solution [5]. In modern computing systems with limited resources, there are no existing polynomial time scheduling algorithms that can efficiently optimize scheduling. To efficiently search for good-quality solutions, heuristic algorithms and meta-heuristic algorithms are commonly employed [6], [7]. These methods provide practical approaches to address scheduling challenges and make near-optimal decisions in a more feasible time frame. However, traditional scheduling algorithms that prioritize fast application execution often do not take into account the energy consumption associated with inefficient processing [8]. Several scheduling algorithms have incorporated this technique to enhance scheduling performance with an energy-aware approach. However, scheduling with DVFS may lead to reduced power consumption at the cost of longer execution times. For instance, a concept of makespan conservation with an energy reduction technique has been proposed in [9]. Additionally, the proposed approach, as outlined in [10], relies on the implementation of slack reclamation as a technique to achieve energy reduction. This method is based on adopting slack reclamation strategies, contributing to the overall goal of enhancing energy efficiency in the scheduling process. The energy reduction technique, along with performance preservation, has been applied to both static and dynamic scheduling algorithms [11], [12]. In recent studies, this technique is frequently combined with various other methods to reduce scheduling time and enhance the efficiency of the search for high-quality solutions.

Several concepts have been explored in the development of energy-aware task scheduling algorithms customized for cloud computing [13]. The majority of these concepts are dedicated to achieving a balance between processing resource utilization and energy consumption, with the primary goal of reducing energy usage while maintaining optimal processing performance. The presented concepts propose scheduling algorithms that are energy-efficient, aiming to address energy-related drawbacks through task consolidation and scheduling. These algorithms consider completion time and overall task utility on resources to optimize energy consumption [14]. The task duplication technique involves replicating tasks across multiple machines to create redundant instances of the same task on different machines, with the goal of reducing communication time [15]. The task duplication technique involves duplicating tasks across multiple machines to have redundant instances of the same task on different machines, aiming to reduce communication time. The duplicated tasks must undergo a selection process, considering all possible duplicates, and only retaining the options that can collectively enhance the overall schedule. Additionally, there is an incorporation of machine learning techniques to enhance scheduling efficiency [16].

While numerous studies have introduced techniques for enhancing energy-aware workflow scheduling, many of these approaches necessitate hardware capabilities that need to be addressed at the operational level. Implementing these algorithms often incurs high scheduling costs. In this work, the focus shifts to mitigating time complexity and supporting scheduling through a performance-analytical approach. This involves calculating the effective number of processors per process, ultimately aiming to reduce inefficient power consumption. This strategy is geared towards achieving a more streamlined and efficient workflow scheduling process without relying heavily on complex hardware support.

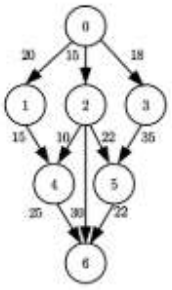
III. Models

In this section, various models are presented in the study, encompassing system models, energy models, and scheduling models.

A. System Model

In this study, we model the processing of parallel applications, where N tasks can be concurrently executed on a system with M heterogeneous processors. The set of tasks for the application is represented through a directed acyclic graph (DAG), as shown in Fig. 1. The graph model, denoted as $G = (V, E)$, represents the application and consists of a set of vertices, V, and a set of edges, E. Each vertex represents the computational cost of a task, and the edges between vertices signify the communication cost between tasks. Additionally,

each edge indicates the precedence constraints for its associated task. The workload of task t_i is represented as w_i, and the edge $e(t_i, t_j) = c_{ij}$ implies that task t_i must be completed before task t_j, with a communication cost of c_{ij} between tasks t_i and t_j. In general, a task without a predecessor is referred to as an entry task (t_{entry}), and a task without a successor is called an exit task (t_{exit}). After the completion of all tasks, the scheduling length is determined by calculating the difference between the start time and the completed time. The longest path of tasks is recognized as the critical path.



t_i	p_0	p_1	p_2	$\overline{w_i}$
0	10	15	18	14.33
1	20	25	23	22.67
2	15	18	20	17.67
3	22	30	28	26.67
4	23	35	28	18.67
5	10	20	16	15.33
6	18	24	22	21.33

Fig. 1. The task model and the estimated computing time for task t_i.

We assume that the system model for task scheduling comprises heterogeneous processors interconnected in a fully connected manner. The model allows for communication of data among processors during execution. Additionally, for the processing of each task, it is necessary to estimate the execution time on each processor. The estimate for the task execution time can be derived from the cost matrix (w_{ij}), representing the estimated time for task execution (t_i) on the processor (p_j). However, parallel processing, designed to accelerate computation by distributing workloads across groups of processors, tends to have higher power consumption compared to single-processor processing. Moreover, expanding the number of processors without proper methods can lead to inefficient energy consumption.

B. Energy Consumption Model

The energy consumption model during task execution is typically divided into static and dynamic components. The total energy, E_j^t, consumed by the processor (p_j) can be defined as in (1).

$$E_j^t = E_j^s + E_j^d, \tag{1}$$

let E_j^s be denoted as the static energy, and E_j^d as the dynamic energy lost during processing on processor j. Static energy consumption can typically be disregarded as this energy is attributed to uncontrollable factors such as hardware production, electrical leakage, etc. This part constitutes a minor percentage in comparison to the energy consumed for processing. Hence, static energy is commonly allowed to be ignored in this work. The dynamic energy consumption of each processor dissipated during task processing is calculated in (2).

$$E_j^d = P_j^d w_{ij}, \tag{2}$$

where P_j^d represents the dynamic power to execute task t_i on processor p_j. The dynamic power is defined in (3).

$$P_j^d = ACV_j^2 F_j, \tag{3}$$

where A is the number of switches per clock cycle, C is the total capacitance load, with voltage V_j and frequency F_j. The system and energy consumption model discussed in this section are applied to the scheduling model, which is presented in more detail in the following section.

C. Scheduling Model

The objective of scheduling applications on parallel processing systems is to optimize processing speed. However, the development of schedulers has incorporated various goals to address current needs, including energy reduction, cost reduction, bandwidth savings, etc. In this work, we focus is on maintaining the processing speed achieved through scheduling while minimizing the power wasted when adding processors to enhance system speed. In addition to the parameters mentioned above, it is essential to define scheduling-related parameters. The bandwidth among processors in a computing system is represented by a matrix B_{ij}, indicating the capacity between processors p_i and p_j. Hence, the communication time between task t_m and t_n with communication cost c_{mn} on processor p_i to p_j can be calculated with the communication time T_{mn}^{ij}, where L_j is the latency time on processor p_j, and T_{mn}^{ij} is defined in (4).

$$T_{mn}^{ij} = L_j + \frac{c_{mn}}{b_{ij}} \tag{4}$$

The estimated computing time of task t_i is determined by the average time $\overline{w_i}$ of task t_i, calculated by averaging the computation time for task t_i across all processors, divided by the total number of processors. Scheduling each task involves considering task attributes such as earliest execution start time (EST), earliest execution finishing time (EFT), and actual execution finish time (AFT). The model for each attribute can be defined as follows. Firstly, $EST(t_n, p_j)$ is expressed in (5) as a recursive function of the $AFT(t_m)$ of task t_m preceding task t_m, incorporating the communication time T_{mn}^{ij} between processor p_i to p_j.

$$\begin{aligned} EST(t_{entry}, p_j) &= 0, \\ EST(t_n, p_j) &= \max\{aval(p_j), \\ &\quad \max_{t_m \in pred(t_n)} (AFT(t_m) + T_{mn}^{ij})\}, \end{aligned} \tag{5}$$

where $pred(t_n)$ is a function that gives the set of predecessors for task t_n, and $aval(p_j)$ represents the earliest time at which processor p_j can execute another task. In other words, $aval(p_j)$ denotes the available time for task execution on the processor. Next, $EFT(t_n, p_j)$ is a function that calculates the execution time to process task t_n on the earliest finish time on processor p_j from the earliest starting time. $EFT(t_n, p_j)$ is defined in (6) as follows.

$$EFT(t_n, p_j) = w(n, j) + EST(t_n, p_j), \tag{6}$$

where $w(n, j)$ is obtained from the cost matrix representing the estimated time for task execution (t_n) on the processor (p_j). Finally, $AFT(t_n)$ is determined after scheduling task t_n on the processor to obtain the actual finish time. The function $AFT(t_n)$ is crucial because $AFT(t_{exit})$ of the last task t_{exit} is the schedule length, commonly referred to as the makespan.

In this study, we employ the Heterogeneous Earliest Finish Time (HEFT) algorithm as a baseline scheduling algorithm and improve it by integrating the proposed approach to expedite application processing, all the while ensuring efficient energy consumption. The HEFT algorithm is a scheduling algorithm designed for heterogeneous processors with varying capabilities [17]. This algorithm belongs to the category of list heuristics scheduling, which involves maintaining a list of all tasks in a given task graph in order of priority. The algorithm comprises two distinct phases: 1) the task prioritization phase (or task selection), which involves selecting ready tasks with the highest priority, and 2) a processor selection phase, aimed at choosing an appropriate processor that minimizes execution time. The proposed method for addressing the energy waste resulting from scaling up the speed of parallel processing systems is presented in the next section.

IV. Proposed Method

One crucial objective in the design and development of parallel computing is to enhance the speed of parallel processing beyond that achievable on a single processor. The strategy of increasing the number of processors in a processing system is a method to expedite processing. However, it is evident that the addition of each processing unit results in a proportional increase in energy consumption. Therefore, the efficiency of adding processing units to enhance speedup necessitates careful consideration of the trade-off between increased speedup and the accompanying energy consumption.

A. Background

We have considered the upper bound of increasing the number of processors to enhance speedup, assuming a fixed-size workload and adhering to Amdahl's law (as defined in (7)).

$$\varphi(f, p) = \frac{1}{f + (1 - f)/p}, \tag{7}$$

in which $\varphi(f, p)$ represents the maximum speedup achieved in processing, where f is the proportion of sequential processing, and p is the number of processors. By taking the limit as p approaches infinity in (7), we obtain the upper limit of speedup. Certainly, increasing the number of processors to enhance speedup without considering efficiency can lead to inefficient energy consumption. The efficiency of processing is defined as follows:

$$\varepsilon(f, p) = \frac{\varphi(f, p)}{p}, \tag{8}$$

where $\varepsilon(f, p)$ represents the efficiency of parallel processing, measured by the processor utilization ratio of speedup divided by the number of processors p. The efficiency value of parallel processing falls within the range of $0 < \varepsilon(f, p) \leq 1$. Therefore, the optimal efficiency value is $\varepsilon(f, p) = 1$, which would result in a speedup, $\varphi(f, p)$, equal to the number of processors. In summary, the upper bound of the number of processors used in the processing system does not exceed ρ, as follows:

$$\lim_{p \to \infty} \varphi(f, p) = \rho, \tag{9}$$

when ρ is the upper bound of the number of processors in the processing system. The application of the discussed theories to enhance processing speed efficiently while conserving energy in the processing is presented in the next section.

B. Concept of the proposed method

The fundamental concept applied in the proposed method in this work is to reduce the number of inefficiently processed processors. This arises from the attempt to accelerate processing by adding processing units, leading to energy wastage from those processors. However, reducing the number of inefficiently processed processors to save energy may lead to an increase in makespan for some kinds of applications. If the increase in processing time is within acceptable limits for users, then the method proposed in this work is an efficient approach not only for efficient processing but also for energy conservation.

The reduction in the number of processors must be bounded to maintain processing speed. The lower bound on the required number of processors must be at least equal to this specified threshold. Going below this threshold would significantly impact the processing efficiency of the application for users.

Proposition 1: The lower bound on the required number of processors must not fall below ρ.
Proof: In the case where the maximum efficiency of parallel processing, $\varepsilon(f, p)$, is equal to 1 (as defined in (8)), this implies that $\varphi(f, p)$ is equal to ρ.

The lower bound on the number of processors, as illustrated in Fig. 2, is determined by the intersection point where $\varepsilon(f, p)$ equals 1 and the processing speedup. The upper bound on the number of processors should not be excessive beyond the necessary requirements. This limit serves as a flexible guideline rather than a strict constraint.

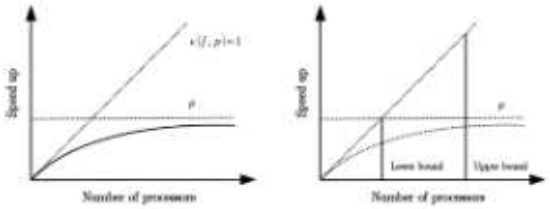


Fig. 2. The bound on the number of processors

In this study, we propose an upper bound on the number of processors derived from the analysis of parallel processing performance, as outlined below.

Proposition 2: The upper bound on the number of processors used for processing, denoted as p, should not exceed the following values:

$$p \ll \frac{2\sigma(n) + \varrho(n)}{\varrho(n) + \kappa(n,p)}, \tag{10}$$

where $\sigma(n)$ is the portion of sequential processing, $\varrho(n)$ is the part of parallel processing, and $\kappa(n,p)$ represents the communication overhead between processors.

Proof: From the definition of speed up, as follows:

$$\begin{aligned}\varphi(n,p) &= \frac{\sigma(n) + \varrho(n)}{\sigma(n) + \varrho(n)/p + \kappa(n,p)}, \\ &= \frac{p(\sigma(n) + \varrho(n))}{\sigma(n) + \varrho(n) + (p-1)\sigma(n) + p\kappa(n,p)}.\end{aligned}$$

Since efficiency $\varepsilon(n,p)$ is equal to speed up $\varphi(n,p)$ divided by p, it follows that:

$$\begin{aligned}\varepsilon(n,p) &= \frac{\sigma(n) + \varrho(n)}{\sigma(n) + \varrho(n) + (p-1)\sigma(n) + p\kappa(n,p)}, \\ &= \frac{1}{1 + \dfrac{(p-1)\sigma(n) + p\kappa(n,p)}{\sigma(n) + \varrho(n)}}.\end{aligned}$$

Certainly, the maximum efficiency ($\varepsilon(n,p) = 1$) is achieved when the term of $((p-1)\sigma(n) + p\kappa(n,p))/(\sigma(n) + \varrho(n))$ approaches zero. Therefore:

$$\begin{aligned}(p-1)\sigma(n) + p\kappa(n,p) &\ll \sigma(n) + \varrho(n), \\ p &\ll \frac{2\sigma(n) + \varrho(n)}{\varrho(n) + \kappa(n,p)}.\end{aligned}$$

The utilization of the proposed bounds on the number of processors for both tasks is applied as a guideline for estimating the scalability of parallel processors based on the theory of isoefficiency. In the following section, we present the experimental results and engage in a comprehensive discussion of the outcomes derived from the implementation of the proposed method.

V. Experimental Results and Discussion

In this study, we have divided the scheduling process into two phases. The first phase involves prescheduling using the HEFT algorithm to estimate the suitable number of processors for processing the application efficiently. The second phase consists of rescheduling using HEFT, which occurs primarily based on the efficiency estimate derived from comparing the worthy number of processors with the achieved performance, aiming to minimize the energy wasted inefficiently. For the evaluation of the proposed method, we employed the CloudSim simulation framework. CloudSim is a widely used simulation toolkit in the research community for modeling and simulating cloud computing and parallel processing systems.

A. Experimental Settings

In configuring parameters for generating synthetic task graphs, we consider a range of task counts, specifically $\{10, 20, 30, 40, 50\}$. The communication-to-computation ratio (CCR) is varied across the set $\{0.1, 0.5, 1.0, 5.0\}$. Notably, a CCR value of 5.0 is indicative of a communication-intensive application. The shape of the task graph is defined by the parameter α, with values set at $\{0.1, 0.5, 1.0\}$. A higher α results in the creation of a task graph with a greater degree of concurrency. This implies that the application exhibits high parallelism. As for the parameter β, which takes values between $\{0.5, 1.0\}$, it is employed to specify the varying performance capabilities of processors. A higher β indicates higher heterogeneity in processor performance. The set of available processors is defined as $\{5, 10, 15, 20, 25\}$. For the experiments in this study, we generated over 500 different scenarios. The performance was evaluated using two metrics: the Schedule Length Ratio (SLR) and the Energy Consumption Ratio (ECR). The SLR measures processing efficiency, while the ECR quantifies energy consumption efficiency (see details on both metrics in [17], [18]).

B. Experimental Results

The overall comparison results from the evaluation of the proposed method in Table I and II, based on experiments with different sets of synthesized DAGs, clearly demonstrate that reducing the number of processors for processing, coupled with the presented Ratio of Effectiveness, as discussed in [2], can effectively maintain processing efficiency within reasonable criteria. However, it is worth noting that there may be communication-intensive applications that may not be well-suited for scheduling with HEFT, coupled with the proposed method, despite maintaining processing efficiency. The proposed method can be integrated with algorithms in the task duplication category, enhancing scheduling for communication-intensive applications with improved makespan. This experimental result in Table I demonstrates that the SLR values at $\alpha = 1.0$ are consistently higher across all task graph models.

TABLE I. THE SLR VALUES OF THE DIFFERENT APPLICATIONS

Schedule Length Ratio (SLR)									
CCR	$\alpha = 0.1$			$\alpha = 0.5$			$\alpha = 1.0$		
	HEFT	PM	%	HEFT	PM	%	HEFT	PM	%
0.1	1.02	1.02	0.00	1.03	1.03	0.00	1.04	1.22	-17.68
0.5	1.24	1.24	0.00	1.20	1.23	-3.63	1.30	1.69	-29.66
1.0	1.55	1.55	0.00	1.90	2.06	-8.40	1.57	2.07	-31.84
5.0	4.01	4.39	-9.29	5.14	5.82	-13.23	4.75	6.40	-34.68

PM: The proposed method

TABLE II. THE ECR VALUES OF THE DIFFERENT APPLICATIONS

Energy Consumption Ratio (ECR)									
CCR	$\alpha = 0.1$			$\alpha = 0.5$			$\alpha = 1.0$		
	HEFT	PM	%	HEFT	PM	%	HEFT	PM	%
0.1	2.52	2.07	+17.70	2.93	2.59	+14.30	2.93	2.86	+2.28
0.5	2.33	2.06	+11.84	3.27	2.83	+13.67	2.88	3.14	-9.27
1.0	2.51	2.05	+18.94	3.43	2.99	+12.78	3.37	3.72	-10.38
5.0	3.40	2.82	+16.91	3.43	3.01	+12.14	3.69	4.13	-12.07

Although the impact of reducing some processors may lead to an increase in the schedule length, the proposed

method can effectively reduce energy consumption in almost all types of applications. There might be communication-intensive applications that still cannot achieve the expected energy reduction. This is evident from the ECR values in Table II. Discussing the reasons behind the presented experimental results in the next section.

C. Discussion

As for the analysis of the experimental results concerning the reasons for the observed performance in the SLR and ECR metrics, this will be discussed in ths section. The experimental results reveal that communication-intensive applications cannot save energy as much as computation-intensive applications. The explanation for this can be derived from the proof in (10), which indicates that the term $\kappa(n,p)$, representing communication overhead, must be smaller than the term $\varrho(n)$, which is part of the parallel processing. It can be demonstrated as follows:

$$\kappa(n,p) \ll \frac{(2-p)\sigma(n) + \varrho(n)}{p},$$

if we consider that the proportion of sequential processing, $\sigma(n)$, is very small, approaching 0, it follows that:

$$\kappa(n,p) \ll \frac{\varrho(n)}{p}.$$

From the above analysis, it is found that in applications, there may be communication overhead, but it should be less than the proportion of parallel processing. If reducing the number of processors has an impact on the schedule length, it will lead to increased energy consumption per remaining processor.

VI. Conclusion

As the demand for cloud computing systems accelerates to meet the requirements of modern applications, which necessitate limitless computational resources, this trend has resulted in inefficient energy consumption during processing. The method proposed in this study employs the fundamental theory of scalability in the number of processors to effectively constrain the number of processors used, balancing it with energy efficiency. Furthermore, the proposed method is applied to the HEFT algorithm, along with a simple task load assessment using the Ratio of Effectiveness, to intelligently deactivate inefficient processors. This leads to a processing system with efficient processing capabilities and energy savings. The experiments conducted with various synthesis task graphs demonstrate that the proposed method yields favorable results for nearly all types of applications. It is suitable for guiding application scheduling for efficient processing while conserving energy consumption effectively.

References

[1] E. Masanet, A. Shehabi, N. Lei, S. Smith, J. Koomey, "Recalibrating global data center energy-use estimates," Science, vol. 367(6481), pp. 984-986, February 2020.

[2] T. Thanavanich, A. Siri, K. Boonlom, A. Chaikaew and P. Uthayopas, "Energy-aware scheduling of multiple workflows application on distributed systems," In 13th International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering (JCSSE), Khon Kaen, Thailand, 2016, pp. 1-6, doi: 10.1109/JCSSE.2016.7748853.

[3] B. Varghese, and B. Rajkumar, "Next generation cloud computing: New trends and research directions," Future Generation Computer Systems, vol. 79, pp. 849–861, February 2018.

[4] E. Houssein, A. Gad, Y. Wazery, P. Suganthan, "Task scheduling in cloud computing based on meta-heuristics: review, taxonomy, open challenges, and future trends," Swarm and Evolutionary Computation, vol. 62, 100841, April 2021.

[5] K. Agrawal and S. Baruah. "Intractability issues in mixed-criticality scheduling," In 30th Euromicro Conference on Real-Time Systems (ECRTS 2018), Schloss Dagstuhl-Leibniz-Zentrum fuer Informatik, Germany, 2018, pp. 11:1–11:21.

[6] B. Gawali and K. Shinde, "Task scheduling and resource allocation in cloud computing using a heuristic approach," Journal of Cloud Computing, vol. 7(1), pp.1-6, December 2018.

[7] H. Houssein, G. Gad, M. Wazery and N. Suganthan, "Task scheduling in cloud computing based on meta-heuristics: review, taxonomy, open challenges, and future trends," Swarm and Evolutionary Computation, vol. 62, 100841, April 2021.

[8] F. Juarez, J. Ejarque and M. Badia. "Dynamic energy-aware scheduling for parallel task-based application in cloud computing," Future Generation Computer Systems, vol. 78, pp.257-71, January 2018.

[9] Z. Tang, L. Qi, Z. Cheng, K. Li, U. Khan and K. Li, "An energy-efficient task scheduling algorithm in DVFS-enabled cloud environment," Journal of Grid Computing, vol. 14, pp.14:55-74, March 2016.

[10] K. Maurya, K. Modi, V. Kumar, S. Naik and K. Tripathi AK, "Energy-aware scheduling using slack reclamation for cluster systems," Cluster Computing, vol. 23, pp. 911-23, June 2020.

[11] R. Medara and S. Singh, " Energy efficient and reliability aware workflow task scheduling in cloud environment," Wireless Personal Communications, vol. 119, pp. 1301–1320, July 2021.

[12] A. Marahatta, S. Pirbhulal, F. Zhang, R. M. Parizi, K. –K. R. Choo and Z. Liu, "Classification-Based and Energy-Efficient Dynamic Task Scheduling Scheme for Virtualized Cloud Data Center," in IEEE Transactions on Cloud Computing, vol. 9, no. 4, pp. 1376-1390, 1 Oct.-Dec. 2021.

[13] P. Verma, K. Maurya and S. Yadav , " A survey on energy-efficient workflow scheduling algorithms in cloud computing," Software: Practice and Experience, December 2023.

[14] K. Panda and K. Jana, " An energy-efficient task scheduling algorithm for heterogeneous cloud computing systems," Cluster Comput, vol. 22, pp. 509–527, June 2019.

[15] K. He, X. Meng, Z. Pan, L. Yuan and P. Zhou, "A Novel Task-Duplication Based Clustering Algorithm for Heterogeneous Computing Environments," in IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, vol. 30, no. 1, pp. 2-14, Jan. 2019.

[16] Z. Tong, X. Deng, H. Chen,J. Mei and H. Liu, "QL-HEFT: a novel machine learning scheduling scheme base on cloud computing environment," Neural Computing and Applications, vol. 32, pp.5553-5570, May 2020.

[17] H. Topcuoglu, S. Hariri and Min-You Wu, "Performance-effective and low-complexity task scheduling for heterogeneous computing," in IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, vol. 13, no. 3, pp. 260-274, March 2002.

[18] Y. C. Lee and A. Y. Zomaya, "Energy Conscious Scheduling for Distributed Computing Systems under Different Operating Conditions," in IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, vol. 22, no. 8, pp. 1374-1381, August 2011.

IAES International Journal of Artificial Intelligence (IJ-AI)
Vol. 11, No. 4, December 2022, pp. 1297–1305
ISSN: 2252-8938, DOI: 10.11591/ijai.v11.i4.pp1297-1305

Hybrid algorithms based on historical accuracy for forecasting particulate matter concentrations

Thanawut Thanavanich[1], Mayoon Yaibuates[1], Pumipong Duangtang[1], Seksan Winyangkul[2]
[1]Department of Computer Engineering, School of Computer and Information Technology, Chiang Rai Rajabhat University, Chiang Rai, Thailand
[2]Department of Logistics Engineering and Management, Faculty of Industrial Technology, Chiang Rai Rajabhat University, Chiang Rai, Thailand

Article Info

Article history:

Received Aug 10, 2021
Revised Jun 8, 2022
Accepted Jul 7, 2022

Keywords:

Forecasting algorithm
Forecasting particulate matter 2.5
Historical accuracy
Hybrid algorithm
Neural network

ABSTRACT

Air pollution has become one of the most significant problems impacting human health. Particulate matter (PM) 2.5 is usually used as an identifier of the intensity of the pollution. The PM2.5 forecasting is essential and gainful for reducing health risks. The efficient model for forecasting PM2.5 concentration can be used in determining the period of outdoor activities, thereby reducing the impact on health. In addition, the government sector can use the forecasting model as a tool for laying down measures a burning control. In this work, the hybrid forecasting algorithms for improving accuracy are presented. The hybrid forecasting algorithms combine neural network models with historical predictive data for improving the accuracy of forecasting. The experimental results show that the proposed algorithms can reduce the mean absolute error and root mean square error of forecasting at 36% and 45%. Therefore, the proposed algorithms are not only effectively used to forecast the PM2.5 concentrations but also apply the lightweight technique based on historical accuracy to forecast other complex problems efficiently.

This is an open access article under the CC BY-SA license.

Corresponding Author:

Mayoon Yaibuates
Department of Computer Engineering, School of Computer and Information Technology, Chiang Rai Rajabhat University
80 M. 9 Ban Du, Mueang, Chiang Rai, 57100, Thailand
Email: mayoon.yai@crru.ac.th

1. INTRODUCTION

The air pollution problem has become a significant issue that impacts human health. The pollution problem causes many diseases such as coughing, sneezing, asthma, bronchitis, and lung cancer. Several factors can exacerbate the problem, such as urbanization, industrial plants, agricultural burning, construction, and forest fires. Especially, burning for planting preparation is the most important factor of this problem in the Thailand context [1]. Particulate matter (PM) 2.5 is often used to indicate air quality. Therefore, the development of efficient forecasting and monitoring the PM2.5 concentrations are reasonable solutions for planning and determining measures in the government sector. An efficient forecasting algorithm with high accuracy is still a challenging task. Many previous works have suggested using forecasting methods to predict PM2.5 concentration in time-series prediction [2]. They presented various models of forecasting such as conventional model, artificial intelligence model, and hybrid model to achieve the problem [3]. In addition, the forecasting results were effectively used for planning the duration of the outdoor activities of all people.

The forecasting model is widely used as a tool for planning and monitoring resources usage. The model also applies to increase the ability to decision-making in various areas such as financial, marketing, network, energy, and environment. Several approaches to achieve the forecasting problem are grouped into the following models: conventional models, artificial intelligence models, and hybrid models. The conventional model is classified into two main groups: statistical methods and deterministic methods. The traditional statistic can achieve to solve linear and non-linear problems with high accuracy [4]–[6]. Some approaches efficiently attain the forecasting problem, such as non-linear regression [7], [8], autoregressive integrated [9]–[11], extended Kalman filter [12], and exponential smoothing [13]. The conventional model of a deterministic approach is another approach that does not require historical data, but these approaches need sufficient basic information [14]. The deterministic model is often applied to estimate the degree of pollution problem accurately [15]. The statistical approach delivers more accuracy of long-term forecasting than the deterministic approach, although those approaches need more computational resources than others. The statistical method generally requires a lot of historical atmospheric data that have extreme dependencies on a specific site. Therefore, the statistic approach forecasts the pollution concentrations accurately. Many efficient techniques, for example, artificial intelligence and hybrid method, are often applied to enhance the accuracy of forecasting.

The artificial intelligence model attains to the weather forecast and air quality prediction with high accuracy. This approach consists of artificial neural networks [16], [17], machine learning [18], [19], deep learning [20], [21], evolutionary methods [22]. This approach does not only give better forecasting accuracy than mathematical methods, but it also consumes computing resources lower than the conventional approach. This approach can solve highly complex problems that are difficult to construct the theoretical models. Thus, artificial intelligence (AI) is widely applied to achieve a forecasting problem of a complex system such as PM2.5. Many previous works studies forecasting PM2.5 technique based on artificial neural network (ANN) approach including recursive neural network [14], fuzzy neural network [23], convolutional neural network (CNN) [24], back propagation neural network [25], and adaptive neural network [26]. However, the ANN technique achieves the local optimum problem and the global optimum problem [27]. AI with evolutionary algorithms is one of the attractive approaches to forecasting problems such as particle swarm optimization(PSO), and genetic algorithm (GA) [28]–[30].

The hybrid forecasting model is the primary approach to improve the performance of forecasting in various fields. This approach is not only used to accomplish a long-term nonlinear problem, but it also enhances forecasting accuracy with the same performance as the other methods mentioned above. The previous works studied the hybrid technique includes cluster-based [31], ANN and multiple linear regression [32], ANN and k-means clustering [33], ANN and wavelet [14], back propagation ANN (BPANN) and wavelet [34], BPANN and adaptive differential evolution [27], deep learning and wavelet [34], recurrent neural network (RNN) and long short-term memory (LSTM) [35], multi-objective Harris hawk's optimization (MOHHO) [36]. The hybrid models can help to enhance the accuracy of PM2.5 prediction and the model also achieve the limitation of single-site prediction to generalized [37]. The hybrid approach [38] can also be applied to forecasting complex problems in other fields.

The proposed algorithms of forecasting are implemented based on historical prediction. The forecasting algorithms combine traditional neural network prediction in the first step, and the prediction result from this step has enhanced the accuracy of the result in the second step. In the improving accuracy step, the forecasting performance obtains from comparing the predictive data of the neural networks to the real measurement value. These performances are used as the weighted factor to improve the accuracy of final forecasting. The experimental results showed that the proposed algorithms can improve the accuracy from the traditional approach significantly. The main contributions of this work are as: i) The hybrid forecasting algorithms are proposed to increase the predictive accuracy using the historical prediction technique; and ii) The use of the lightweight technique applied with conventional artificial intelligence can efficiently improve the accuracy of forecasting problems.

2. METHOD

The algorithms proposed in this work utilize the benefits of neural networks for complex systems based on historical forecasted data, consisting the lightweight techniques to improve forecast accuracy. This technique can be applied to conventional time-series data. There are models used in this research consisting of the data model, multi-layers perceptron of the neural network, proposed algorithms, and performance evaluation model. The detail of each model is addressed as follows.

2.1. Dataset description

The dataset of PM2.5 concentration used as the main factors, included temperature, dew point, humidity, and wind speed, affecting PM2.5 levels in Chiang Rai province, the northern province of Thailand, were collected from BerkeleyEarth and WeatherUnderground from 2017 to 2020. Chiang Rai is an agricultural city encountering severe smog, especially in the planting season over the past decades. This study used data collected daily over three years. Those data are divided into two parts: i) learning data set from 2017 to 2018, and ii) testing data set from 2019 to mid-2020. This set is used to evaluate the forecasting performance of the proposed algorithms.

2.2. Neural network model

In this work, we apply the neural network model based on a multi-layer perceptron (MLP) neural network. The multi-layer perceptron model can deliver efficient results with non-linear problems and also work well with large input data. Normally, the neural network model is characterized by three main layers: input layer, hidden layer, output layer. The input layer is used as the layer that obtained input parameters from the external environment. Next, the hidden layer is the middle part of the neural network in which this layer may be composed of several hidden layers. In this layer, the weighted value of each factor affecting the forecast value is calculated. The output layer performs as a node for collecting all the results from hidden layer before submitting the solution. The neural network model applied in this work shown in (1). The input layer of the model uses set (X) as the input parameters, consisting of (x_i) represented by each factor for processing in the learning process.

$$Y_i = \sum_{j=1}^{N_l} w_{ij}^{l} H_j^{l} + \beta_i \quad (1)$$

The predicted value (Y_i) is calculated by the combination of the weight (w_{ij}^{l}) of the hidden node (j) of the layer (l). Next, this layer sent the output to hidden nodes (i) of the next layer and bias (β_i) of hidden nodes (i). Let H_j^{l} denote the hidden node (j) of the layer (l) can be expressed as $H_j^{l} = \sum_{i=1}^{N_l} w_{ij}^{l-1} H_j^{l-1} + \beta_i^{l}$. The hidden layer is recursively computed from weighting (w_{ij}^{l-1}) the previous layer $(l-1)$ to the hidden node (j) in the layer (l), and combined with a bias (β_i^{l}) of the hidden node (i). The H_j^{1} (as computed by $H_j^{l-1} = \sum_{i=1}^{N_l} w_{ij}^{0} x_i + \beta_j^{1}$) presents the model for each node of the first layer. The node of the first layer (H_j^{1}) can be applied by weighting (w_{ij}^{0}) of each input parameter (j) to hidden nodes (i).

An empirical approach is applied to attain the best effort of neural network structure, including the number of hidden nodes and the number of the hidden layer. The experimental settings of nodes in each layer and hidden layers are set of 6-30 nodes and set of 1-4 layers, respectively. We also trained the model with 200 to 1400 training cycles with the number of nodes and the number of a hidden layer as we mentioned above. The best model obtained from the model has a minimum of mean absolute error (MAE). The forecasting model of a neural network based on best-effort testing is consisting four hidden layers, each layer containing 28 nodes. This configured neural network structure is used as a preliminary prediction result to apply those forecasting results to a more accurate prediction by the proposed algorithms presented in this research.

2.3. Proposed algorithms

In this section, the detail of each algorithm applied by the historical prediction technique is described. The algorithms obtain historical predictive data for improving the accuracy of the forecasting. The preliminary result of the neural networks is used as baseline forecasting. Before the final solution is presented, the candidate solution must be improved accuracy with the proposed algorithm as shown in Figure 1. The main concept of the proposed algorithms adopted historical predictive data of both long-term and short-term forecasting. The historical data, obtained by computing relative error from the previous prediction, uses as a weighting factor in the second step.

2.3.1. Coefficient weighted algorithm

The preliminary predictive results of the neural network were considered to calculate the correlation coefficient from the long-term historical data. The correlation coefficient of the measurement data is estimated by the average forecasting performance with a linear regression technique. This algorithm is called the coefficient weighted (CW). The main idea of this method is to attempt to adjust the forecast coefficient each time to 1.0 because the forecast value is closer to the actual measured value. In Figure 1(a), the target of forecasting is equal to $Y_G \cong Y_i$, where Y_G is the goal of the predicted value that needs to be close to the measured value, and Y_i is the predicted result of the neural network. The linear regression is consisting of a regression coefficient ω_t and a correlation ε_t. The relation of ω_t and x_G shown in (2), where x_G is the

measured value, $c_t$is the regression coefficient of the trendline and b_t is the correlation of the target prediction. Finally, the improved accuracy of forecast value (Y_i) is computed by the regression coefficient (ω_t), and correlation (ε_t) that is weighted by the coefficient of the long-term historical accuracy (as shown in (3)). The coefficient weighted (ω_t) is obtained from the inversed regression coefficient $1/c_t$ and ε_t also calculated from the correlation is weighted by the coefficient b_t/c_t.

$$x_G = \frac{Y_i \pm b_t}{c_t} \quad (2)$$

$$Y_i = \omega_t Y_i \pm \varepsilon_t \quad (3)$$

2.3.2. Latest recently measured algorithm

Next, the forecasting algorithm uses an improved performance technique based on weighting with the recently measured actual data and the previous forecast error. The recently measurement of PM2.5 level is a short-term historical weighting technique. The forecasting algorithm can efficiently predict a PM2.5 concentration in unstable conditions. This proposed algorithm is called the latest recently measured (LRM). As shown in Figure 1(b), the improving algorithm obtains the forecast result (represented by a circle with a dotted line in t) from the last measured value (represented by a circle with a solid line in $t-1$ and weighting the predicted error from the previous forecasting (in $t-1$). The improved result Y^t, as shown in (4), is computed from recently measure of PM2.5 (M^t) and relative error of latest prediction (α^t) (as presented in (5)). The current result of neural network (Y^t) is weighted by the lastest relative error of forecasting before the final result is presented.

$$Y^t = M^{t-1} + \alpha^{t-1} Y^t \quad (4)$$

$$\alpha^t = \frac{Y^t - M^t}{Y^t} \quad (5)$$

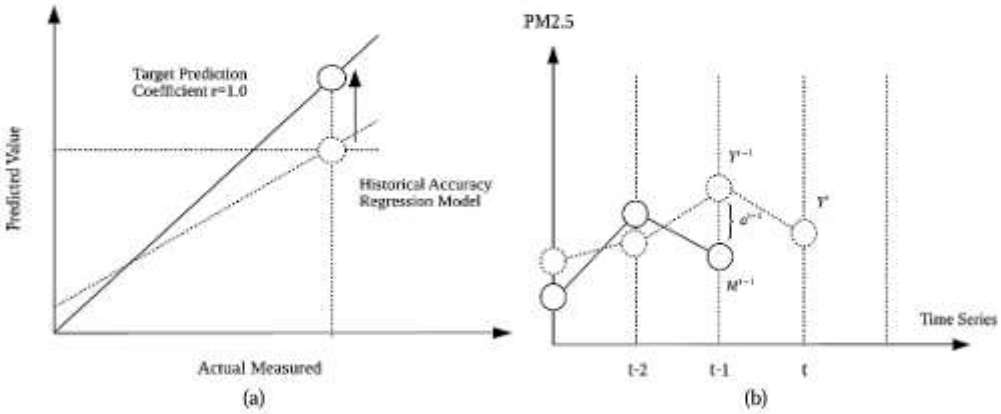


Figure 1. Concept of the proposed algorithms (a) CW and (b) LRM

2.3.3. Mixed CW and LRM algorithm

The main idea of mixed CW and LRM obtains from the strength of two previous algorithms. Normally, the coefficient weighted algorithm can efficiently forecast the PM2.5 concentration of stable condition. On the other hand, the latest recently measured technique gives more accurate results of forecasting in inclement conditions.

$$Y^t = \begin{cases} M^{t-1} + \alpha^{t-1} Y^t, & if\ M^{t-1} < \epsilon \\ \omega_t Y_i \pm \varepsilon_t, & Otherwise \end{cases} \quad (6)$$

Therefore, we developed the mixed coefficient weighted and latest recently measured to improve accuracy. The algorithm needs to uses the average PM2.5 value (ϵ) in normal conditions as the threshold of result selection as shown in (6). The latest measured (M^{t-1}) PM2.5, compared with the threshold before the forecasting result is deployed, uses as criteria for selecting the solution. In the next section, the experimental results of each algorithm are discussed.

2.4. Performance evaluation model

For forecasting problems, there are many measurement metrics to evaluate the accuracy of the predicted results. The first metric used in this work is MAE. The MAE indicates the absolute difference in mean error between the forecasted values and the actual measured values. It is defined as $MAE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}|m_i - p_i|$. Another measurement metric used for comparing the prediction performance is root mean square error (RMSE). This metric is one of the most frequently used to measure the forecasted values compared to the actual measured value because the metric is highly sensitive to large errors. The RMSE is presented by $RMSE = (\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(p_i - m_i)^2)^{1/2}$. N denotes the number of the collected data, p_i is the predicted value, and m_i is the actual measured value. Let $\overline{m_i}$ be the average of the actual measured value. The correlation factor (R^2) is defined as $R^2 = \sum_{i=1}^{N}(p_i - \overline{m}) / \sum_{i=1}^{N}(m_i - \overline{m})^2$. The measurement metric (R^2) applies for indicating the amount of systemic error of the proposed model. In the next section, the proposed algorithms for improving the accuracy of forecasting were presented.

2.5. Example case

In this subsection, the algorithmic details of improving the foresting results are briefly presented. Firstly, we input the factor parameters to the learned model from the configuration described in section 2.1.2. Next, the CW algorithm tested the predictive efficiency of the neural network from the learning dataset to find the correlation coefficient in this example given equal 0.8 (c_t) (thus ω_t was 1.25), and given ε_t=9.5. Given that on day 1 the forecast value from the neural network is 60.5 (Y^t), therefore, after adjusting with (3) of the CW algorithm, the forecast result of PM2.5 concentration is 85.13. For the LRM algorithm, the forecast values from the neural network (Y^t=60.5) are weighted based on the previous forecast error (as shown in (5)), α^{t-1}=0.26, combined with the previous measurement M^{t-1}=83, thus the forecast value of 98.8 (as calculated in (4)). Given that the value ϵ is equal to 44.5, the Mixed CW-LRM choose the solution from LRM as the forecast value. In this case, we have taken an example from a one record of the test dataset, in which case the PM concentration is 94. In the next section, the performance of forecasting of the proposed algorithms are presented.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The neural network model was built on Keras, a high-level neural network API running on Tensorflow, and applied the proposed algorithms to improve forecasting accuracy with the discrete-event simulation. The predictive performance of the proposed algorithms is presented in Figure 2. Those performances are obtained by correlating the actual measured value (x-axis value) to the forecast value (y-axis value). The correlation coefficient should be close to 1 (r=1.0), meaning a highly accurate forecast. A testing data set that contains 460 time series, is used to evaluate the effectiveness of the forecast. The experimental results presented in Figure 2 show that the forecasting of the neural network is highly accurate in the PM2.5 range at average levels, but it gives lower accuracy during the PM2.5 is in high range and quite inconstant. The forecast performance of the high range (at the tail of the graph) deviated from the trend line, resulting in the average forecast performance of the neural network with a correlation coefficient of 0.58. Therefore, the proposed CW algorithm is used to adjust the forecast values before giving the final forecast results. The forecast values were adjusted with a new correlation coefficient obtained from the inverse correlation coefficient of the neural network ($1/c_t$) as in (3). The experimental results of the CW algorithm resulted in a 25% higher forecasting accuracy, as it was able to improve forecasts in the unsteady range of high PMs for a short period of time effectively. The experiment results of the CW showed that the forecast, especially at high PM2.5, tends to move closer to the trendline with a relative coefficient of 0.75. However, the concentration of PM2.5 is continuous under normal conditions, observed as the level of PM2.5 may gradually increase or decrease significantly over time. The LRM method prioritizes the most recent measured value while using the previous forecast error to weight the forecast value from neural network. The results of LRM show that it gives a more accurate forecast PM2.5 concentration with a relative coefficient of 0.85. The average forecast results are more accurate from the neural network, CW at 32.5% and 12.7%, respectively. Finally, the experimental results of the mixed CW-LRM, a method that combines the advantages of both CW and LRM for predictive final tuning, are presented. This method uses ε as the criteria for selecting values

from previous measured (M^{t-1}). The ε used as a criterion to select the forecast result was computed from the mean of the PM2.5 concentration levels in each area. As a result, selecting LRM forecasts with advantages that can forecast more normal values of the PM2.5 level, the results after mixed CW-LRM have a forecast result with better average forecast accuracy than LRM at 9.4%, with an increase from forecasting with the neural network at 38.9%. In conclusion, all three methods presented require preliminary forecasting data from the neural network, and then the methods can be used to fine-tunes the forecast values to be more accurate. As presented in Figure 3, the time series plot and forecasting performance of each algorithm are presented. The forecasting results of the proposed algorithms that are illustrated with the time series plot, compared to the measurement of PM2.5 concentrations with 460 test data are shown in Figure 3.

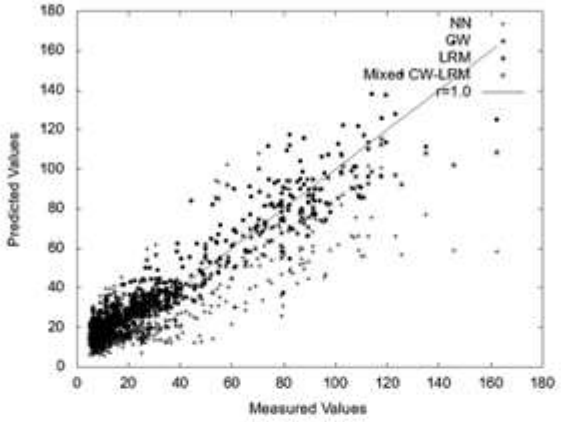


Figure 2. Forecasting results of Neural network, CW, LRM, and Mixed CW-LRM

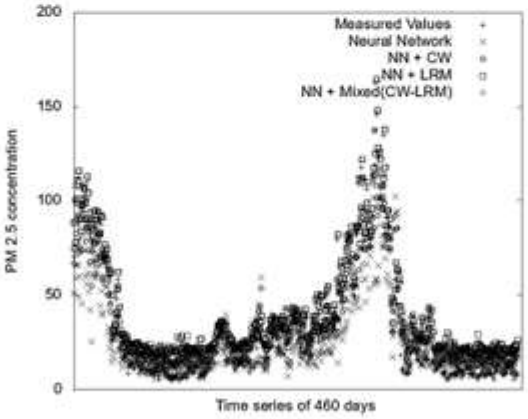


Figure 3. Performance evaluation result of the proposed algorithms

The experimental result of the forecasting accuracy as shown in Table 1, found that the CW algorithm had a better correlation coefficient than the neural network method, but MAE and RMSE were 14.90 and 22.94, respectively, which this algorithm was accurate less than the forecasting accuracy with neural networks. Next, the experimental results of the LRM algorithm show that the algorithm can deliver more forecasting accuracy than the CW algorithm. The use of the latest recently measured algorithm gives MAE and RMSE values are lower at 26% and 45%, respectively, compared to the CW algorithm. The mixed CW-LRM algorithm combines the advantages of CW and LRM algorithms to increase forecast accuracy. The

algorithm has an acceptable forecasting performance, and the forecasting results of the algorithm can reduce MAE and RMSE from LRM by 31% and 21% respectively.

Table 1. Error of the proposed algorithms

Algorithm	MAE	RMSE
Neural Network	11.74	17.96
CW	14.90	22.91
LRM	10.95	12.65
Mixed CW-LRM	7.53	9.94

The performance of three proposed algorithms with the MAE and RMSE values are summarized. The MAE values of the CW algorithm, LRM algorithm, and mixed CW-LRM are 14.90, 10.95, and 7.53, respectively. The RMSE values are equal to 22.91, 12.65, and 9.94 respectively as shown in Table 1. Next section, the conclusion of the paper is presented.

4. CONCLUSION

The forecasting model of PM2.5 concentration is challenging research. An efficient model is used to accurately predict the level of PM2.5 for determining the period of outdoor activities. The model also helps the government sector in determining the duration of burning in the harvest season. In this work, three forecasting algorithms, combined with the neural networks based on historical prediction data, are proposed. The results of the traditional neural networks provide the acceptable accuracy of forecasting PM2.5 concentrations with the configuration structure where a minimum MAE value consists of four hidden layers of 28 nodes for each layer. In the improving accuracy step, we propose the CW, LRM, and Mixed CW-LRM algorithm to improve the forecasting accuracy. The correlation coefficients of the three proposed algorithms were 0.75, 0.86, and 0.95, respectively. The MAE and RMSE were downward trends compared to the results of neural network forecasting. The mixed CW-LRM reduced MAE and RMSE at 36% and 45% from the traditional neural network algorithm. Therefore, the proposed algorithms based on historical data can improve forecasting PM2.5 concentration efficiently. For future work, improvement of the learning process is to determine the main factors of neural network prediction that helps to increase forecasting speed and accuracy. The use of evolutionary algorithms is another way for improving accuracy based on self-improvement forecasting.

ACKNOWLEDGEMENTS

We would like to thank the anonymous reviewers for their good suggestions on improving the quality of the work. This research was funded by Chiang Rai Rajabhat University. Finally, we would like to thank Mae Fah Luang University for supporting the similarity checking software.

REFERENCES

[1] S. Pongpiachan, M. Hattayanone, and J. Cao, "Effect of agricultural waste burning season on PM 2.5 -bound polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) levels in Northern Thailand," *Atmospheric Pollution Research*, vol. 8, no. 6, pp. 1069–1080, Nov. 2017, doi: 10.1016/j.apr.2017.04.009.

[2] N. Meade and T. Islam, "Technological forecasting - model selection, model stability, and combining models," *Management Science*, vol. 44, no. 8, pp. 1115–1130, Aug. 1998, doi: 10.1287/mnsc.44.8.1115.

[3] H. Liu and C. Chen, "Prediction of outdoor PM2.5 concentrations based on a three-stage hybrid neural network model," *Atmospheric Pollution Research*, vol. 11, no. 3, pp. 469–481, Mar. 2020, doi: 10.1016/j.apr.2019.11.019.

[4] S. Makridakis, E. Spiliotis, and V. Assimakopoulos, "Statistical and machine learning forecasting methods:concerns and ways forward," *PLoS ONE*, vol. 13, no. 3, p. e0194889, Mar. 2018, doi: 10.1371/journal.pone.0194889.

[5] Z. Ferdoush, B. N. Mahmud, A. Chakrabarty, and J. Uddin, "A short-term hybrid forecasting model for time series electrical-load data using random forest and bidirectional long short-term memory," *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, vol. 11, no. 1, pp. 763–771, Feb. 2021, doi: 10.11591/ijece.v11i1.pp763-771.

[6] N. H. A. Rahman, M. H. Lee, Suhartono, and M. T. Latif, "Artificial neural networks and fuzzy time series forecasting: an application to air quality," *Quality and Quantity*, vol. 49, no. 6, pp. 2633–2647, Nov. 2015, doi: 10.1007/s11135-014-0132-6.

[7] W. G. Cobourn, "An enhanced PM2.5 air quality forecast model based on nonlinear regression and back-trajectory concentrations," *Atmospheric Environment*, vol. 44, no. 25, pp. 3015–3023, Aug. 2010, doi: 10.1016/j.atmosenv.2010.05.009.

[8] B. Lv, W. G. Cobourn, and Y. Bai, "Development of nonlinear empirical models to forecast daily PM2.5 and ozone levels in three large Chinese cities," *Atmospheric Environment*, vol. 147, pp. 209–223, Dec. 2016, doi: 10.1016/j.atmosenv.2016.10.003.

[9] L. Zhang *et al.*, "Trend analysis and forecast of PM2.5 in Fuzhou, China using the ARIMA model," *Ecological Indicators*, vol. 95, no. 1, pp. 702–710, Dec. 2018, doi: 10.1016/j.ecolind.2018.08.032.

[10] P. G. Zhang, "Time series forecasting using a hybrid ARIMA and neural network model," *Neurocomputing*, vol. 50, pp. 159–175, Jan. 2003, doi: 10.1016/S0925-2312(01)00702-0.

[11] T. Liu, A. K. H. Lau, K. Sandbrink, and J. C. H. Fung, "Time series forecasting of air quality based on regional numerical modeling in Hong Kong," *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, vol. 123, no. 8, pp. 4175–4196, Mar. 2018, doi: 10.1002/2017JD028052.

[12] R. Adnan, F. A. Ruslan, A. M. Samad, and Z. Md. Zain, "Extended Kalman filter (EKF) prediction of flood water level," in *Proceedings - 2012 IEEE Control and System Graduate Research Colloquium, ICSGRC 2012*, Jul. 2012, pp. 171–174, doi: 10.1109/ICSGRC.2012.6287156.

[13] S. Mahajan, L. J. Chen, and T. C. Tsai, "Short-term PM2.5 forecasting using exponential smoothing method: A comparative analysis," *Sensors (Switzerland)*, vol. 18, no. 10, p. 3223, Sep. 2018, doi: 10.3390/s18103223.

[14] X. Feng, Q. Li, Y. Zhu, J. Hou, L. Jin, and J. Wang, "Artificial neural networks forecasting of PM2.5 pollution using air mass trajectory based geographic model and wavelet transformation," *Atmospheric Environment*, vol. 107, pp. 118–128, Apr. 2015, doi: 10.1016/j.atmosenv.2015.02.030.

[15] T. Xue *et al.*, "Spatiotemporal continuous estimates of PM2.5 concentrations in China, 2000–2016: A machine learning method with inputs from satellites, chemical transport model, and ground observations," *Environment International*, vol. 123, no. 1, pp. 345–357, Feb. 2019, doi: 10.1016/j.envint.2018.11.075.

[16] M. M. Rahman, M. Shafiullah, S. M. Rahman, A. N. Khondaker, A. Amao, and M. H. Zahir, "Soft computing applications in air quality modeling: Past, present, and future," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 12, no. 10, p. 4045, May 2020, doi: 10.3390/SU12104045.

[17] J. B. Ordieres, E. P. Vergara, R. S. Capuz, and R. E. Salazar, "Neural network prediction model for fine particulate matter (PM 2.5) on the US-Mexico border in El Paso (Texas) and Ciudad Juárez (Chihuahua)," *Environmental Modelling and Software*, vol. 20, no. 5, pp. 547–559, May 2005, doi: 10.1016/j.envsoft.2004.03.010.

[18] D. E. M. Cervera, O. J. S. Parra, and M. A. A. Prado, "Forecasting model with machine learning in higher education ICFES exams," *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, vol. 11, no. 6, pp. 5402–5410, Dec. 2021, doi: 10.11591/ijece.v11i6.pp 5402-5410.

[19] N. Sapankevych and R. Sankar, "Time series prediction using support vector machines: A survey," *IEEE Computational Intelligence Magazine*, vol. 4, no. 2, pp. 24–38, May 2009, doi: 10.1109/MCI.2009.932254.

[20] P.-W. Soh, J.-W. Chang, and J.-W. Huang, "Adaptive deep learning-based air quality prediction model using the most relevant spatial-temporal relations," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 38186–38199, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2849820.

[21] S. M. R. K. Al- Jumur, S. Wahhab Kareem, and R. Z. Yousif, "Predicting temperature of Erbil City applying deep learning and neural network," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 22, no. 2, pp. 944–952, May 2021, doi: 10.11591/ijeecs.v22.i2.pp944-952.

[22] N. Amjady and F. Keynia, "Short-term load forecasting of power systems by combination of wavelet transform and neuro-evolutionary algorithm," *Energy*, vol. 34, no. 1, pp. 46–57, Jan. 2009, doi: 10.1016/j.energy.2008.09.020.

[23] S. Zhou, W. Li, and J. Qiao, "Prediction of PM2.5 concentration based on recurrent fuzzy neural network," in *Chinese Control Conference, CCC*, Jul. 2017, pp. 3920–3924, doi: 10.23919/ChiCC.2017.8027970.

[24] S. Chae, J. Shin, S. Kwon, S. Lee, S. Kang, and D. Lee, "PM10 and PM2.5 real-time prediction models using an interpolated convolutional neural network," *Scientific Reports*, vol. 11, no. 1, p. 11952, Jun. 2021, doi: 10.1038/s41598-021-91253-9.

[25] M. Elbayoumi, N. A. Ramli, and N. F. Fitri Md Yusof, "Development and comparison of regression models and feedforward backpropagation neural network models to predict seasonal indoor PM2.5–10 and PM2.5 concentrations in naturally ventilated schools," *Atmospheric Pollution Research*, vol. 6, no. 6, pp. 1013–1023, Nov. 2015, doi: 10.1016/j.apr.2015.09.001.

[26] Y. Chen, "Prediction algorithm of PM2.5 mass concentration based on adaptive BP neural network," *Computing*, vol. 100, no. 8, pp. 825–838, Aug. 2018, doi: 10.1007/s00607-018-0628-3.

[27] L. Wang, Y. Zeng, and T. Chen, "Back propagation neural network with adaptive differential evolution algorithm for time series forecasting," *Expert Systems with Applications*, vol. 42, no. 2, pp. 855–863, Feb. 2015, doi: 10.1016/j.eswa.2014.08.018.

[28] M. Alzaqebah *et al.*, "Hybrid feature selection method based on particle swarm optimization and adaptive local search method," *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, vol. 11, no. 3, pp. 2414–2422, Jun. 2021.

[29] E. Hadavandi, A. Ghanbari, and S. Abbasian-Naghneh, "Developing a time series model based on particle swarm optimization for gold price forecasting," in *Proceedings - 3rd International Conference on Business Intelligence and Financial Engineering, BIFE 2010*, Aug. 2010, pp. 337–340, doi: 10.1109/BIFE.2010.85.

[30] R. Chuentawat and Y. Kan-ngan, "The comparison of PM2.5 forecasting methods in the form of multivariate and univariate time series based on support vector machine and genetic algorithm," in *2018 15th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)*, Jul. 2018, pp. 572–575, doi: 10.1109/ECTICon.2018.8619867.

[31] S. Mahajan, H. M. Liu, T. C. Tsai, and L. J. Chen, "Improving the accuracy and efficiency of PM2. 5 forecast service using cluster-based hybrid neural network model," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 19193–19204, Mar. 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2820164.

[32] F. Biancofiore *et al.*, "Recursive neural network model for analysis and forecast of PM10 and PM2.5," *Atmospheric Pollution Research*, vol. 8, no. 4, pp. 652–659, Jul. 2017, doi: 10.1016/j.apr.2016.12.014.

[33] M. A. Elangasinghe, N. Singhal, K. N. Dirks, J. A. Salmond, and S. Samarasinghe, "Complex time series analysis of PM10 and PM2.5 for a coastal site using artificial neural network modelling and k-means clustering," *Atmospheric Environment*, vol. 94, pp. 106–116, Sep. 2014, doi: 10.1016/j.atmosenv.2014.04.051.

[34] W. Qiao, W. Tian, Y. Tian, Q. Yang, Y. Wang, and J. Zhang, "The forecasting of PM2.5 using a hybrid model based on wavelet transform and an improved deep learning algorithm," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 142814–142825, Sep. 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2944755.

[35] Y. T. Tsai, Y. R. Zeng, and Y. S. Chang, "Air pollution forecasting using rnn with lstm," in *Proceedings - IEEE 16th International Conference on Dependable, Autonomic and Secure Computing, IEEE 16th International Conference on Pervasive Intelligence and Computing, IEEE 4th International Conference on Big Data Intelligence and Computing and IEEE 3*, Aug. 2018, pp. 1074–1079, doi: 10.1109/DASC/PiCom/DataCom/CyberSciTec.2018.00178.

[36] P. Du, J. Wang, Y. Hao, T. Niu, and W. Yang, "A novel hybrid model based on multi-objective Harris hawks optimization algorithm for daily PM2.5 and PM10 forecasting," *Applied Soft Computing Journal*, vol. 96, p. 106620, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.asoc.2020.106620.

[37] T. Thanavanich, M. Yaibuates, and P. Suchaya, "Improving the accuracy of forecasting PM2.5 concentrations with hybrid neural network model," in *2021 Joint 6th International Conference on Digital Arts, Media and Technology with 4th ECTI Northern Section Conference on Electrical, Electronics, Computer and Telecommunication Engineering, ECTI DAMT and NCON 2021*, Mar. 2021, pp. 18–22, doi: 10.1109/ECTIDAMTNCON51128.2021.9425724.

[38] S. Krishnan, P. Magalingam, and R. Ibrahim, "Hybrid deep learning model using recurrent neural network and gated recurrent unit for heart disease prediction," *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, vol. 11, no. 6, pp. 5467–5476, Dec. 2021, doi: 10.11591/ijece.v11i6.pp5467-5476.

BIOGRAPHIES OF AUTHORS

Thanawut Thanavanich is an Assistant Professor at Chiang Rai Rajabhat University, Chiang Rai, Thailand. He received M. Eng and Ph.D. in Computer Engineering from Kasetsart University, Thailand (2016). He obtained B.S in Computer Science from Ramkhamhaeng University (Thailand) in 2003. His researches are in fields of computer engineering, computational intelligence, distributed computing, evolutionary algorithm, and parallel computing. He has served as an invited reviewer in IEEE SUSC, IEEE SMC, IEEE Access, IEEE JISYS journals, and other publications. He can be contacted at email: thanawut.tha@crru.ac.th.

Mayoon Yaibuates received B.Eng. in Computer Engineering from Mae Fah Luang University, M.Sc. in Network Engineering from Mahanakorn University of Technology and Ph.D. in Computer Engineering from Mae Fah Luang University. He is a lecturer at the School of Computer and Information Technology, Chiang Rai Rajabhat University, Chiang Rai, Thailand. His research interests include computer network, cyber security, and artificial intelligence. He can be contacted at email: mayoon.yai@crru.ac.th.

Pumipong Duangtang was born in Lampang, Thailand, in 1978. He received the B.Eng. degree in Electrical Engineerings at Mahanakron University of Technology, Thailand, in 2001, M.Tech.Ed. in electrical technology at King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok (KMITNB) in 2009, and D.Eng. degree in telecommunication engineering at Suranaree University of Technology in 2017. He is an Assistant Professor in the School of Computer and Information Technology, Chiang Rai Rajabhat University, Chiang Rai, Thailand. His almost researches are in the antenna theory and electromagnetic applications. Currently, his research interests are the utilization of metamaterials for efficiency improvement of conventional antennas and microwave devices. He has served as an invited reviewer in Wireless Personal Communications and other scientific publications. He can be contacted at email: pumipong@crru.ac.th.

Seksan Winyangkul received the B.Eng., in Mechanical Engineering from King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thailand, in 2000, M.S. and M. Eng. in Agricultural Economics and Mechanical Engineering from Kasetsart University, Thailand, in 2005 and 2006, respectively. Currently, he is a PhD. Candidate, Mechanical Engineering from Khon Kaen University, Thailand. He is an Assistant Professor in the Faculty of Industrial Technology, Chiang Rai Rajabhat University. His research interests include meta-heuristic algorithms, evolutionary computation, multidisciplinary design optimization, mechanism/machine design, aeroelastic design of aircraft structures. He can be contacted at email: seksan.win@crru.ac.th.

Hidden Markov Model for Improving Resource Utilization of Dehydration Rice Paddy Service in Community Cooperatives

Thanawut Thanavanich
School of Computer and Information Technology, Chiangrai Rajabhat University
80 M.9 Bandu Mueang Chiangrai
Thailand, 57100
email: thanawut.tha@crru.ac.th

*Krittika Kantawong
School of Information and Communication technology University of Phayao,
19 Mae Ka Mueang Phayao Phayao,
Thailand, 56000
email: krittika.ka@up.ac.th

Mayoon Yaibuates
School of Computer and Information Technology, Chiangrai Rajabhat University
80 M.9 Bandu Mueang Chiangrai
Thailand, 57100
email: mayoon.yai@crru.ac.th

Pumipong Duangtang
School of Computer and Information Technology, Chiangrai Rajabhat University
80 M.9 Bandu Mueang Chiangrai
Thailand, 57100
email : pumipong@crru.ac.th

Kittakorn Sriwanna
School of Computer and Information Technology, Chiangrai Rajabhat University
80 M.9 Bandu Mueang Chiangrai
Thailand, 57100
email: kittakorn.sri@crru.ac.th

Atikhom Siri
School of Computer and Information Technology, Chiangrai Rajabhat University
80 M.9 Bandu Mueang Chiangrai
Thailand, 57100
email : atikhom.s@gmail.com

***Abstract*— The moisture content of paddy is an important indicator of the price of paddy. Therefore, reducing humidity is necessary and costly to invest by farmers themselves. The dehydration of rice paddy is currently available as a community cooperative service such as hot air blowing and natural drying methods. The operation problems of cooperative services encountered are resource management of blowing machines and management of paddy drying area effectively. In this paper, we present a Hidden Markov Model of a decision in more efficient use of those services. The experimental results of discrete event simulations show that the proposed model can efficiently improve resource utilization and can achieve the needs of farmers as well.**

Keywords*— *Hidden Markov Model, Resource Utilization, Dehydration Rice Paddy, Community Cooperatives

I. INTRODUCTION

Paddy is an important agricultural commodity in Thailand. The quality of paddy depends on harvesting and storage methods. The measure of paddy quality used to determine the price of paddy was moisture content. Usually, its humidity should not exceed 15%. The moisture content of the paddy after harvest is between 20 - 25% [1], thus those paddies must reduce moisture with dehydration processes such as hot air blowing or natural drying, etc. Both methods of dehydration in paddy have operational costs such as machine operation and a wide area for drying paddy. Therefore, the community has been encouraged to provide machines for drying paddy and areas for drying rice to serve the local farmers. These services, of course, are in cooperative operations that are not for profit but are focused on providing the services to groups of farmers in order to use the services as efficiently as possible. In this work, we present a model for managing the community service of paddy dehydration in order to cost-effective the use of the machinery and the drying area.

As mentioned above, the dehumidification process involves high investment and high operating costs as well. The government agency has a policy to helps farmers [2] in the form of local services to increase the quality of life of those farmers with reducing the cost of agricultural products. One of the important processes after rice harvesting is to reduce the moisture content of paddy. A community cooperative [3] supports them in reducing the investment cost of machinery. In the past, many communities encountered problems with inefficient resource management, which had a negative effect on farmers and communities. There are works [4,5] that present efficient management of resources and services on computer processing systems with resource allocation techniques [6] such as static [7], and dynamic [8]. The previous work [9] reviewed many techniques for solving scheduling problems. Those techniques can be divided into three groups: heuristic [10], metaheuristic [11-13], and statistical model [14]. A heuristic technique is a fast and effective to achieve the solution of problem, even if it cannot attain the optimal solution. A metaheuristic method is generally better than heuristic in obtaining the solution, but its performance on average is slower computationally than heuristic method. The use of heuristic and metaheuristic techniques is presented to improve the resource utilization and optimizing efficient resource management. A statistical approach is another one efficient approach, including, queueing [15], Markov model [16], and Hidden Markov model [17]. HMM is based on the complementary Markov chain. The Markov chain is a pattern of the probability in transiting state for a sequence of random variables. Improving resource utilization problem in this work was applied by HMM for forecasting the amount of rice paddy of farmers in dehumidification service and the proposed technique used to forecast the amount of sunlight affecting the temperature of rice drying of the community cooperative.

The remainder of this work is structured as follows. Section 2 presents the research methodology, including the resource model, Hidden Markov model, cost model, and the proposed algorithm. In Section 3, the experimental results and the discussion of the results are presented. This section consists of the parameters set and the numerical results of the experiment with the discrete-event simulation. The conclusion of the work is presented in section 4.

* Corresponding author: Krittika Kantawong
Email: krittika.ka@up.ac.th

II. Research Method

In this section, we present a service model, capability model, and Hidden Markov model, evaluation model of resources utilization and problem formulation.

A. Resouces Capacity Model

The process time of paddy dehydration can be estimates the dehydration time (DT) of rice paddy with moisture content (M) and volume (V). In addition to the hot air blowing service that the community cooperative is already provide for local framer, they also have an alternative service of hydration process from a natural drying by sunlight. The model of this process can be calculated as follows.

B. Hidden Markov Model

In this study, a probabilistic model of daily weather conditions, affecting the amount of sunlight, was defined from a Hidden Markov model. Let W be a set of state, $W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ representing a type of weather. The state transition from w_i to w_j with a probability denoted by p_{ij}. The transition matrix of probability p_{ij} presented in Table 1. The probability matrix corresponds to discrete probability distribution condition on each row is defined as $\sum_{j \in W} p_{ij} = 1$, $\forall i \in W$. The equilibrium probability of each weather state can be defined by $\pi = \pi P$, where π is the initial weather state vector andP is the transition probability matrix, consisting of elements p_{ij}. Next, let L be the observations state, $L = \{l_1, l_2, \dots, l_m\}$, represents the probability of sunlight on each day, it depends on the weather state. Thus, the emission probability can be defined as Q, where $Q = (q_{ij}), \forall j \in L$.

TABLE I. PROBABILITY OF HIDDEN STATE TRANSITION

Current State (Time: T)	Probability of changing state (Time: T+1)		
	S_1	S_2	S_3
S_1	p_{11}	p_{12}	p_{13}
S_2	...	...	...
S_3	p_{31}	...	p_{33}

In Table 1, the probability of changing the hidden state of the Markov model is shown. These state changes affecting the probabilities of the observed variables are presented in Table 2.

TABLE II. PROBABILITY OF OBSERVED VARIABLES TRANSITION

Hidden State	Probability of observed variables		
	O_1	O_2	O_3
S_1	p_{11}^o	p_{12}^o	p_{13}^o
S_2	...	...	...
S_3	p_{31}^o	...	p_{33}^o

In Eq. 1, the probability of the observations sequence at any time t, $P(s_1^1, s_2^2, \dots, s_n^t)$ is given.

$$P(s_1^1, s_2^2, \dots, s_n^t) = \sum_{i=0}^{n-1} \alpha_{t-1}(x_i) \tag{1}$$

$$\alpha_t(x_i) = \begin{cases} \sum_{j=0}^{n-1} \alpha_{t-1}(x_j) P(x_i | x_j) P(Y^t | x_i) & if\ t > 1 \\ \pi_i P(Y^t | x_i) & otherwise \end{cases} \tag{2}$$

The probability of the observations sequence in Eq 1 and 2 can be implemented in the form of dynamic programming as shown in Algorithm 1 called forward algorithm.

Algorithm 1 Forward Algorithm

Require: $n \geq 0$
Ensure: $\alpha_t(x_i)$
1: **for** $t \leftarrow 0$ to $Time$ **do**
2: **for** $i \leftarrow 0$ to $WeatherState$ **do**
3: **if** $t = 0$ **then**
4: $\alpha_t(x_i) \leftarrow \pi_i * P(Y^t, x_i)$
5: **else**
6: **for** $j \leftarrow 1$ to $WeatherState$ **do**
7: $\alpha_t(x_i) \leftarrow \alpha_{t-1}(x_j) * P(x_i, x_j) * P(Y^t, x_i)$
8: **end for**
9: **end if**
10: **end for**
11: **end for**

Algorithm 2 Scheduling Algorithm

Require: F, V
Ensure: c_{f_i}, t_{f_i}
1: **for** $t \leftarrow 0$ to $Time$ **do**
2: **if** $V_t + v_{f_i} \geq V_{cap}$ **then**
3: $vm_{f_i} = v_{f_i} - cap_m$
4: $vs_{f_i} = (v_{f_i} - vm_{f_i}) - cap_s$
5: **end if**
6: c_{f_i} (Compute service cost)
7: $ds = vs_{f_i}/cap_s$
8: $P_t \leftarrow Algorithm1(ds)$
9: **if** $P_t > \theta$ **then**
10: $ds += day$
11: **end if**
12: $t_{f_i} = vm_{f_i}/cap_m + ds$(Compute service time)
13: **end for**

In Algorithm 2, the service cost and the service time are calculated for cooperative dehydration service. The algorithm obtains a group of farmers in set F and the amount of paddy of each farmer in set V. The amount of paddy v_{f_i} of farmers f_i who came in for service on day t will be added to the remining volume of day V_t. In case the total volume exceeds the daily serviceable V_{cap}, they are divided into two groups: 1) the first part with volume vm_{f_i} was dried in a hot air blowing, and 2) the residual volume vs_{f_i} was dried in the sun. Neutral drying is required to calculate the delivery date d_s. Given that the delivery date is calculated with a hidden markov probability model, the amount of sunlight on the current day and the following day continues. Unstable weather of the next day depends on current weather conditions. This probability is used to calculate the amount of time of delivery. Then the cost of the service is calculated c_{f_i} and the time of service is equal to t_{f_i}.

C. Cost Model

The services of community cooperatives consisted of 1) hot air dryer service with n dryer machines, each machine capable of handling the amount of paddy v_m tons per hour with a charge of C_m per hour, and 2) service of a paddy drying area of A square meter for paddy volume v_s valued with a charge of C_s per hour.

$$C_{Total} = \sum_{i \in F} (C_m h_{m} + C_s d_s)_i \qquad (3)$$

Farmer groups are defined with a set $F = \{f_1, f_2, \ldots, f_n\}$ where each farmer has the amount of rice v_{fi} for the drying services with the number of hours in use of the machine is equal to h_m, and the number of days in service is equal to d_s. Therefore, the total income of cooperative can be obtained from (3).

III. Results and Discussion

In this section, we present experimental parameters setting, experimental results, and result discussion. We also apply a discrete-event simulation to test the performance of models and algorithms proposed. The parameter settings used in this experiment are shown in the next section.

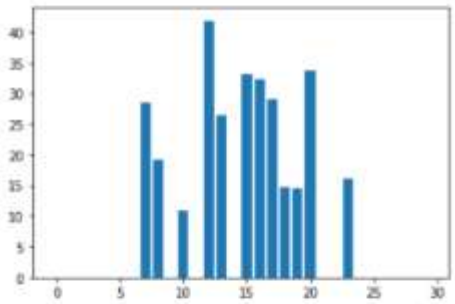


Fig. 1. Rice paddy volume (y-axis: tons) each day (x-axis: day) of farmers

A. Experimental Setting

The amount of rice paddy during 30 days of farmers that get dehumidification service of community cooperatives is shown in Figure 1. Those data were synthesized with a normal distributed at an average of 15.0 tons and a standard deviation of 3.0. We have set the parameters of the dehumidification capacity of the machine at 14 tons per day and the sun drying at 5 tons per day.

$$Weather\ State\ (Hidden) = \begin{bmatrix} 0.50 & 0.30 & 0.20 \\ 0.10 & 0.45 & 0.45 \\ 0.45 & 0.10 & 0.45 \end{bmatrix}$$

$$Temperature\ Variable\ (Observed) = \begin{bmatrix} 0.80 & 0.20 \\ 0.50 & 0.50 \\ 0.05 & 0.95 \end{bmatrix}$$

The parameters for the probability of weather state change are clear sky(s_1) cloud(s_2) and rainy(s_3) The consequences of state transition affecting temperature are expressed in observed variables.

B. Experimental Results

The preliminary results of the community cooperative service management model were verified with the discrete system simulation. However, we have set the parameters initially. In the case of general use, those parameters are necessary to adjust to be close to the real environment.

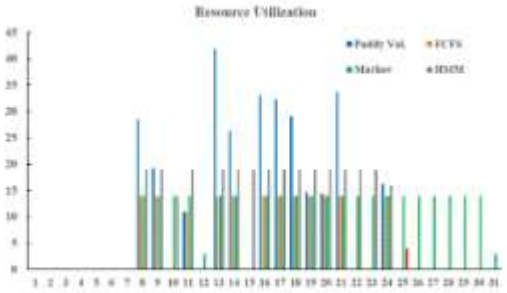


Fig. 2. Resouce utilization comparision

From the data synthesized from the mathematical model, the results shown in Figure 2. The experimental results, comparing the proposed methods with the FCFS model, showed that community service management with Markov and HMM decision-making was 32.12% more resource-efficient than FCFS. In the case of adding a decision-making with the HMM, the throughput of the dehumidification service can be increased by 19.58%. However, there is no difference in service fee since it is calculated according to the volume of paddy that has been served.

IV. Conclusion

The dehydration of rice paddy service in community cooperatives is an important service for farmers at the local level of the country. In many cooperatives, the lack of management of those services will lead to problems in the inefficient use of resources, which will disadvantage cooperatives and farmers. In this work, we proposed a Hidden Markov model for improving the efficiency of cooperative dehydration services. The preliminary numerical results show that the proposed model can increase resource utilization by 32 % and service throughput by 19%.

In the future, we will obtain real-world data in the local community to adjust these parameters that influence decision-making. Moreover, the key point of development is the application of the proposed model to the related fields to get benefits that can be useful in solving the problem.

Acknowledgment

This research was supported by the School of Information and Communication technology, University of Phayao, and School of Computer and Information Technology, Chiangrai Rajabhat University.

References

[1] W. Roedprapat, A. Nathakarnnakule, W. Tia and S. Soponronnarit, "Comparative study of fluidized bed paddy drying using hot air and superheated steam," *Journal of Food Engineering*, vol. 71, p. 28–36, 2005.

[2] N. Sangbuapuan, "ICT policies influencing development of rice farming in Thailand: a case study of the community rice center of the rice department," *International Journal of Innovation, Management and Technology*, vol. 3, pp. 763-768, 2012.

[3] K. Hagedorn, "Natural resource management: the role of cooperative institutions and governance," *Journal of Entrepreneurial and Organizational Diversity*, vol. 2, p. 101–121, 2013.

[4] K. Madani and A. Dinar, "Cooperative institutions for sustainable common pool resource management: Application to groundwater," *Water Resources Research*, vol. 48, 2012.

[5] M. Cox, G. Arnold and S. V. Tomás, "A review of design principles for community-based natural resource management," *Ecology and Society*, vol. 15, 2010.

[6] R. Buyya, "Economic-based distributed resource management and scheduling for grid computing," arXiv preprint cs/0204048, 2002.

[7] K. Singh, M. Alam and S. K. Sharma, "A survey of static scheduling algorithm for distributed computing system," *International Journal of Computer Applications*, vol. 129, p. 25–30, 2015.

[8] Q. Huang, K. Shuang, P. Xu, J. Li, X. Liu and S. Su, "Prediction-based dynamic resource scheduling for virtualized cloud systems," *Journal of Networks*, vol. 9, p. 375, 2014.

[9] S. Singh and I. Chana, "A survey on resource scheduling in cloud computing: Issues and challenges," *Journal of grid computing*, vol. 14, p. 217–264, 2016.

[10] M. B. Gawali and S. K. Shinde, "Task scheduling and resource allocation in cloud computing using a heuristic approach," *Journal of Cloud Computing*, vol. 7, p. 1–16, 2018.

[11] M. Kalra and S. Singh, "A review of metaheuristic scheduling techniques in cloud computing," *Egyptian informatics journal*, vol. 16, p. 275–295, 2015.

[12] M. Shojafar, S. Javanmardi, S. Abolfazli and N. Cordeschi, "FUGE: A joint meta-heuristic approach to cloud job scheduling algorithm using fuzzy theory and a genetic method," *Cluster Computing*, vol. 18, p. 829–844, 2015.

[13] G. B. Bindu, K. Ramani and C. S. Bindu, "Optimized resource scheduling using the meta heuristic algorithm in cloud computing," *IAENG International Journal of Computer Science*, vol. 47, p. 360–366, 2020.

[14] V. Krishnamurthy, "Algorithms for optimal scheduling and management of hidden Markov model sensors," *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 50, p. 1382–1397, 2002.

[15] J. Wu, B. Chen, D. Wu, J. Wang, X. Peng and X. Xu, "Optimization of Markov Queuing Model in Hospital Bed Resource Allocation," *Journal of Healthcare Engineering*, vol. 2020, 2020.

[16] Z. Han, H. Tan, G. Chen, R. Wang, Y. Chen and F. C. M. Lau, "Dynamic virtual machine management via approximate markov decision process," *in IEEE INFOCOM 2016-The 35th Annual IEEE International Conference on Computer Communications*, 2016.

[17] I. Sassi, S. Anter and A. Bekkhoucha, "A graph-based big data optimization approach using hidden Markov model and constraint satisfaction problem," *Journal of Big Data*, vol. 8, p. 1–29, 2021.

ปีที่ 7 ฉบับที่ 4 ตุลาคม - ธันวาคม 2567
Volume. 7 Issue. 4 October - December 2024 | 63

หอปรัชญารัชกาลที่ 9 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายบนโลกจักรวาลนฤมิต

KING RAMA 9 PHILOSOPHY HALL CHIANG RAI RAJABHAT UNIVERSITY ON THE METAVERSE

ภูมิพงษ์ ดวงตั้ง[1] อธิคม ศิริ[2] และ อัญชลี ทิพย์โยธิน[3]

Pumipong Duangtang, Atikhom Siri and Anchalee Thipyothin

Article History

Received: 17-06-2024; Revised: 13-11-2024; Accepted: 22-11-2024

https://doi.org/10.14456/issc.2024.62

บทคัดย่อ

หอปรัชญารัชกาลที่ 9 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายบนโลกจักรวาลนฤมิตเป็นการสื่อดิจิทัลนวัตกรรมการท่องเที่ยวสมัยใหม่เพื่อการเข้าเยี่ยมชมสถานที่ในรูปแบบของโลกเสมือนจริงโดยผ่านแพลตฟอร์ม Metaverse spatial โดยคณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาข้อมูลและองค์ความรู้ที่จำเป็นต่อการพัฒนาหอปรัชญารัชกาลที่ 9 บนโลกจักรวาลนฤมิต โดยขั้นตอนการดำเนินการวิจัยเริ่มจากการสร้างโครงสร้างอาคาร 3 มิติ โดยออกแบบจากแบบแปลนอาคารจริงทั้งภายในและภายนอกหลังจากนั้นทำการออกแบบฐานข้อมูลเพื่อเก็บสำรองข้อมูลโครงสร้าง 3 มิติของอาคารหอปรัชญารัชกาลที่ 9 และออกแบบระบบเพื่อรองรับการอัปโหลดข้อมูลขนาดใหญ่เข้าสู่แพลตฟอร์ม Metaverse spatial เพื่อเผยแพร่ให้สามารถเข้าใช้งานเพื่อเข้าเยี่ยมชมผ่านแพลตฟอร์มบนโลกออนไลน์ เมื่อดำเนินการวิจัยและพัฒนาเรียบร้อยได้นำไปให้กลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง จากกลุ่มตัวอย่าง 50 พบว่าความพึงพอใจในระดับมากที่สุดอยู่ 4 ด้าน คือด้านการออกแบบและความสวยงาม ด้านการใช้งานและความทันสมัย ด้านความพร้อมของระบบ และด้านประโยชน์ที่ได้รับ มีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจเท่ากับ 4.66 4.7 4.76 และ 4.72 ตามลำดับ และความพึงพอใจในด้านการความสมบูรณ์ครบองค์ประกอบของสถานที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.48 อยู่ในระดับพึงพอใจมาก จากการประเมินความพึงพอใจหอปรัชญารัชกาลที่ 9 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายบนโลกจักรวาลนฤมิตโดยรวมพบว่าอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.66

คำสำคัญ: จักรวาลนฤมิตร; หอปรัชญารัชกาลที่ 9

---

[1]ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ดร., คณะเทคโนโลยีดิจิทัล มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
Asst. Prof., Ph.D, Faculty of Digital Technology, Chiang Rai Rajabhat University
Email: pumipong@crru.ac.th *Corresponding author
[2,3]อาจารย์, คณะเทคโนโลยีดิจิทัล มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
Lecture, Faculty of Digital Technology, Chiang Rai Rajabhat University

64 | ปีที่ 7 ฉบับที่ 4 ตุลาคม - ธันวาคม 2567
Volume. 7 Issue. 4 October - December 2024

ABSTRACT

The King Rama IX Philosophy Hall at Chiang Rai Rajabhat University on the Metaverse is a digital media innovation for modern tourism for visiting places in the form of a virtual world through the Metaverse spatial platform. The research team has studied the data and knowledge necessary for the development of the King Rama IX Philosophy Hall on the Metaverse. The research process starts with the creation of a 3D building structure by designing from real building plans both inside and outside. Then, the database is designed to store the 3D structure data of the King Rama IX Philosophy Hall and the system is designed to support the uploading of large data into the Metaverse spatial platform to be published for access to visit via the online platform. After the research and development are complete, it is brought to a specific sample group. From a sample group of 50, it was found that the highest level of satisfaction is in 4 aspects: design and beauty, usability and modernity, system readiness, and benefits received. The average satisfaction is 4.66, 4.7, 4.76, and 4.72, respectively. The satisfaction in terms of the completeness of the components of the place has an average of 4.48, which is very satisfied. From the evaluation of satisfaction of the King Rama IX Philosophy Hall at Chiang Rai Rajabhat University on the Metaverse, it was found that it was at the highest level, with an average value of 4.66.

Keywords: Metaverse; King Rama 9 Philosophy Hall

1. บทนำ

หอปรัชญารัชกาลที่ 9 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายได้ถูกสร้างขึ้นและเปิดอาคารให้ประชาชนทั่วไปทั้งภาครัฐและเอกชนได้เข้าชมในวันที่ 12 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2561 ตั้งอยู่ภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย โดยวัตถุประสงค์ในการก่อสร้างเพื่อเป็นสถานที่น้อมรำลึกถึงพระมหากรุณาธิคุณของพระบาทสมเด็จพระบรมชนกาธิเบศร มหาภูมิพลอดุลยเดชมหาราช บรมนาถบพิตรที่ได้ทรงมีต่อพสกนิกรประชาชนชาวไทย ซึ่งทำการจัดแสดงนิทรรศการถึงพระราชกรณียกิจภายใต้โครงการพระราชดำริต่างๆ ที่มีคุณค่าต่อการศึกษาเพื่อเป็นแนวทางในการดำเนินชีวิตของปวงชนชาวไทยและประชาชนทั่วโลก หอปรัชญารัชกาลที่ 9 จึงเป็นสถานที่ที่จัดสร้างขึ้นเพื่อเป็นแหล่งเผยแพร่และศึกษาเรียนรู้พระราชกรณียกิจพระมหากรุณาธิคุณของพระบาทสมเด็จพระบรมชนกาธิเบศร มหาภูมิพลอดุลยเดชมหาราช บรมนาถบพิตร ในหลวงรัชกาลที่ 9 ภายใต้ "ศาสตร์พระราชา"ให้กับนักเรียน นักศึกษา และประชาชนได้เรียนรู้หลักการทรงงานในโครงการพระราชดำริอย่างเป็นรูปธรรม นอกจากหอปรัชญารัชกาลที่ 9 ได้จัดสร้างเพื่อเป็นอนุสรณ์สถานครบรอบ 40 ปีการก่อตั้งมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายในปี พ.ศ. 2557 โดยได้มีการจัดแสดงประวัติการก่อตั้งมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายเพื่อการผลิตบัณฑิตที่มีคุณภาพและการบริการชุมชน สังคม และท้องถิ่น ในฐานะ "รากแก้วของแผ่นดิน" โดยนำเอาแนวพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระบรมชนกาธิเบศร มหาภูมิพลอดุลยเดชมหาราช บรมนาถบพิตร มาเป็นแนวทาง หอปรัชญารัชกาลที่ 9 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายมีรูปแบบการจัดสร้างในลักษณะพิพิธภัณฑ์ที่มีชีวิต ประกอบไปด้วยห้องจัดนิทรรศการแบบถาวรและห้องนิทรรศการหมุนเวียนที่เกี่ยวกับพระราชกรณียกิจและโครงการในพระราชดำริ และห้องประวัติการก่อตั้งมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน โดยสมเด็จพระกนิษฐาธิราชเจ้ากรมสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารีได้เสด็จพระราชดำเนินทรงวางศิลาฤกษ์ เมื่อวันที่ 2 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2558 และ เสด็จพระราชดำเนินเปิดอาคารหอปรัชญารัชกาลที่ 9 เมื่อวันที่ 12 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2561 นับตั้งแต่หอปรัชญารัชกาลที่ 9 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายได้เปิดให้นักเรียน นักศึกษา ประชาชนทั่วไปและตลอดจนหน่วยงานภาค

รัฐและเอกชนเข้าเยี่ยมชม ซึ่งได้รับความสนใจในการติดต่อในการเข้าเยี่ยมชมหอปรัชญาวิชกาลที่ 9 อย่างต่อเนื่องตลอดปี จึงถึงได้ว่าหอปรัชญาวิชกาลที่ 9 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายเป็นอีกสถานที่ท่องเที่ยวที่สำคัญอีกแห่งหนึ่งของจังหวัดเชียงราย จากการที่หอปรัชญาวิชกาลที่ 9 ได้รับความสนใจในการขอเข้าเยี่ยมชมจำนวนมากนั้นทำให้มีการจองคิวเพื่อขอเข้าชมมีจำนวนมากซึ่งส่วนใหญ่จะขอเข้ามาในรูปแบบหมู่คณะ โดยทางหอปรัชญาวิชกาลที่ 9 ได้จัดทีมวิทยากรประกอบการนำเยี่ยมชมและแนะนำในส่วนต่างๆ เพื่อให้ทราบถึงข้อมูลของนิทรรศการในส่วนต่างๆ

เทคโนโลยีดิจิทัลได้เข้ามามีบทบาทในการดำเนินชีวิตของคนในโลกยุคปัจจุบันนี้ อีกทั้งอุปกรณ์เทคโนโลยีดิจิทัลที่เปิดโอกาสให้คนทั่วโลกเข้าถึงข้อมูลผ่านระบบอินเตอร์เน็ตแบบไร้พรมแดน ผ่านอุปกรณ์ทางเทคโนโลยีดิจิทัลสมัยใหม่ ทำให้วิถีชีวิต และพฤติกรรมของมนุษย์เปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก ทั้งการเข้าถึงข้อมูลต่างๆ การติดต่อสื่อสาร การดำเนินงานทางด้านธุรกิจ การเผยแพร่ข้อมูล การแลกเปลี่ยนข้อมูล การทำธุรกรรมต่าง ๆ เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล โทรศัพท์มือถือสมาร์ทโฟน จึงเป็นสิ่งสำคัญ รวมถึงภาครัฐและภาคเอกชนในแต่ละประเทศได้ให้ความสำคัญในการใช้สื่อเทคโนโลยีซึ่งทำให้โลกในยุคปัจจุบันเปลี่ยนแปลงไปสู่ยุคดิจิทัลอย่างรวดเร็ว และสามารถนำมาให้บริการด้านธุรกิจต่าง ๆ ได้อย่างหลากหลาย (สถาพร เกียรติพิริยะ และคณะ, 2563) ในช่วงวิกฤตการระบาดของโรค Covid 19 ที่ผ่านมานั้นพบว่าผลกระทบในการดำเนินการในด้านต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นภาครัฐหรือเอกชน โดยเฉพาะด้านผู้ประกอบการธุรกิจด้านการท่องเที่ยวได้รับผลกระทบเป็นอย่างมากเนื่องจากมีการปิดกั้นและจำกัดการเข้าพื้นที่ท่องเที่ยวทั้งหมด จึงทำให้เกิดการนำสื่อสังคมออนไลน์มาเพื่อใช้สำหรับเพิ่มช่องทางในการเข้าถึงแหล่งท่องเที่ยวการประยุกต์ใช้สื่อสังคมออนไลน์จึงเข้ามามีบทบาทที่สำคัญอย่างยิ่งภายใต้วิกฤตการดังกล่าว (ปิยพงศ์ เผ่าวณิช และคณะ, 2566)ดังนั้นการนำเทคโนโลยีสมัยใหม่ที่ทันสมัยมาพัฒนารูปแบบการเข้าเยี่ยมชมสถานที่สำคัญต่างๆ เพื่อรองรับการเข้าถึงได้ง่าย สะดวก รวดเร็ว และสามารถเข้าถึงได้จากทุกที่แห่งจึงเป็นอีกช่องทางที่น่าสนใจในการพัฒนาและนำมาใช้แบบคู่ขนานภายใต้โลกเสมือนจริง (วรรณศิลป์ ภู่เล่นไส และคณะ, 2560) จักรวาลนฤมิต (metaverse) เป็นการผสานเทคโนโลยีแห่งโลกเสมือนที่ทำการออกแบบและสร้างสิ่งแวดล้อมของโลกจริง ๆ และเทคโนโลยีเข้าด้วยกัน เพื่อให้ผู้คนเข้ามามีปฏิสัมพันธ์และทำกิจกรรมร่วมกัน ผ่านตัวตนที่เป็นอวตาร (avatar) ในรูปแบบกราฟิก 3 มิติ สำหรับการทำกิจกรรมต่าง ๆ ทำให้รู้สึกเหมือนชีวิตจริง (วริน ระวิวงศ์, 2565) จักรวาลนฤมิตคือแนวคิดจากการสร้างโลกเสมือนจริงหรือโลกกายภาพเพื่อไปฝากไว้บนเครือข่ายอินเตอร์เน็ตในรูปแบบดิจิทัลมีการสร้างตัวตนจำลองที่สามารถมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้ใช้งานและโลกเสมือนจริงที่ถูกสร้างขึ้นมาโดยผ่านแพลตฟอร์มให้บริการบนโลกออนไลน์อย่างไร้พรมแดน ซึ่งผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงโดยผ่านอุปกรณ์มือถือ แทปเลต คอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์สื่อสารที่เชื่อมต่อผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต จักรวาลนฤมิตเป็นเทคโนโลยีโลกเสมือนจริงที่ได้กลายมาเป็นเทคโนโลยีในโลกอนาคต จากการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ทางด้านโครงสร้างทางสังคมและความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีมีส่วนทำให้การใช้ชีวิตประจำวันของมนุษย์เปลี่ยนแปลงไป และการก้าวเข้าสู่ยุคดิจิทัล 4.0 เป็นยุคที่มีการนำเทคโนโลยีเข้ามาใช้ชีวิตผูกติดกับเทคโนโลยีดิจิทัล เช่น การใช้อินเทอร์เน็ตซื้อขายออนไลน์ เป็นต้น (นิคม กงนะ และคณะ, 2566) ความสนใจในการนำเทคโนโลยีโลกเสมือนจริงมาพัฒนาแพลตฟอร์มสำหรับการท่องเที่ยวในยุคดิจิทัล การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของนักท่องเที่ยวเทคโนโลยีจึงกลายมาเป็นตัวกลางที่สำคัญสำหรับในการเชื่อมโยงระหว่างนักท่องเที่ยวเข้าถึงแหล่งข้อมูลการท่องเที่ยวได้โดยตรงรวดเร็ว เทคโนโลยีจึงมีส่วนในการตัดสินใจดำเนินการวางแผนการท่องเที่ยวด้วยตนเองมากขึ้น โดยกลุ่มนักท่องเที่ยวชาวไทยและชาวต่างชาติเลือกที่พักผ่านการสืบค้นข้อมูลที่มีการเผยแพร่ทางอินเทอร์เน็ตประกอบการตัดสินใจ (ภัทรา เวชสวรรค์ และคณะ, 2564) นอกจากนี้การเลือกสถานที่ท่องเที่ยวยังได้รับแรงจูงใจจากคำแนะนำผ่านทางโซเชียลมีเดียให้กับนักท่องเที่ยวในยุคดิจิทัลให้ไปเยือนยังสถานที่นั้นๆ โดยนักท่องเที่ยวในยุคดิจิทัลยังต้องการความเรียบง่าย ที่เน้นความสะดวกสบาย ประกอบกับต้องการความปลอดภัยในเรื่องการทำธุรกรรมทางการเงินผ่านระบบมือถือด้วย ในปัจจุบันการนำเทคโนโลยีโลกเสมือนจริงมาพัฒนาช่องทางในการส่งเสริมการท่องเที่ยวเริ่มได้รับความนิยมโดยมีจังหวัดตากได้มีการใช้เทคโนโลยีเสมือนจริงมาทำการส่งเสริมและกระตุ้นการท่องเที่ยวของจังหวัดตาก (วันชนะ จูบรรจง และคณะ, 2564) และยังมีการนำเทคโนโลยีภาพเสมือนมาพัฒนาเพื่อส่งเสริมเส้นทางการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมจากอำเภอ

เมืองถึงอำเภอแม่สอด จังหวัดตากอีกด้วย (จักรพันธ์ วงศ์ฤกษ์ดี และคณะ, 2563) และชุมชนรอบปราสาทปรางค์กู่ จังหวัดศรีสะเกษ ได้มีการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันการท่องเที่ยวด้วยเทคโนโลยีเสมือนจริงเพื่อนำร่องการท่องเที่ยวผ่านโลกเสมือนจริงซึ่งทำการออกแบบระบบโดยใช้ คำสั่งภาษา HTML, CSS, BOOTSTRAP, PHP ในการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน และใช้ UNITY, C# สำหรับการสร้างภาพเทคโนโลยีเสมือนจริง (ไอปอ กลับสกุล, 2566) และการนำเสนอในรูปแบบ 3มิติ ถือได้ว่าเป็นเทคโนโลยีที่สำคัญและจำเป็นสำหรับการออกแบบการนำเสนอในรูปแบบของโลกเสมือนจริงหรือจักรวาลนฤมิตร โดยการรออกแบบด้วยภาพเคลื่อนไหวเปรียบเสมือนการจำลองสภาพแวดล้อมเหตุการณ์ หรือบรรยากาศที่คลายความจริงมากที่สุด และสร้างความกลมกลืนได้มากกว่างานออกแบบด้วยภาพวาดหรือภาพ 3 มิติ (วุฒิไกร พิมพชันธ์ และคณะ, 2564)

หอปรัชญาวัชกาลที่ 9 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายถือได้ว่าเป็นแหล่งเรียนรู้เชิงท่องเที่ยวที่ผ่านได้รับความสนใจต่อการเข้าเยี่ยมชมเป็นจำนวนมากต่อเนื่องตลอดทั้งปี การเพิ่มช่องทางการเข้าเยี่ยมชมนิทรรศการต่างๆ ภายในหอปรัชญาวัชกาลที่ 9 จึงเป็นหนึ่งแนวคิดเพื่อรองรับการบริการสำหรับการเข้าเยี่ยมชมโดยการนำเทคโนโลยีที่กำลังเป็นที่ได้รับความสนใจมาลสร้างนวัตกรรมเพื่อเป็นทางเลือกสำหรับการเข้าเยี่ยมชมหอปรัชญาวัชกาลที่ 9 โลกเสมือนจริงจึงเป็นอีกทางเลือกที่น่าสนใจในการพัฒนาช่องทางสำหรับการเข้าเยี่ยมชมหอปรัชญาวัชกาลที่ 9 ในรูปแบบออนไลน์ โดยการสร้างหอปรัชญาวัชกาลที่ 9 ในรูปแบบโมเดลสามมิติที่สามารถเข้าชมได้เสมือนเข้าอยู่ในสถานที่จริงอีกทั้งยังสามารถเข้าชมได้จากทุกที่ทุกแห่งจากทั่วมุมโลก อีกทั้งยังเป็นการนำเสนอหอปรัชญาวัชกาลที่ 9 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ภายใต้เทคโนโลยีที่ทันสมัย คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาหอปรัชญาวัชกาลที่ 9 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายบนโลกเสมือนจักรวาลนฤมิตเพื่อรองรับการเข้าใช้อย่างทั่วถึงผ่านบริการบนโลกออนไลน์

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อออกแบบและพัฒนาสร้างสรรค์สื่อดิจิทัลนวัตกรรมการท่องเที่ยว หอปรัชญาวัชกาลที่ 9 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายบนโลกจักรวาลนฤมิต
2. เพื่อศึกษาความพึงพอใจที่มีต่อหอปรัชญาวัชกาลที่ 9 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายบนโลกจักรวาลนฤมิต

3. การทบทวนวรรณกรรม

ในการดำเนินงานวิจัยคณะผู้วิจัยได้ทำการทบทวนนวัตกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่มีความจำเป็นต่อการวิจัยเพื่อให้งานวิจัยบรรลุตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้

จิตรนันท์ ศรีเจริญ และคณะ (2562) ได้ทำการพัฒนาแอปพลิเคชันส่งเสริมการท่องเที่ยว 8 แหล่งท่องเที่ยวที่ต้องไป ในจังหวัดเพชรบูรณ์ ด้วยเทคโนโลยีเสมือนจริง และศึกษาความพึงพอใจของนักท่องเที่ยวที่มีต่อแอปพลิเคชัน ส่งเสริมการท่องเที่ยว 8 แหล่งท่องเที่ยวที่ต้องไปในจังหวัดเพชรบูรณ์ในรูปแบบเทคโนโลยีเสมือนจริง โดยกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ นักท่องเที่ยวคนไทยที่เข้ามาท่องเที่ยวในอำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ จำนวน 385 คน พบว่าผลการประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานแอปพลิเคชันส่งเสริมการท่องเที่ยว 8 แหล่งท่องเที่ยวที่ต้องไปในจังหวัดเพชรบูรณ์ในรูปแบบเทคโนโลยีเสมือนจริง ในภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$ = 4.43, S.D. = 0.64)

ธิดารัตน์ พิมพากรณ์ และคณะ (2565) ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการใช้อินเตอร์เน็ตและการรับรู้ข้อมูลการท่องเที่ยวจากสื่อดิจิทัลต่อความตั้งใจเดินทางท่องเที่ยวในบทบาทของความเชื่อมั่นในข้อมูลทางอินเตอร์เน็ต โดยทำการศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมการใช้อินเตอร์เน็ตต่อความตั้งใจในการเดินทางท่องเที่ยว การรับรู้ข้อมูลการท่องเที่ยวจากสื่อดิจิทัล และความเชื่อมั่นจากข้อมูลทางอินเตอร์เน็ตที่ส่งผลต่อพฤติกรรมการต่อความตั้งใจในการท่องเที่ยว จากการศึกษาพบว่าพฤติกรรมการใช้อินเตอร์เน็ตมีอิทธิพลเชิง

บวกต่อความตั้งใจในการเดินทางท่องเที่ยวและการรับรู้ข้อมูลการท่องเที่ยวจากสื่อดิจิทัลผ่านสังคมออนไลน์ของนักท่องเที่ยวมีผลต่อการตัดสินใจเลือกแหล่งท่องเที่ยวและการเดินทางของนักท่องเที่ยว

นิคม กงนะ และคณะ (2566) ได้นำแนวคิดการนำเมต้าเวิร์สมาบูรณาการการจัดการเรียนรู้และการขับเคลื่อนการศึกษาเพื่อยกระดับคุณภาพการเรียนรู้โดยใช้ประโยชน์จากเกมและเทคโนโลยีเสมือนจริง (Virtual reality) เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของแนวคิด เมตาเวิร์สเพื่อการศึกษา (Meta-Education) โดยเฉพาะเทคโนโลยีเสมือนจริงที่ปัจจุบันกำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้เรียนรู้จากการลองผิดลองถูกในโลกสมมุติโดย ไม่กระทบต่อโลกจริง แม้ว่าเทคโนโลยีจะช่วยให้ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ด้วยตนเองได้ง่ายขึ้นแต่ครูก็ยังมีความสำคัญไม่น้อยไปกว่าเดิม หากต้องปรับเปลี่ยนบทบาทจากผู้สอนกลายเป็นผู้แนะนำ พัฒนาตนเองให้มีความเชี่ยวชาญในการจัดการเรียนรู้ควบคู่กับทักษะทางเทคโนโลยี

นิติศักดิ์ เจริญรูป (2560) นำเสนอการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีความจริงเสริมสำหรับการนำเสนอข้อมูล วัดพระแก้ว จังหวัดเชียงรายผ่านแอพพลิเคชันเพื่อประยุกต์ใช้ความเป็นจริงเสริม (Augmented Reality : AR-Code) ในการนำเสนอข้อมูลแหล่งท่องเที่ยวบนสมาร์ทโฟนของวัดพระแก้วซึ่งเป็นแหล่งท่องเที่ยวที่สำคัญของจังหวัดเชียงรายให้กับนักท่องเที่ยวใน 2 รูปแบบ คือ การนำเสนอความเป็นจริงเสริมจากหนังสือเพื่อให้ผู้อ่านสามารถเห็นสถานที่ท่องเที่ยวจริงผ่านวิดีโอที่ออกแบบและสร้างขึ้นในรูปแบบ 3 ภาษา คือภาษาไทย ภาษาอังกฤษ และภาษาจีน โดยใช้การอ่านจากสัญลักษณ์จากหนังสือ และการเสนอความเป็นจริงเสริมจากภาพสถานที่จริง เพื่อให้นักท่องเที่ยวสามารถเข้าถึงข้อมูลประวัติและที่มาของวัดพระแก้ว รวมถึงข้อมูลศาสนสถานภายในวัดพระแก้ว ในรูปแบบการนำเสนอเป็นภาษาอังกฤษ เมื่อผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาแอพพลิเคชันเรียบร้อยแล้วได้นำไปทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 218 คน แบ่งเป็นคนไทย 124 คน คนจีน 27 คน และคนต่างชาติที่ใช้ภาษาอังกฤษในการสื่อสาร 67 คน พบว่าความพึงพอใจต่อการใช้งานแอพพลิเคชันโดยรวมมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก

พจน์ศิรินทร์ ลิมปินันทน์ (2562) ได้ทำการศึกษาและพัฒนาแอปพลิเคชัน AR มหาสารคามเพื่อส่งเสริมแหล่งท่องเที่ยวจังหวัดมหาสารคามโดยใช้เทคโนโลยีเสมือนจริง ประกอบไปด้วย 3 ส่วน ส่วนแรก Marker ในรูปแบบโปสการ์ดที่ระลึกประชาสัมพันธ์ข้อมูลท่องเที่ยวของแหล่งท่องเที่ยวจังหวัดมหาสารคามจำนวน 5 แห่ง คือพระธาตุนาดูน กู่สันตรัตน์ กู่บ้านเชวา พระยืนกันทรวิชัย (พระพุทธมงคล) และสะพานไม้แกดำ ส่วนที่สอง Model ในรูปแบบแอนิเมชัน 3 มิติเคลื่อนไหวแหล่งท่องเที่ยวจังหวัดมหาสารคาม 5 แห่ง ประกอบด้วยพระธาตุนาดูน กู่สันตรัตน์ กู่บ้านเชวา พระยืนกันทรวิชัย (พระพุทธมงคล) และสะพานไม้แกดำ และส่วนสุดท้าย แอปพลิเคชัน AR มหาสารคาม เมื่อดำเนินการพัฒนาเรียบร้อยได้นำไปให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินความเหมาะสมในด้านต่างๆ พบว่าผลการประเมินความเหมาะสมจากผู้เชี่ยวชาญโดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก และเมื่อนำไปให้ให้นักท่องเที่ยวเข้าใช้งานแล้วทำการประเมินความพึงพอใจพบว่านักท่องเที่ยวมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด

วันชนะ จูบรรจง และคณะ (2564) ทำการพัฒนาสื่อดิจิทัลที่นำเทคโนโลยีเสมือนจริงมาประยุกต์ใช้เพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวในจังหวัดตาก ทำการสร้างภาพจำลองหรือสภาพแวดล้อมสามมิติ โดยรวบรวมข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องพัฒนาสื่อดิจิทัลโดยใช้แอพพลิเคชั่น Unity และเครื่องมือเสมือนจริงที่ช่วยให้นักท่องเที่ยวทราบถึงรูปร่าง สัดส่วน และการแสดงผลเสมือนจริง จากนั้นนำสื่อดิจิทัลและข้อมูลของสถานที่ท่องเที่ยวมาแสดงรวมกันบนเว็บแอปพลิเคชัน หลังจากนั้นทำการประเมินความพึงพอใจซึ่งพบว่าผู้ใช้มีความพึงพอใจต่อสื่อดิจิทัลและเว็บแอปพลิเคชันในระดับมาก ($\bar{X}$ = 4.43, S.D. = 0.550)

โอปอ กลับสกุล (2566) ทำการพัฒนาและออกแบบเว็บแอปพลิเคชันการท่องเที่ยวด้วยเทคโนโลยีเสมือนจริง กรณีศึกษาชุมชนรอบปราสาทปรางค์กู่ จังหวัดศรีสะเกษ เมื่อทำการออกแบบและพัฒนาเรียบร้อยนำไปให้กลุ่มตัวอย่างทดลองใช้งานแล้วทำการให้กลุ่มตัวอย่างประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีต่อเว็บแอปพลิเคชันการท่องเที่ยวด้วยเทคโนโลยีเสมือนจริง กรณีศึกษาชุมชนรอบปราสาทปรางค์กู่ จังหวัดศรีสะเกษ โดยมีกลุ่มตัวอย่างเป็นนักท่องเที่ยวที่มาเยี่ยมชมในชุมชนรอบปราสาทปรางกู่ จังหวัดศรีสะเกษ จำนวน 132 คน ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วย แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง แบบประเมินประสิทธิภาพแบบสอบถาม

68 | ปีที่ 7 ฉบับที่ 4 ตุลาคม - ธันวาคม 2567
Volume. 7 Issue. 4 October - December 2024

และแบบประเมินประสิทธิภาพของผู้ใช้งานที่มีต่อเว็บแอปพลิเคชัน และผู้วิจัยได้ออกแบบระบบโดยใช้ คำสั่งภาษา HTML, CSS, BOOTSTRAP, PHP ในการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน และใช้ UNITY, C# ในการสร้างภาพเทคโนโลยีเสมือนจริง จากผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานพบว่า ด้านการใช้งานของผู้ใช้อยู่ในระดับมาก ($\overline{X}$ = 4.26, S.D. = 0.66) ด้านการออกแบบ อยู่ในระดับมาก ($\overline{X}$ = 4.26, S.D. = 0.66) และประสิทธิภาพของระบบอยู่ในระดับมาก ($\overline{X}$ = 4.22, S.D. = 0.63)

4. กรอบแนวคิดการวิจัย

ภาพที่ 1

กรอบแนวความคิดในการดำเนินการวิจัย

จากภาพที่ 1 แสดงกรอบแนวความคิดในการดำเนินงานวิจัย คณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและติดต่อประสานงานผู้รับผิดชอบและดูแลหอปรัชญาวัชกาลที่ 9 เพื่อขอข้อมูลเกี่ยวกับแบบแปลนของโครงสร้างอาคารทั้งภายในภายนอกเพื่อใช้ในการสร้างโครงสร้างของอาคารหอปรัชญาวัชกาลที่ 9 ในรูปแบบ 3 มิติที่มีขนาดอัตราส่วนของอาคารเป็นไปตามต้นแบบของอาคารจริง และเข้าเก็บข้อมูลรายละเอียดส่วนจัดแสดงและห้องจัดแสดงต่างๆ เพื่อนำมาสร้างส่วนจัดแสดงและห้องจัดนิทรรศการต่างๆ ในรูปแบบ 3 มิติ เมื่อทำการสร้างอาคารทั้งภายในและภายนอกเรียบร้อยจะได้โมเดล 3 มิติของหอปรัชญาวัชกาลที่ 9 หลังจากนั้นทำการอัปโหลดข้อมูลเข้าสู่ระบบฐานข้อมูลของมหาวิทยาลัยเพื่อทำการสำรองข้อมูลซึ่งมีขนาดข้อมูลโมเดล 3 มิติขนาดใหญ่หลังจากนั้นทำการนำโมเดล 3 มิติของหอปรัชญาวัชกาลที่ 9 อัปโหลดเข้าสู่แพลตฟอร์ม Metaverse เพื่อเผยแพร่และสามารถเข้าใช้งานผ่านแพลตฟอร์มเพื่อเข้าใช้งานหอปรัชญาวัชกาลที่ 9 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายบนโลกจักรวาลนฤมิต ให้กลุ่มตัวอย่างทดสอบการใช้งานและทำการประเมินระดับความพึงพอใจ

5. ระเบียบวิธีวิจัย

ในการดำเนินงานวิจัยการพัฒนาหอปรัชญาวัชกาลที่ 9 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายบนโลกจักรวาลนฤมิต เพื่อพัฒนาเป็นแหล่งเข้าถึงสถานที่ท่องเที่ยวด้านการศึกษาเรียนรู้ผ่านโลกไซเบียล โดยมีวิธีดำเนินการวิจัยดังต่อไปนี้

1. ทำการศึกษาหาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับหอปรัชญาวัชกาลที่ 9 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายคณะผู้วิจัยได้ดำเนินการลงพื้นที่เพื่อศึกษาทางด้านโครงสร้างและการจัดแสดงนิทรรศการต่างๆ ภายในหอปรัชญาวัชกาลที่ 9 เพื่อนำเป็นเป็นข้อมูลในการวางแผนการออกแบบในรูปแบบ 3 มิติ ทั้งโครงสร้างของอาคารหอปรัชญาวัชการที่ 9 และห้องจัดแสดงนิทรรศการต่างๆ ภายในอาคาร

2. ทำการออกแบบและสร้างหอปรัชญาวัชกาลที่ 9 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายในรูปแบบ 3 มิติ โดยคณะผู้วิจัยได้นำแบบแปลนโครงสร้างของหอปรัชญาวัชกาลที่ 9 มาทำการออกแบบในรูปแบบ 3 มิติที่มีขนาดอัตราส่วนของอาคารมีความสอดคล้องกับแบบแปลนของอาคารจริง

ปีที่ 7 ฉบับที่ 4 ตุลาคม - ธันวาคม 2567
Volume. 7 Issue. 4 October - December 2024

3. ออกแบบและสร้างโครงสร้างภายในส่วนแสดงนิทรรศการต่างๆ ภายในหอปรัชญารัชกาลที่ 9 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายในรูปแบบ 3 มิติ จากที่ได้ออกแบบโครงสร้างหอปรัชญารัชกาลที่ 9 ตามแบบแปลนจริงทำให้ได้โครงสร้างที่ขึ้นรูปแบบอาคารทั้งภายในและภายนอกตามโครงสร้างจริง หลังจากนั้นทำการออกแบบการจัดนิทรรศการภายในห้องจัดนิทรรศการในส่วนต่างๆ ซึ่งประกอบไปด้วยห้องจัดนิทรรศการต่างๆ ที่แสดงถึงพระราชกรณียกิจของในหลวงรัชกาลที่ 9 และประวัติการก่อตั้งมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

4. ออกแบบโครงสร้างฐานข้อมูลและนำโครงสร้างหอปรัชญารัชกาลที่ 9 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายที่ออกแบบเรียบร้อยอัปโหลดเข้าสู่ระบบฐานข้อมูล คณะผู้วิจัยได้ทำการออกแบบระบบฐานข้อมูลในการเก็บข้อมูลการออกแบบหอปรัชญารัชกาลที่ 9 ในรูป 3 มิติ เพื่อนำเป็นฐานข้อมูลในการเรียกใช้รูปแบบโครงสร้างต่างต่างๆ ที่ออกแบบและสร้างขึ้นมา หลังจากนั้นได้ทำการอัปโหลดข้อมูลต่างๆ เก็บไว้บนฐานข้อมูล

5. ทำการเชื่อมต่อฐานข้อมูลที่พัฒนาขึ้นจัดเก็บโครงสร้างและรายละเอียดต่างๆ และทำการอัปโหลดเข้ากับเว็บเพจที่ให้บริการจักรวาลนฤมิตและทำการปรับแต่งรูปแบบให้สอดคล้องกับเว็บเพจให้บริการเพื่อให้สามารถเข้าถึงและเยี่ยมชมหอปรัชญารัชกาลที่ 9 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายบนโลกจักรวาลนฤมิต

6. ทดสอบระบบจักรวาลนฤมิตหอปรัชญารัชกาลที่ 9 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายหลังจากนำข้อมูลเข้าสู่เว็บเพจที่ให้บริการจักรวาลนฤมิต คณะผู้วิจัยได้ทำการทดสอบการเข้าถึงและตรวจสอบองค์ประกอบต่างๆ ที่ออกแบบและพัฒนาขึ้นเมื่อทำการอัปโหลดเข้าสู่ระบบ และทำการแก้ไขปรับปรุงให้สมบูรณ์

7. นำไปใช้กับกลุ่มตัวอย่างประเมินความพึงพอใจ โดยทำการทดสอบกับกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจงโดย ให้ทำการเข้าระบบเพื่อเข้าชมหอปรัชญารัชกาลที่ 9 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายบนโลกจักรวาลนฤมิตผ่านแพลตฟอร์มและทำการประเมินความพึงพอใจในแต่ละด้าน

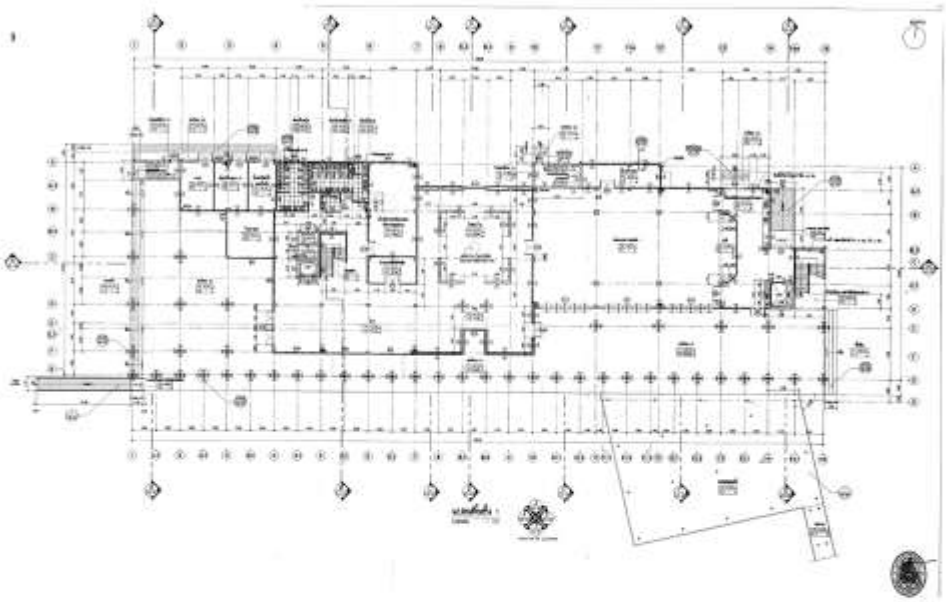
8. สรุปและประเมินผลการวิจัย

6. ผลการวิจัย

ในการดำเนินการวิจัยสำหรับการสร้างโครงสร้างของอาคาร 3 มิติหอปรัชญารัชกาลที่ 9 คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบและสร้างโครงสร้างหอปรัชญารัชกาลที่ 9 จากแบบแปลนการสร้างอาคารหอปรัชญารัชกาลที่ 9 ดังแสดงภาพแบบแปลนอาคารในภาพที่ 2 โดยในภาพที่ 2 ก. แสดงแบบแปลนอาคารชั้นที่ 1 และภาพที่ 2 ข. แสดงแบบแปลนอาคารชั้นที่ 3 จากแบบแปลนดังกล่าวคณะผู้วิจัยได้นำมาทำการถอดแบบเพื่อนำมาสร้างอาคารหอปรัชญารัชกาลที่ 9 ในรูปแบบโครงสร้างอาคาร 3 มิติ โดยมีอัตราส่วนเทียบเคียงจากอาคารจริง โดยแสดงในส่วนของแบบของอาคารในชั้นที่ 1 และ 3 ซึ่งเป็นส่วนของห้องจัดนิทรรศการต่างๆ และภาพที่ 3 แสดงอาคารหอปรัชญารัชกาลที่ 9 จากสถานที่จริงที่เป็นเปิดให้บริการสำหรับนักเรียน นักศึกษาและประชาชนทั่วไปเข้าเยี่ยมชม

70 | ปีที่ 7 ฉบับที่ 4 ตุลาคม - ธันวาคม 2567
Volume. 7 Issue. 4 October - December 2024

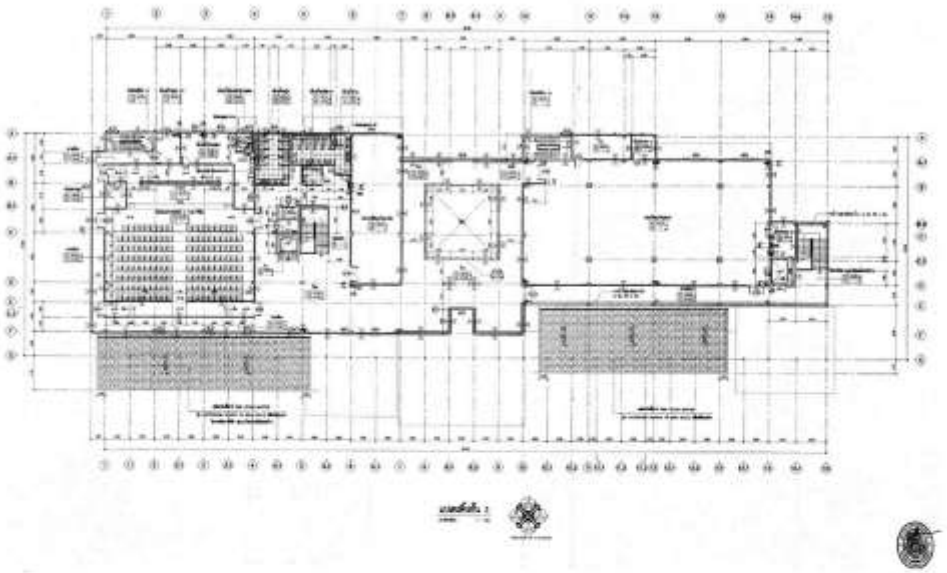
ภาพที่ 2
แบบแปลนอาคารหอปรัชญารัชกาลที่ 9 ที่ใช้ในการสร้างอาคารจริง
ก. แบบแปลนอาคารหอปรัชญารัชกาลที่ 9 ชั้นที่ 1



ที่มา : ภูมิพงษ์ ดวงตั้ง (2567)

ปีที่ 7 ฉบับที่ 4 ตุลาคม - ธันวาคม 2567
Volume. 7 Issue. 4 October - December 2024

ข. แบบแปลนอาคารหอปรัชญาวัชกาลที่ 9 ชั้นที่ 3



ที่มา : ภูมิพงษ์ ดวงดั้ง (2567)

6.1. การดำเนินการสร้างโครงสร้าง 3 มิติภายในอาคาร

ในการสร้างโครงสร้างของอาคาร 3 มิติหอปรัชญาวัชกาลที่ 9 คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบและสร้างโครงสร้างหอปรัชญาวัชกาลที่ 9 จากแบบแปลนการสร้างอาคารหอปรัชญาวัชกาลที่ 9 ดังแสดงภาพแบบแปลนอาคารในภาพที่ 2 โดยในภาพที่ 2 ก. แสดงแบบแปลนอาคารชั้นที่ 1 และภาพที่ 2 ข. แสดงแบบแปลนอาคารชั้นที่ 3 จากแบบแปลนดังกล่าวคณะผู้วิจัยได้นำมาทำการถอดแบบเพื่อนำมาสร้างอาคารหอปรัชญาวัชกาลที่ 9 ในรูปแบบโครงสร้างอาคาร 3 มิติ โดยมีอัตราส่วนเทียบเคียงจากอาคารจริง โดยแสดงในส่วนของแบบของอาคารในชั้นที่ 1 และ 3 ซึ่งเป็นส่วนของห้องจัดนิทรรศการต่างๆ และภาพที่ 3 แสดงอาคารหอปรัชญาวัชกาลที่ 9 จากสถานที่จริงที่เป็นเปิดให้บริการสำหรับนักเรียน นักศึกษาและประชาชนทั่วไปเข้าเยี่ยมชม

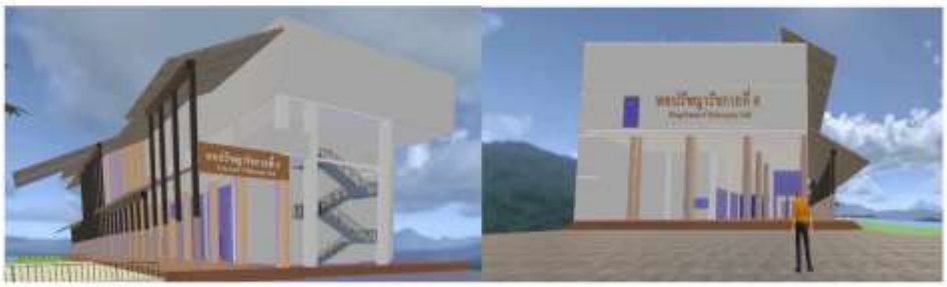
72 | ปีที่ 7 ฉบับที่ 4 ตุลาคม - ธันวาคม 2567
Volume. 7 Issue. 4 October - December 2024

ภาพที่ 3
อาคารหอปรัชญาวัชกาลที่ 9 จริง

ที่มา : ภูมิพงษ์ ดวงดั้ง (2567)

ในภาพที่ 4 แสดงอาคารหอหอปรัชญาวัชกาลที่ 9 ที่ได้ทำการสร้างขึ้นมาในรูปแบบ 3 มิติที่มีขนาดอัตราของอาคารมีความสอดคล้องกับแบบแปลนของอาคารจริง

ภาพที่ 4
อาคารหอปรัชญาวัชกาลที่ 9



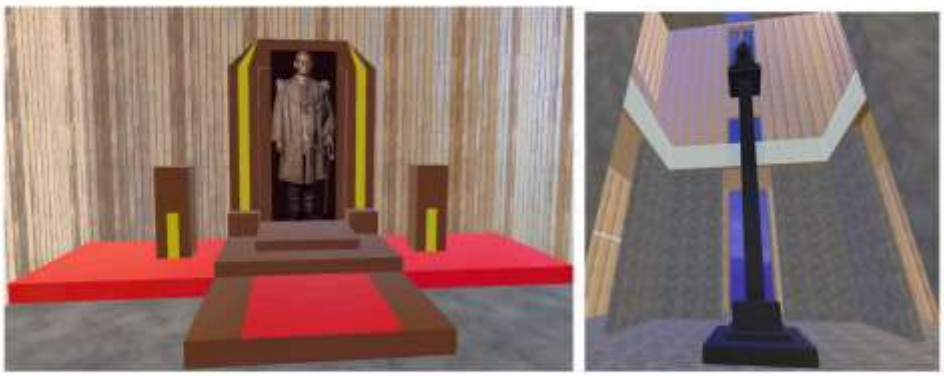
ที่มา : https://www.spatial.io/s/KingRamaIXPhilosophyHall6642e2b7bb497b2062130d5?share=1396825609654880136

ปีที่ 7 ฉบับที่ 4 ตุลาคม - ธันวาคม 2567
Volume. 7 Issue. 4 October - December 2024

6.2 การดำเนินการสร้างโครงสร้าง 3 มิติภายในอาคาร

เมื่อคณะผู้วิจัยได้ทำการออกแบบและสร้างโครงสร้างอาคารหอปรัชญาวัชกาลที่ 9 ในรูปแบบ 3 มิติ ที่อัดราส่วนสอดคล้องกับตามแบบแปลนของอาคารจริงเรียบร้อยแล้ว จึงทำการสร้างห้องจัดนิทรรศการภายในอาคาร โดยในแต่ละห้องจัดแสดงจะมีลักษณะขององค์ประกอบภายในที่จัดแสดงที่แตกต่างกัน ดังนั้นในการออกแบบในแต่ละห้องและในแต่ละพื้นที่จึงมีความจำเป็นสำหรับการสร้างและออกแบบ รวมไปถึงการองค์ประกอบส่วนจัดแสดงต่างๆ ของห้องที่ค่อนข้างหลากหลาย ซึ่งในส่วนเหล่านี้จึงมีการนำเทคนิคหลายด้านมาทำ ออกแบบ สร้างและตกแต่งในรูปแบบโครงสร้าง 3 มิติ รวมไปถึงส่วนที่เป็นการแสดงในลักษณะของภาพถ่ายและการสร้างโมเดล 3 มิติ ในส่วนของวัตถุ สิ่งของต่างๆ ที่จัดแสดง รวมไปถึงภาพเคลื่อนไหวต่างๆ เพื่อให้ห้องจัดนิทรรศการจักรวาลนฤมิตรที่นำเสนอมีความเหมือนและความสมจริงมากที่สุด ซึ่งในห้องจัดแสดงนิทรรศการส่วนต่างๆ ซึ่งประกอบไปด้วยแท่นประดิษฐานพระบรมรูปรัชกาลที่ 9 และหอใจกลางบ้านซึ่งเป็นที่ตั้งพระพุทธรูปบูชาที่ได้รับพระราชทานจากในหลวงรัชกาลที่ 10 ประดิษฐานไว้ ดังแสดงในภาพที่ 5 และห้องจัดแสดงประวัติการก่อตั้งมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ดังแสดงในภาพที่ 6 ซึ่งเป็นส่วนจัดแสดงในชั้นที่ 1 และในบริเวณชั้นที่ 3 จะเป็นโซนห้องจัดนิทรรศการที่แสดงถึงพระราชกรณียกิจของในหลวงรัชกาลที่ 9 ดังแสดงในภาพที่ 7

ภาพที่ 5
แท่นประดิษฐานพระบรมรูปรัชกาลที่ 9 และหอใจกลางบ้าน



ที่มา : https://www.spatial.io/s/KingRamaIXPhilosophyHall6642e2b7bb497b2062130d5?share=1396825609654880136

ภาพที่ 6

ห้องจัดแสดงประวัติการก่อตั้งมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

ที่มา : https://www.spatial.io/s/KingRamaIXPhilosophyHall.6642e2b7bb497b2062130d5?share=1396825609654880136

ภาพที่ 7

ห้องจัดนิทรรศการที่แสดงถึงพระราชกรณียกิจของในหลวงรัชกาลที่ 9

ที่มา : https://www.spatial.io/s/KingRamaIXPhilosophyHall.6642e2b7bb497b2062130d5?share=1396825609654880136

ปีที่ 7 ฉบับที่ 4 ตุลาคม - ธันวาคม 2567
Volume. 7 Issue. 4 October - December 2024

ภาพที่ 8

หน้าแพลตฟอร์มเมื่อเริ่มต้นหอปรัชญาวัชกาลที่ 9 บนโลกจักรวาลนฤมิตผ่าน Metaverse spatial

ที่มา : https://www.spatial.io/s/KingRamaIXPhilosophyHall6642e2b7bb497b2062130d5?share=1396825609654880136

เมื่อทำการสร้างโครงสร้าง 3 มิติในส่วนต่างๆ เรียบร้อยแล้วคณะผู้วิจัยได้ออกแบบระบบฐานข้อมูลสำหรับเก็บข้อมูลของโครงสร้างทั้งหมดไว้บนฐานข้อมูลที่ได้ออกแบบไว้ เมื่อทำการอัปโหลดข้อมูลต่างๆ เก็บไว้บนฐานข้อมูลและทำการเชื่อมต่อฐานข้อมูลที่พัฒนาขึ้นเพื่อจัดเก็บโครงสร้างและรายละเอียดต่างๆ และทำการอัปโหลดเข้ากับเว็บเพจที่ให้บริการจักรวาลนฤมิต โดยระบบจะทำการแบ่งข้อมูลจากฐานข้อมูลสำหรับอัปโหลดออกเป็นส่วนๆ เข้าไปยังแพลตฟอร์มให้บริการ โดยผู้วิจัยใช้แพลตฟอร์ม Metaverse spatial สำหรับการเข้าถึงและเยี่ยมชม เมื่อทำการอัปโหลดข้อมูลสมบูรณ์เรียบร้อยแล้ว ซึ่งจากการออกแบบระบบฐานข้อมูลสำหรับการเชื่อมต่อและอัปโหลดไปยัง Metaverse spatial ทำให้ระยะเวลาในการอัปโหลดข้อมูลรวดเร็วยิ่งขึ้น เมื่อทำการอัปโหลดข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ทำการปรับแต่งรูปแบบของโครงสร้างและส่วนต่างๆ ให้บน Metaverse spatial ให้สมบูรณ์ หลังจากนั้นก็สามารถเข้ารับเยี่ยมชมหอปรัชญาวัชกาลที่ 9 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายบนโลกจักรวาลนฤมิต โดยทำการสมัครเข้าใช้งานผ่าน https://www.spatial.io และทำการค้นหา King Rama IX Philosophy Hall ก็สามารถเข้าชมหอปรัชญาวัชกาลที่ 9 บนโลกจักรวาลนฤมิต ดังภาพที่ 8

7. อภิปรายผล

จากการดำเนินงานวิจัยพัฒนาหอปรัชญาวัชกาลที่ 9 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายบนโลกจักรวาลนฤมิต เมื่อคณะผู้วิจัยได้ดำเนินการพัฒนาระบบเรียบร้อยแล้วได้ทำการนำระบบไปทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจงจำนวน 50 คน ประกอบไปด้วยผู้บริหารมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย จำนวน 3 คน อาจารย์ประจำสาขาวิชากราฟฟิกดีไซน์ จำนวน 5 คน อาจารย์ประจำสาขาทางด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยี จำนวน 7 คน บุคลากรประจำหอปรัชญาวัชกาลที่ 9 จำนวน 5 คน บุคลากรสายวิชาการภายในมหาวิทยาลัย จำนวน 10 คน บุคลากรสายสนับสนุนภายในมหาวิทยาลัย จำนวน 10 คน นักศึกษา จำนวน 10 คน ซึ่งกลุ่มตัวอย่าง

ทั้งหมดได้เคยเข้าเยี่ยมชมหอปรัชญาวัชกาลที่ 9 มาแล้ว คณะผู้วิจัยได้ให้กลุ่มตัวอย่างได้ลองใช้งานหอปรัชญาวัชกาลที่ 9 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายบนโลกจักรวาลนฤมิตผ่าน Metaverse spatial แล้วทำการประเมินความพึงพอใจ โดยแบ่งผลการประเมินความพึงพอใจออกเป็น 5 ด้าน คือ ด้านการออกแบบและความสวยงาม ด้านความสมบูรณ์ครบองค์ประกอบของสถานที่ ด้านการใช้งานและความทันสมัย ด้านความพร้อมของระบบ และด้านประโยชน์ที่ได้รับ ซึ่งในการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบประเมินความพึงพอใจมาทำการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) โดยใช้เกณฑ์การวิเคราะห์ช่วงค่าเฉลี่ยเลขคณิตของแบบสอบถามแบบลิเคิร์ทสเกล แบ่งระดับความพึงพอใจออกเป็น 5 ระดับ เป็นดังนี้ (รวิวรรณ ชินะตระกูล, 2542)

4.51 – 5.00 หมายถึง มีความพึงพอใจมากที่สุด
3.51 – 4.50 หมายถึง มีความพึงพอใจมาก
2.51 – 3.50 หมายถึง มีความพึงพอใจปานกลาง
1.51 – 2.50 หมายถึง มีความพึงพอใจน้อย
1.00 – 1.50 หมายถึง มีความพึงพอใจน้อยที่สุด

ตารางที่ 1
ความพึงพอใจต่อหอปรัชญาวัชกาลที่ 9 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายบนโลกจักรวาลนฤมิตผ่าน Metaverse spatial

ด้าน	ค่าเฉลี่ย	S.D.
1. ด้านการออกแบบและความสวยงาม	4.66	0.48
2. ด้านความสมบูรณ์ครบองค์ประกอบของสถานที่	4.48	0.5
3. ด้านการใช้งานและความทันสมัย	4.7	0.46
4. ด้านความพร้อมของระบบ	4.76	0.43
5. ด้านประโยชน์ที่ได้รับ	4.72	0.48
เฉลี่ย	4.66	0.47

จากตารางที่ 1 พบว่าจากผลการประเมินความพึงพอใจต่อหอปรัชญาวัชกาลที่ 9 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายบนโลกจักรวาลนฤมิตผ่าน Metaverse spatial จากกลุ่มตัวอย่าง 50 พบว่าความพึงพอใจในระดับมากที่สุดอยู่ 4 ด้าน คือด้านการออกแบบและความสวยงาม ด้านการใช้งานและความทันสมัย ด้านความพร้อมของระบบ และด้านประโยชน์ที่ได้รับ มีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจเท่ากับ 4.66 4.7 4.76 และ 4.72 ตามลำดับ และความพึงพอใจในด้านการความสมบูรณ์ครบองค์ประกอบของสถานที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.48 อยู่ในระดับพึงพอใจมาก ซึ่งในการออกแบบโมเดลเพื่อสร้างโครงสร้าง 3 มิติ ในส่วนต่างนั้นๆ มีรายละเอียดค่อนข้างมาก ดังนั้นที่จะทำให้มีองค์ประกอบสมบูรณ์ครบถ้วนจะต้องใช้ทรัพยากรของระบบในการพัฒนาและการแสดงผลค่อนข้างสูงเพื่อให้มีรายละเอียดครบถ้วน เมื่อทำการอัพโหลดเข้าสู่ระบบจะทำให้มีการประมวลผลสูงทำให้การอัพโหลดและการแสดงผลสำหรับการเข้าชมใช้เวลาค่อนข้างมาก ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีการปรับแต่งรายละเอียดในส่วนต่างๆ ให้เหมาะสมทำให้องค์ประกอบในบางส่วนขาดหายไปแต่ยังคงความสมบูรณ์ในองค์ประกอบต่างๆ ให้มากที่สุด

8. องค์ความรู้ใหม่

จากการวิจัยหอปรัชญาวิชาการที่ 9 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายบนโลกจักรวาลนฤมิต ได้พบว่าการออกแบบโครงสร้าง 3 มิติ ของอาคารเพื่อสร้างโมเดลนั้นสามารถใช้โปรแกรมที่สร้างที่ค่อนข้างหลากหลาย จากการทดลองใช้พบว่าหลายโปรแกรมที่นิยมมีจุดอ่อนจุดแข็งที่ต่างกัน ความยากง่ายและความซับซ้อนในการสร้างโครงสร้าง 3 มิติจากโปรแกรมนั้นๆ แตกต่างกันมาก แต่เมื่อทำการนำโมเดลที่ได้จากโปรแกรมสร้างโรงสร้าง 3 มิติ มาทำการอัปโหลดเข้าสู่แพลตฟอร์มการให้บริการ พบว่ามีรายละเอียดบางส่วนขาดหายไปต้องมีการปรับแต่งบนแพลตฟอร์มที่เลือกใช้ค่อนข้างมาก ดังนั้นจากการดำเนินงานวิจัยดังกล่าวทำให้คณะผู้วิจัยทราบถึงโปรแกรมที่เหมาะสำหรับการออกแบบโครงสร้างหรือโมเดล 3 มิติและทำการอัปโหลดเข้าสู่แพลตฟอร์ม Metaverse รวมไปถึงทราบถึงเทคนิควิธีการในการพัฒนาและสร้างโลกเสมือนจริงผ่านโปรแกรมสำเร็จรูปรวมไปถึงการเลือกใช้แพลตฟอร์มรวมไปถึงเทคนิคในการปรับแต่งให้ผลงานที่ออกมามีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น อีกทั้งการนำวิธีการออกแบบฐานข้อมูลมาสำหรับการจัดเก็บข้อมูลก่อนที่จะอัปโหลดเข้าสู่แพลตฟอร์มออนไลน์ทำให้ความผิดพลาดของการเชื่อมโยงข้อมูลลดลง

9. ข้อเสนอแนะสำหรับผู้ที่นำองค์ความรู้ไปใช้ประโยชน์

ในการออกแบบโครงสร้าง 3 มิติของอาคารทั้งภายในและภายนอกอาคารหอปรัชญาวิชาการที่ 9 มีรายละเอียดการตกแต่งละจัดแสดงจำนวนมาก โดยการสร้างโครงสร้างและการตกแต่งในส่วนต่างๆ ของอาคาร 3 มิตินั้นสามารถสร้างและใส่รายละเอียดการตกแต่งได้อย่างครบถ้วนสมบูรณ์ แต่เมื่อทำการอัปโหลดข้อมูลชเข้าสู่แพลตฟอร์ม metaverse spatial รายละเอียดบางส่วนได้หายไปและเมื่อทำการปรับแต่งเพิ่มเติมในแพลตฟอร์มก็มีข้อจำกัดมากดังนั้นในการพัฒนาต่อยอดหรือนำไปสร้างในสถานที่อื่นๆ ควรจะค้นหาเทคนิคที่จะสามารถทำให้การเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างโปรแกรมสร้างโครงสร้าง 3 มิติกับแพลตฟอร์ม metaverse spatial ได้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้นเพื่อให้ลดขั้นตอนในการแก้ไขรายละเอียดบนแพลตฟอร์ม metaverse spatial

รายการอ้างอิง

จักรพันธ์ วงศ์ฤกษ์ดี พรรณธิภา เพชรบุญมี และธนภรณ์ นาคนรินทร์. (2563). การส่งเสริมเส้นทางการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมจากอำเภอเมืองถึงอำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ผ่านเทคโนโลยีภาพเสมือน. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. สุวรรณภูมิ*. 4(1), 1–10.

จิตรนันท์ ศรีเจริญ ดวงจันทร์ สีหาราช และอนุพงษ์ สุขประเสริฐ. (2562). แอปพลิเคชันส่งเสริมการท่องเที่ยว 8 แหล่งท่องเที่ยวที่ต้องไปในจังหวัดเพชรบูรณ์ด้วยเทคโนโลยีเสมือนจริง. *วารสารโครงงานวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ. 5*(1), 84–94.

ถิตรัตน์ พิมพาภรณ์ และ วีระยุทธ พิมพาภรณ์. (2565). พฤติกรรมการใช้อินเตอร์เน็ตและการรับรู้ข้อมูลการท่องเที่ยวจากสื่อดิจิทัลต่อความตั้งใจเดินทางท่องเที่ยวในบทบาทของความเชื่อมั่นในข้อมูลทางอินเตอร์เน็ต. *วารสารมหาวิทยาการสังคมศาสตร์และการสื่อสาร. 5*(1), 50–60.

นิคม กงนะ และนารท ศรีละโพธิ์. (2566). จักรวาลนฤมิตกับอนาคตการศึกษาไทย. *ครุศาสตร์สาร. 17*(1), 1-10.

นิติศักดิ์ เจริญรูป. (2560). การประยุกต์ใช้ความเป็นจริงเสริมเพื่อนำเสนอข้อมูลแหล่งท่องเที่ยว: กรณีศึกษาวัดพระแก้ว จังหวัดเชียงราย. *วารสารวิทยาการจัดการสมัยใหม่. 10*(1), 13-30.

ปิยพงศ์ เผ่าวณิช และพุฒิธร จิรายุส. (2566). ความสัมพันธ์เชิงสาเหตุของการประยุกต์ใช้สื่อสังคมออนไลน์ของผู้ประกอบการธุรกิจรายย่อยในประเทศไทย. *วารสารมหาวิทยาการสังคมศาสตร์และการสื่อสาร. 6*(4), 117–129.

พจน์ศิรินทร์ สิมปิบันทน์. (2562). การส่งเสริมแหล่งท่องเที่ยวจังหวัดมหาสารคามโดยใช้เทคโนโลยีเสมือนจริง. *วารสารวิชาการการจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.6*(1), 8–16.

พิเชนทร์ จันทร์ปุ่ม สุธิรา จันทร์ปุ่ม สุรเชษฐ์ เหลือมเกา และวินิจ สุขวงศ์. (2566). การพัฒนาแอปพลิเคชันเทคโนโลยีความเป็นจริงเสริม เรื่องระบบสุริยะจักรวาลสำหรับผู้บกพร่องทางการได้ยิน. *วารสารวิชาการการจัดการเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม. 101*(2), 112–121.

ภัทรา เวชสวรรค์ และศรัณยา เลิศพุทธ. (2564). การสร้างคุณค่าทางการท่องเที่ยวที่สอดคล้องกับนโยบายภาครัฐในเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออกจังหวัดชลบุรี สำหรับนักท่องเที่ยวเจเนเรชั่นซีกลุ่มประเทศยุโรปและกลุ่มประเทศอเมริกาเหนือ. *วารสารเครือข่ายส่งเสริมการวิจัยทางมนุษย์ศาสตร์และสังคมศาสตร์. 4*(3), 16–32.

รวิน ระวิวงศ์. (2565). แนวทางการพัฒนาแพลตฟอร์มโลกเสมือน (Metaverse) เพื่อยกระดับแหล่งเรียนรู้และการบริการแห่งอนาคต. *วารสารรัฏฐาภิรักษ์ 64*(3), 32–41.

รวีวรรณ ชินะตระกูล. (2542). *การทำวิจัยทางการศึกษา*. ที.พี.พริ้นท์.

วรรณศิลป์ ภู่เด่นไส และสุนันทา ศรีม่วง.(2560). การพัฒนาแอพพลิเคชันเสมือนจริง เรื่องระบบสุริยะด้วยเทคโนโลยีอัคเมนต์เดดเรียลริตี้. *วารสารโครงงานวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ. 3*(1), 63–69.

วุฒิไกร พิมพชันธ์ ภัสสร ปัทวงศ์ และอภิรดี เดชพงษ์สัมฤทธิ์. (2564). การออกแบบและพัฒนาสื่อแอนิเมชัน 3 มิติเพื่อส่งเสริมจิตสำนึกการอนุรักษณ์ช้างไทย. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยเซาธ์อีสท์บางกอก. 1*(1), 53–64.

วันชนะ จูบรรจง วิไรวรรณ แสนชะนะ รุ่ง หมู่ล้อม และอภิชัย ซื่อสัตย์สกุลชัย. (2564). การส่งเสริมการท่องเที่ยวจังหวัดตากโดยใช้เทคโนโลยีเสมือนจริง. *วารสารวิทยาการและเทคโนโลยีสารสนเทศ. 11*(1), 56–64.

สถาพร เกียรติพิริยะ, ศราวุฒิ บุษหมั่น, กมล เพชรอ้อน และ อัญชัญ ไชยวงศ์. (2563). การส่งเสริมการท่องเที่ยวเมืองรองด้วยเทคโนโลยีสื่อดิจิทัล. *วารสารมหาจุฬานาครทรรศน์. 7*(12), 436–450.

โสปอ กลับสกุล. (2566). การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันการท่องเที่ยวด้วยเทคโนโลยีเสมือนจริง กรณีศึกษาชุมชนรอบปราสาท ปรางค์กู่ จังหวัดศรีสะเกษ. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.สุวรรณภูมิ. 7*(7), 80–99.

2023 27th International Computer Science and Engineering Conference (ICSEC)

Applying IoT Technology to Develop Banana Slicer for Digital Banana Processing

1st Srinuan Fongmamee
Faculty of Digital Technology
Chiangrai Rajabhat University
Chiangrai, Thailand
sc_srinuan@crru.ac.th

2nd Wijitra Montri
Faculty of Digital Technology
Chiangrai Rajabhat University
Chiangrai, Thailand
sc_wijittra@crru.ac.th

3rd Kritsana Somkuan
Faculty of Digital Technology
Chiangrai Rajabhat University
Chiangrai, Thailand
kritsana@crru.ac.th

4th Chalida Janthajirakowit
Faculty of Digital Technology
Chiangrai Rajabhat University
Chiangrai, Thailand
chalida.jan@crru.ac.th

5th Sumran Chaikhamwang
Faculty of Digital Technology
Chiangrai Rajabhat University
Chiangrai, Thailand
em_sumran@crru.ac.th

***Abstract*— The objectives of this research aims to 1) To study the development approach of a banana slicer prototype using IoT technology and 2) To develop a banana slicer prototype using IoT technology as an application of Internet of Things in agricultural product processing. This aims to promote the value-added processing of agricultural products, reduce labor costs, and enhance work safety. Additionally, an application will be developed on smartphones to manage and control the banana slicing machine.**

The research findings indicate that the banana slicing machine can reduce labor costs, increase production volume, and improve user safety. Furthermore, it promotes product processing in agriculture, leading to better income opportunities for farmers. These outcomes demonstrate the benefits and positive results derived from the application of IoT technology in the banana processing process, which helps elevate the production standards of agricultural products

***Keywords*—Internet of Things, Applying IoT, Banana slicer, Banana process**

I. Introduction

Bananas are a popular fruit widely grown in almost every household throughout all regions of Thailand. This is because they are resilient to different soil and weather conditions, easy to cultivate, and provide fast yields. Bananas are an economic crop that contributes to the country's income [1-2]. However, bananas often have a harvest season that coincides closely, resulting in an oversupply of bananas in the market and causing prices to drop.

Due to this reason, the farmers in Ban Pa Sung Nuea, Tambon Pong Pae, Amphoe Mae Lao, Chiang Rai Province, have come together to form a community enterprise group to process agricultural products from the farmers. They purchase bananas from the local farmers and transform them into various products such as dried banana slices, dried raw bananas, crispy bananas, and coated bananas. This helps create additional value and generate higher income for the farm in the process of banana processing, manual labor is still the primary workforce, and most of them are elderly individuals. The most challenging step is the banana cutting process, which is time-consuming and requires high precision. This step has been found to be inefficient and physically demanding, leading to fatigue. When there is a large quantity of bananas, it becomes difficult to cut them all in a timely manner, resulting in spoilage and high costs. If the work is rushed, it often leads to injuries from knife cuts. When attempting to use automated banana cutting machines, the problem cannot be solved because the bananas used in processing come in various sizes and shapes, making the cutting patterns uncertain, especially in terms of thickness and shape of the banana slices. The banana cutting machines cannot adjust the blade levels, making it impossible to control the thickness and shape of the banana slices. As a result, the group has reverted to using manual banana cutting methods because they can control the thickness, thinness, and cutting direction of the banana slices according to their needs.

Currently, it cannot be denied that Internet of Things (IoT) technology plays a crucial role in everyday life and has greatly transformed human lives. It can be integrated with other technologies to solve problems and facilitate convenience in daily living, creating challenges, innovations, and applications in various areas [3], [4-6].

The Internet of Things (IoT) is the connection and communication between devices that can connect to the internet and interact with each other. These devices are capable of sending and receiving data and working together. IoT devices can be various sensors such as temperature sensors, humidity sensors, speed sensors, or they can be control devices such as automated systems or communication devices like wireless network devices [4].

The importance of IoT lies in the interconnection and communication between devices, which creates opportunities and efficiency in data collection. The collaboration of devices in the IoT system enhances efficiency in various aspects of work and management. For example, automatic updating and control of temperature in a greenhouse, detection and reporting of important environmental conditions, or automatic control of devices to save energy [8-10].

IoT has implications in various sectors, such as smart agriculture that enhances productivity and efficient management, smart governance that improves safety and efficiency in urban management, smart healthcare that enables real-time health monitoring and patient care, as well as applications in industries, transportation, smart homes, and others. The ability of devices and systems to connect and communicate brings convenience, energy efficiency, and added value to users [11-12].

Based on the examples and issues mentioned in this research, the objective of studying and developing a prototype of a banana slicer using IoT technology is to

979-8-3503-4210-9/23/$31.00 ©2023 IEEE

979-8-3503-4210-9/23/$31.00 ©2023 IEEE

incorporate IoT technology to solve the problems in the banana slicing process. It allows for selecting different shapes of banana slices and ensures consistent thickness of the slices. After the bananas are sliced, they can be automatically sent to a deep fryer to reduce the risk of being exposed to hot oil. The system can also be configured to send notifications through a mobile application[13]. Furthermore, data can be collected and analyzed to assist in decision-making regarding processing quantities, aiming to elevate the standard of banana processing in community enterprises to a higher level.

II. SYSTEM DESIGN & METHODOLOGY

A. Designing a prototype of a banana slicer.

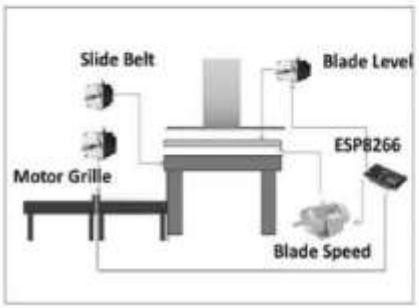


Fig. 1. Design of NodeMCU ESP8266 controller to control operation.

From Fig 1., the NodeMCU ESP8266 is responsible for controlling the entire operation of the automatic banana slicer. The machine consists of:

1. Motors for slicing the banana into sheets.
2. Motor for controlling the distance of the banana slicer blades.
3. Motor for controlling the movement of the banana conveyor belt.
4. NodeMCU ESP8266, which controls the operation of the motors.

B. Designing a prototype of a banana slicer.

The process of designing the structure of the banana slicer, which the researchers have carried out, involves designing the components of the banana slicer as shown in Fig 2.

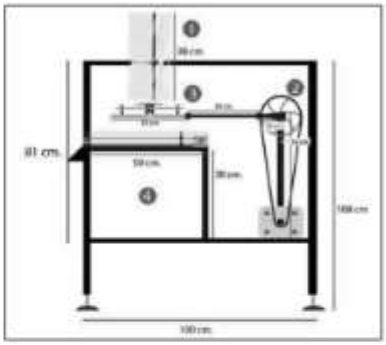


Fig. 2. Banana slicer design

From Fig 2., the design of the banana slicer consists of the following parts:

Part 1: Container for placing peeled bananas to be sent into the chute leading to the blade.

Part 2: Motor part for controlling the rotating axis of the blade, connected to the IoT device to send operational data to the database on the Internet network.

Part 3: Blade set for slicing bananas.

Part 4: Container for storing sliced bananas.

C. Maintaining the Integrity of the Specifications

The process of developing the banana slicer according to the designed specifications involves the following steps:

1. Connect the banana slicer to the management application for banana slicer.
2. Conduct test runs to evaluate its functionality.
3. Identify any defects or issues.
4. Perform necessary troubleshooting and make improvements.

As a result, the developed banana slicer, as shown in Fig 3., is obtained.

Fig. 3. Prototype banana slicer.

D. Software Part.

The researchers have designed and developed an application for managing the banana slicer using Android Studio IDE and the Java programming language. They have also incorporated data storage using a MySQL database. The detailed steps for designing and developing the application are as follows:

Step 1. Study existing applications for managing banana slicers and analyze the development patterns of such applications.

Step 2. Design the application for managing the banana slicer, including the input section, configuration section, processing section, database section, and reporting section.

Step 3. Develop the application based on the designed specifications in the application design process.

The software development process is shown in Fig 4-9.

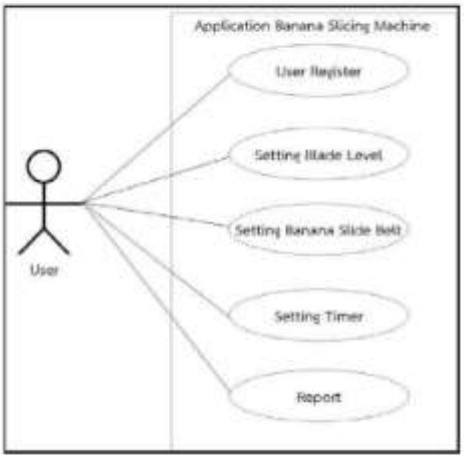


Fig. 4. Use Case Diagram.

Fig. 5. Welcome Page.

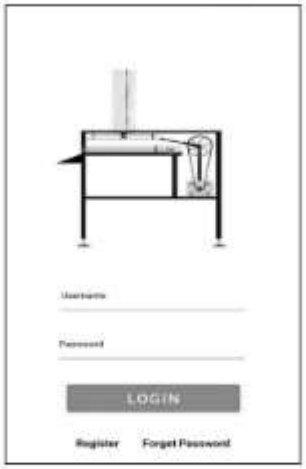


Fig. 6. Application home screen.

Fig. 7. Settings

From Fig 7 in the banana slicer management interface, it consists of:

1. Blade Level adjustment, displayed when clicked as shown in Fig 8.

Fig 8. Blade Level

2. Banana conveyor belt movement, displayed when clicked as shown in Fig 9.

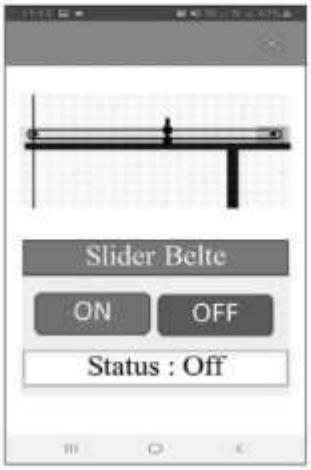


Fig. 9. Slider Belt.

From Fig 9, the control panel of the banana conveyor belt is composed of:

1. An "ON" button, which, when pressed, controls the banana slicer to start slicing bananas.
2. A "OFF" button, which, when pressed, controls the banana slicer to stop slicing bananas.
3. A status display showing the operational status of the banana conveyor belt.

E. Result of development of banana slicer.

The developed banana slicer consists of the following components:

Component 1: A container for holding peeled bananas, which is used to feed them into the channel leading to the blade.

Component 2: A motor unit for controlling the rotational axis of the blade, connected to an IoT device to send operational data to a database on the internet network.

Component 3: A set of blades for slicing bananas.

Component 4: A container for holding sliced bananas.

Component 5: Wheels for mobility and movement.

The banana slicer is shown in Fig 10.

Fig. 10. Banana slicer.

Fig. 11. Banana compartment.

Fig. 12. Banana slicer is working.

Fig. 13. Banana Slice.

F. Performance measurement

The results of the study on upgrading the processing standards of banana products indicate that the researchers analyzed the operation of the banana slicer controlled by an IoT system and compared it with manual labor and daily production quantity. The comparative results are shown in Table 1.

Table 1. Comparison between banana slicer and manual labor

	Manual Labor	**Banana Slicer**
Daily Workforce	5 people	3 people
Daily Production	8 kilograms	14 kilograms

From Table 1, a comparison was made between the work done by manual labor and the daily production quantity of processed banana products. It was found that before the introduction of the banana slicer to assist in the slicing process, 5 individuals were required for manual labor. With the use of the banana slicer, the labor force was reduced from 5 to 3 individuals. When comparing the labor costs, assuming a daily wage of 300 Baht per person, the labor cost for 5 individuals amounted to 1,500 Baht, while the cost for 3 individuals amounted to 900 Baht. Therefore, there was a reduction in labor expenses by 600 Baht, which corresponds to a 40% decrease.

Furthermore, considering the quantity of daily production, the manual labor resulted in 8 kilograms of processed bananas per day, whereas the banana slicer achieved a production quantity of 14 kilograms per day. This indicates an increase in daily production by 6 kilograms when the banana slicer replaced manual labor, which corresponds to a 42.85% increase.

III. CONCLUSION

This research involves the application of IoT technology in creating a banana slicer, demonstrating the benefits and positive outcomes resulting from the use of IoT technology in the banana processing process. It helps increase the value of low-priced agricultural products by raising the standard of banana product manufacturing. It reduces labor costs and enables higher production output compared to manual labor. Additionally, it reduces spoilage rates and improves responsiveness to market demands.

ACKNOWLEDGMENT

The researchers would like to express their gratitude to Chiang Rai Rajabhat University for providing financial support for this research. This support is highly significant in creating opportunities and inspiring the research team to develop innovative solutions that have a positive impact on society and industry. The warm and supportive environment for deep research work has helped to strengthen the academic foundation and create valuable experiences for learning and sustainable innovation development in the future.

REFERENCES

[1] T. Nualrahong, K. Porasiri, T. Krairoch, and S. Janwipa, "Development of Value-added Products from Banana (Musa sapientum L.) using Food Processing Technology for Community," *Dhonburi Rajabhat University Research and development institute*, 2020.

[2] W. Surekham, N. Amdee, and C. Pongpatfanasil, "BANANA CHIPS RIPENESS CLASSIFICATION WITH IMAGE PROCESSING TECHIQUE," Industrial Technology and

Engineering. *Phibulsongkram Rajabhat University Journal*, 2020, vol. 3, pp. 55-67.

[3] Misra, G., Kumar, V., Agarwal, A., and Agarwal, K., "Internet of things (iot)-a technological analysis and survey on vision, concepts, challenges, innovation directions, technologies, and applications (an upcoming or future generation computer communication system technology)," *American Journal of Electrical and Electronic Engineering*, 2016, vol. 4, pp. 23-32.

[4] Majid, M., Habib, S., Javed, A. R., Rizwan, M., Srivastava, G., Gadekallu, T. R., and Lin, J. C. W. "Applications of wireless sensor networks and internet of things frameworks in the industry revolution 4.0: A systematic literature review," *Sensors*, 2022, vol. 22, no. 6.

[5] Kumar, R., Rani, S., & Awadh, M. A. Exploring the application sphere of the internet of things in industry 4.0: a review, bibliometric and content analysis. *Sensors*, 2022, vol. 22, no. 11, pp. 4276.

[6] Martens, C. D. P., da Silva, L. F., Silva, D. F., and Martens, M. L. "Challenges in the implementation of internet of things projects and actions to overcome them," *Technovation*, 2022, vol. 118, pp. 102427.

[7] Mohanraj, I., Ashokumar, K., & Naren, J. "Field monitoring and automation using IOT in agriculture domain," *Procedia Computer Science*, 2016, vol. 93, pp. 931-939.

[8] Silkder, A. K., Acar, A., Aksu, H., Uluagac, A. S., Akkaya, K., and Conti, M. "IoT-enabled smart lighting systems for smart cities," *In 2018 IEEE 8th Annual Computing and Communication Workshop and Conference, IEEE*, 2018, pp. 639-645.

[9] Khanna, Abhirup, and Rishi Anand. "IoT based smart parking system," *International conference on internet of things and applications (IOTA)*, IEEE, 2016.

[10] Soori, M., Arezoo, B., and Dastres, R. "Internet of things for smart factories in industry 4.0, a review,". *Internet of Things and Cyber-Physical Systems*, 2013.

[11] Misra, G., Kumar, V., Agarwal, A., and Agarwal, K. "Internet of things (iot)-a technological analysis and survey on vision, concepts, challenges, innovation directions, technologies, and applications (an upcoming or future generation computer communication system technology)," *American Journal of Electrical and Electronic Engineering*, vol. 4, pp. 23-32, 2018.

[12] Kanthong, J., Sapakhon, T., Konghirun, M., Prapanavarat, C., Ayudhya, P. N. N., Mujalinvimut, E., and Boonjeed, S. "IoT-based traction motor drive condition monitoring in electric vehicles: Part 1," *In 2017 IEEE 12th international conference on power electronics and drive systems (PEDS), IEEE*, 2018, pp. 1-184.

[13] Sarkar, A., Goyal, A., Hicks, D., Sarkar, D., and Hazra, S. "Android application development: a brief overview of android platforms and evolution of security systems," *In 2019 Third International conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud)(I-SMAC), IEEE*, 2019, pp. 73-79.

2023 27th International Computer Science and Engineering Conference (ICSEC)

The Promoting Vegetable Cultivation Pesticide Free for Food Security and Safety through Precision Agriculture : A Case Study of Ban Pang Klang, Mae Korn Subdistrict, Muang District, Chiang Rai

1st Sumran Chaikhamwang
Faculty of Digital Technology
Chiangrai Rajabhat University
Chiangrai, Thailand
cm_sumran@crru.ac.th

2nd Wijitra Montri
Faculty of Digital Technology
Chiangrai Rajabhat University
Chiangrai, Thailand
sc_wijittra@crru.ac.th

3rd Chalida Janthajirakowit
Faculty of Digital Technology
Chiangrai Rajabhat University
Chiangrai, Thailand
chalida.jan@crru.ac.th

4th Srinuan Fongmanee
Faculty of Digital Technology
Chiangrai Rajabhat University
Chiangrai, Thailand
sc_srinual@crru.ac.th

***Abstract*— This research aims to 1) investigate and promote safe vegetable cultivation using precision agriculture techniques for food security and safety in Ban Pangklang, Mae Korn Subdistrict, Muang District, Chiang Rai Province, and 2) develop a prototype system of precision agriculture to promote safe and secure vegetable production for food security and safety in Ban Pangklang, Mae Korn Subdistrict, Muang District, Chiang Rai Province. The research utilizes precision agriculture techniques to ensure food security and safety. The research is conducted in Ban Pangklang, Mae Korn Subdistrict, Muang District, Chiang Rai Province. The objectives include studying the application of IoT technology and precision agriculture techniques in vegetable cultivation and developing a prototype system to enhance safe and sustainable vegetable production. The findings of this research will contribute significantly to improving the efficiency and safety of food in the region. Additionally, it aims to maximize resource utilization and serve as a learning center to create future career opportunities for interested individuals.**

Keywords—Internet of Things, Applying IoT, Smart Farming, Safe Vegetable Cultivation Project

I. INTRODUCTION

Ban Pang Klang, Village No. 4, Tambon Mae Korn, Amphoe Mueang, Chiang Rai Province, is a village located on hilly terrain where the majority of villagers work as farmers. They cultivate fields and orchards, with a significant product being tea leaves. In addition, there are other locally-made products such as woven bags and handicrafts from bamboo, such as necklaces and bracelets. This village is still in need of development and is a target community for improvement by the Tambon Administration Organization of Mae Korn, Mueang District, Chiang Rai Province. They aim to enhance the quality of life for the residents. The Tambon Administration Organization of Mae Korn has initiated a project to promote safe vegetable cultivation within the community of Ban Pang Klang. This project aims to encourage safe vegetable production and distribution in the Chiang Rai Province area, in order to contribute to sustainable livelihoods for the community.

However, despite this, Ban Pangklang continues to engage in traditional agricultural practices, relying on natural water sources. During the dry season, crop cultivation becomes challenging due to water scarcity, a critical factor in agriculture. Furthermore, the Safe Vegetable Planting Project encounters issues of limited awareness and understanding in resource utilization, resulting in a lack of essential information regarding the production needs of facilities, such as water and fertilizer. Therefore, the Safe Vegetable Planting Project in Ban Pangklang is crucially in need of additional support and educational efforts focused on efficient resource management and water utilization. Its objective is to establish a sustainable and continuous Safe Vegetable Planting Project, ensuring its viability into the future.

In the present time, it is evident that smart farm technology or precision farming is considered an innovation relevant to agriculture in the digital era. This involves the integration of Internet of Things (IoT) technology with Geographic Information System (GIS)[1], remote sensing, Variable Rate Technology (VRT) [2], and Decision Support Systems (DSS) through wireless internet networks for data transmission and processing. Specifically designed software is utilized for operations in smart farms, which involve data collection, data analysis, data interpretation, practical implementation, plan execution, and result assessment. Automation is employed for commands, decision-making, and predicting various situations to create a suitable agricultural environment [3], [4]. This concept has gained significant interest in the agricultural sector for resource-efficient utilization and labor reduction. Therefore, extensive research and development efforts are being undertaken to continuously enhance cultivation methods [5]. Plants can be monitored and managed remotely, utilizing Internet of Things (IoT) technology, which is being adopted in what is termed a 'smart farm' [6]. Smart farms enable farmers to remotely monitor agricultural fields and manage farming activities, thereby reducing human labor and enhancing resource efficiency in agriculture [7].

Given the background and aforementioned significance, the researchers are thus focused on applying smart agricultural technology to promote the Safe Vegetable Planting Project for food security and safety. This initiative takes place in Ban Pangklang, Tambon Mae Korn, Amphoe Mueang, Chiang Rai Province, aiming to elevate agricultural practices into modernized agriculture. This is achieved through the utilization of agricultural innovations operating with sensor systems that monitor crucial environmental

979-8-3503-4210-9/23/$31.00 ©2023 IEEE

979-8-3503-4210-9/23/$31.00 ©2023 IEEE

factors influencing plant growth, which cannot be continuously tracked and monitored by humans. These factors include temperature, humidity, soil moisture, light, plant pests, and diseases. Farmers can control and command equipment remotely via network systems. Data is persistently stored, contributing to a vast database, facilitating ongoing analysis, and enabling future safe vegetable cultivation planning. In this research, experiments were conducted with the cultivation of head lettuce.

II. SYSTEM DESIGN & METHODOLOGY

A. Study the problems and requirements.

The researcher conducted fieldwork in Ban Pangklang Village to conduct surveys and collect data. Through interviews with farmers, information was gathered regarding relevant issues and needs, including agricultural challenges, environmental concerns, plant pests, water source problems, electricity-related issues, the nature of the agricultural area, and community regulations that impact agricultural practices. Additionally, the community's requirements for safe vegetable cultivation were examined, along with an analysis of related factors. This was done to establish objectives and scope for the study and to address the community's needs and desires concerning the cultivation of safe vegetables.

B. System Design.

Based on the study of community problems and needs, researchers have collected information to design a system that addresses the community's issues. They prioritized the problems and needs of the community and found that the community requires a precise agricultural system. The researchers conducted a study on relevant documents and research works related to system design, utilizing Internet of Things (IoT) technology for agricultural purposes. The goal is to maximize production efficiency by implementing a system that tracks environmental and production factors, controlling the operation of various devices, and displaying their performance on smartphones. The system collects data from various production factors such as temperature, relative humidity, soil moisture, light, fertilizer, and water. It also includes an appropriate irrigation system for accurate and efficient crop cultivation. The benefits of the system include precise cultivation, water conservation, labor cost reduction, and time savings. The system consists of 1 1 components, as shown in Fig. 1.

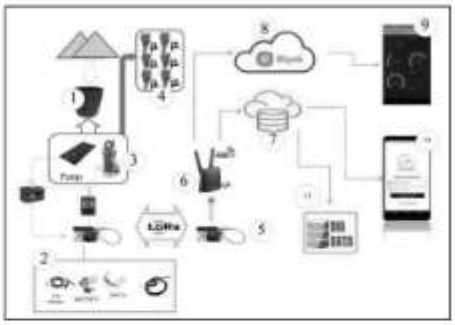


Fig. 1 System Design

From Fig. 1, it demonstrates the system design with the following steps:

1. Water Storage Tank: This is a part of water storage sourced from a natural spring, referred to as "Mountain Spring."
2. Data Transmission Kit: This system collects environmental data and plant growth factors using IoT technology. It measures temperature, humidity, light, soil moisture, and fertilizer levels, transmitting this data to LoRa ESP32-V3 WiFi. It controls a relay switch to operate a solar-powered water pump (No. 3) based on defined conditions and sends data to LoRa ESP32-V3 (No. 5).
3. Solar-Powered Water Pump: This pump draws water from the water storage tank (No. 1) to irrigate the vegetable plot (No. 4).
4. Vegetable Plot: A study area of 100 square meters designed with a sprinkler irrigation system for water conservation.
5. Data Receiver Kit: Collects data from the Data Transmission Kit (No. 2) using LoRa technology and sends data to a 4G SIM card router (No. 6).
6. 4G WiFi Router: Acts as a central hub to connect WiFi signals from the Data Receiver Kit (No. 5). It transfers data to a cloud-based database (No. 7) and a Blynk Server (No. 8).
7. Database: Stores cultivation factors' data. In this study, a MariaDB database is used for farm management via a mobile application (No. 10).
8. Blynk Server: Stores cultivation factor data for display on the Blynk application on smartphones (No. 9).
9. Blynk Application: Connects with the Blynk Server to display environmental data from the vegetable plot (No. 2) and control the water pump (No. 3).
10. Farm Management Application: Allows farmers to input farm activities and agricultural knowledge. It helps with crop planning and management, connecting to the cloud-based database (No. 7).
11. Big Data: In the future, as data accumulates, it can become a large database. Researchers can employ Deep Learning techniques to analyze environmental data and plant growth factors, creating predictive models for future agricultural planning.

C. Flow Chart

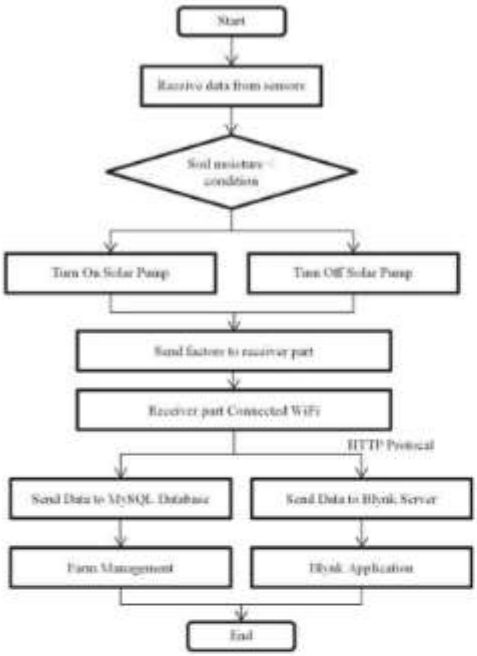


Fig. 2 Flow Chart

1. From Fig. 2, the working process consists of the following steps:
2. LoRa ESP32-V3 WiFi reads data from sensors such as temperature, humidity, light, NPK, and soil moisture.
3. When the soil moisture is below the specified condition, LoRa ESP32-V3 WiFi will activate the water pump. If it is equal to or above the condition, the water pump will be turned off.
4. Then, it sends the data to the data receiver kit (LoRa ESP32-V3 WiFi Sender Part).
5. The data receiver kit connects to the internet via a 4G router to store the data in the database and Blynk Server.
6. The data from the database is displayed on the farm management application and Blynk Application.

D. System Development

In this step, we will develop and create an IoT system consisting of the following:

1. IoT Devices

The devices used in this research include:

- ESP32 LoRa SX1278: 2 sets (one for data transmission and one for data reception)
- Soil Moisture Sensor: For measuring soil moisture
- BH1750FVI: For detecting light intensity
- DHT22: For measuring temperature and humidity
- NPK Sensor: For measuring soil values
- Solar Pump: Used for irrigation in the cultivation area
- Relay switch: Used to control the operation of the Solar Pump
- 4G Router with SIM card: Used for internet connectivity

The IoT devices as shown in Fig. 3.

Fig. 3 IoT devices

In Figure 2, the equipment used in this research includes:

1. ESP32 LoRa SX1278: Two sets are used for data transmission and reception.
2. Soil Moisture Sensors: Used to measure soil moisture in 10 plots, with 2 sensors per plot, totaling 20 sets. Installed at the head and end of each plot.
3. BH1750FVI: Measures light intensity in the cultivation area.
4. DHT22: Measures temperature and humidity in the cultivation area.
5. NPK Sensor: Measures soil values in the cultivation area.
6. Solar Pump: Used for irrigation in the vegetable plots.
7. Relay Switch: Controls the operation of the solar pump.

8. 4G Router with SIM Card: Used to connect to the internet for data transmission.

2. The hardware components consist of a data storage system with sensors (number 2) , a solar-powered water pump system (number 3), and a data reception system (number 5) as show in Fig. 4.

Fig. 4 Solar pump controller

3. The control command programming of the LoRa ESP32-V3 WiFi is responsible for reading data from various sensors and transmitting signals to the data reception system (number 5) as show in Fig. 5.

Fig. 5 Lora Sender

4. The control command programming of the LoRa ESP32-V3 WiFi is responsible for receiving data from the data transmission set (number 2) and sending signals through the Router 4 G WiFi to store the data on the cloud and Blynk Server, as shown in the example in Fig. 6.

Fig. 6 Receiver

E. LoRa System Diagram

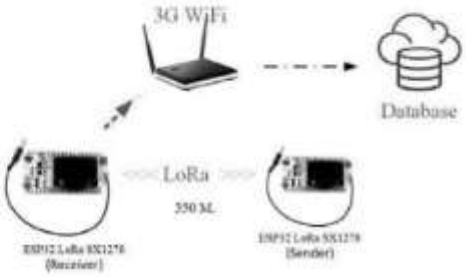


Fig. 7 LoRa System Diagram

In this research, the cultivation area could not utilize the telephone network signal. Therefore, the researchers designed and developed a tool that can transmit data from the cultivation area to be stored in a cloud database. As shown in Figure 7, data is transmitted from sensors using ESP32 LoRa SX1278 (Sender), which is responsible for sending the received data from various sensors to ESP32 LoRa SX1278 (Receiver). Then, ESP32 LoRa SX1278 (Receiver) connects to the internet via WiFi signal through a 3G Router to transfer the data to the cloud.

F. Calibration Process

The process of calibrating environmental sensors can be divided into several steps, depending on the complexity of the technology and the sensors involved, as follows:

1. Prepare Equipment and Measurement Tools: Gather the necessary tools for calibration, such as reference measurement devices and instruments for measuring the parameters to be calibrated, such as temperature and humidity.
2. Check Reference Values: Verify known reference values or standards to roughly calibrate the sensor.
3. Calibrate the Sensor: Adjust the sensor values to align with the reference values. Use the prepared tools for adjustment, which may involve positive or negative adjustments, until the sensor readings are close to the reference values.
4. Testing and Evaluation: Test the sensor's performance in various conditions to verify accuracy

and reliability of the obtained results. If there are discrepancies in measurements compared to reference values, additional calibration may be needed.

5. Record and Update Values: Record the values obtained from calibration and testing for future reference in real-world usage. If necessary, update sensor settings for future adjustments.
6. Inspection and Maintenance: Regularly inspect and maintain the sensor to preserve accuracy and efficiency in its usage. Periodic inspections may help ensure the correctness of measurements and the proper functioning of the sensor.
7. The process of sensor calibration is crucial to ensure that the instrument or system functions accurately and efficiently in measuring and monitoring the desired environmental conditions in various situations and applications.

G. Software Part

1. Blynk Application
   This part involves the development of the application using Blynk 2.0. In the development process, it includes creating a project on Blynk Server 2 using the web application and Blynk 2.0 on smartphones. The application displays environmental data obtained from sensors and also functions to control the operation of the water pump.

2. Farm Management Application
   This part involves the development of an application designed for farmers to manage their farms. It includes features such as crop management, creating planting schedules, plant care, monitoring planting data, recording harvests, and other related functionalities as shown in Fig. 7.

(a) (b)

(c) (d)

Fig. 4 Examples of farm management application screens.
(a) Main Menu.
(b) User Registration Screen.
(c) Crop Management.
(d) Farming Source Management.

H. Database

Storing environmental data from IoT devices in the cloud refers to the process of collecting and storing data obtained from internet-connected IoT devices using the storage space available on cloud systems. The cloud serves as a data storage repository that can be accessed over the internet.

When IoT devices receive environmental data such as temperature, humidity, light, sound, or other variables, they transmit the data to the cloud system, where it is stored in a database format. Cloud services, which offer flexibility and secure data storage, can be utilized for this purpose. This enables users to access and analyze the data from anywhere and at any time through the internet network.

Storing environmental data in the cloud offers numerous benefits. It allows for the simultaneous collection of data from multiple IoT devices and facilitates enhanced analysis and extraction of insights from the data. Additionally, it assists in efficient environmental management and monitoring by providing comprehensive and accurate information for decision-making and planning in various areas, such as natural resource management, environmental conservation, and future-oriented innovation related to the environment as show in Fig. 5.

Fig. 5 Example of data from IoT devices

I. Evaluate the system's effectiveness.

TABLE I. COMPARE TRADITIONAL VS IoT SYSTEM

	Crop Cultivation	
	Traditional Method	IoT-Controlled System
Cultivation Cycle (rounds)	3	5
Labor (person)	3	1
Water Quantity (tank/round	5	1
Watering Duration (hours/round)	2	3 minute

The table 1 presents a comparison between traditional crop cultivation and an IoT-controlled system based on several key parameters to emphasize the differences between the two methods.

Cultivation Cycle (rounds):

- Traditional Method: The traditional method involves a total of 3 cultivation rounds.
- IoT-Controlled System: The IoT-controlled system extends the cultivation cycle to 5 rounds, indicating that the IoT system allows for more frequent or longer cultivation cycles.

Labor (persons):

- Traditional Method: The traditional method requires 3 persons for the cultivation process.
- IoT-Controlled System: The IoT-controlled system reduces the labor requirement to only 1 person, highlighting the efficiency of the IoT system in labor utilization.

Water Quantity (tanks/round):

- Traditional Method: The traditional method requires 5 tanks of water per cultivation round.
- IoT-Controlled System: The IoT-controlled system reduces water usage to 1 tank per cultivation round, showcasing the water-saving capability of the IoT system.

Watering Duration (hours/round):

- Traditional Method: The traditional method necessitates 2 hours for watering in each cultivation round.
- IoT-Controlled System: The IoT-controlled system reduces the watering duration to only 3 minutes per cultivation round, underscoring the efficiency of the IoT system in managing watering processes.

In summary, the comparison shown that the IoT-controlled system offers advantages in terms of extended cultivation cycles, reduced labor requirements, water conservation, and improved coordination of watering processes. The IoT system demonstrates its potential to enhance efficiency and effectiveness in crop cultivation when compared to the traditional method.

III. CONCLUSION

The research findings on the application of IoT technology for safe vegetable cultivation in Ban Pangklang, Mae Korn Subdistrict, Muang District, Chiang Rai Province can be summarized as follows:

1. This research project is an application of smart agriculture concepts and the development of a smart agricultural system to elevate agricultural practices. It promotes and supports the Safe Vegetable Cultivation Project in Ban Pangklang, providing farmers with a sustainable livelihood, safe vegetables for consumption and sale, and creating job opportunities and income for the community. Furthermore, it serves as a learning and educational resource for other interested communities, contributing to alternative income through tourism development.

2. IoT technology is used to install sensors that monitor important environmental conditions for vegetable growth, such as temperature, humidity, light, and various parameters. The sensors send data to a cloud-based system for data storage and analysis in the future.

3. The Blynk 2.0 application is used to develop an app that can display environmental data from the sensors on smartphones and control the operation of water pumps to provide vegetables with suitable environmental conditions for growth.

4. A farm management application is developed to assist in the management of farms and crops. It can handle vegetable cultivation, such as creating cultivation cycles, plant care, checking cultivation data, and recording harvest data. This increases efficiency in management and creates a safe environment for vegetable cultivation.

5. Environmental data from IoT devices is stored on a cloud-based system, allowing users to access and analyze the data anytime, anywhere through the Internet network. The collection and analysis of data from multiple IoT devices enable knowledge extraction and the creation of more efficient operational plans.

The research on applying IoT technology for safe vegetable cultivation in Ban Pangklang, Mae Korn Subdistrict, Muang District, Chiang Rai Province has been successfully completed and has great potential in agricultural management, knowledge extraction, and decision-making for future agriculture and environmental conservation.

ACKNOWLEDGMENT

The researchers would like to express their gratitude to Chiang Rai Rajabhat University for providing financial support for this research. This support is of great importance in creating opportunities and inspiring the research team to develop innovative solutions that have a positive impact on promoting and building sustainable communities. The supportive and conducive environment at the university facilitates in-depth research. Additionally, it helps to strengthen the academic foundation and create valuable learning experiences for knowledge acquisition and innovative development for the future sustainability of the community.

REFERENCES

[1] Konjovic, Z., Petrovacki, D., and Govedarica, M. "Land Use Management Based on GPS Technology, and Satellite and Ground Remote Sensing Technologies," *In 2007 8th International Conference on Telecommunications in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Services*, IEEE, 2017, pp. 369-384.

[2] Pyingkodi, M., Thenmozhi, K., Karthikeyan, M., Nanthini, K., Martin, A. A., Deepak, P. V., and Jegan, K. "IoT technologies for precision agriculture: a survey," *In 2022 6th International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC)*, IEEE, pp. 372-376.

[3] Mahisharki, A. R., Halgamuge, M. N., Wirasagoda, W. S., and Syed, A. "Adoption of the Internet of Things (IoT) in agriculture and smart farming towards urban greening: A review," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 2019, vol. 10, no. 4, pp. 11-28.

[4] Shaikh, T. A., Rasool, T., and Lone, F. R. "Towards leveraging the role of machine learning and artificial intelligence in precision agriculture and smart farming," *Computers and Electronics in Agriculture*, 2022, vol. 198, pp. 107119.

[5] Terence, S., and Purushothaman, G. "Systematic review of Internet of Things in smart farming," *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, 2022, vol. 31, no. 6, pp. e3958.

[6] Gorli, R., and Yamini, G. "Future of smart farming with Internet of things," *Journal of Information Technology and Its Applications*, vol. 2, no. 1.

[7] Huang, K., Shu, L., Li, K., Yang, F., Han, G., Wang, X., and Pearson, S. "Photovoltaic agricultural internet of things towards realizing the next generation of smart farming," *IEEE Access*, 2022, vo. 8, pp. 76300-76312.

[8] Navarro, E., Costa, N., and Pereira, A. "A systematic review of IoT solutions for smart farming," *Sensors*, 2020, vol. 20, no. 15, pp. 4231.

[9] Doshi, J., Patel, T., and kumar Bharti, S. "Smart Farming using IoT, a solution for optimally monitoring farming conditions," *Procedia Computer Science*, 2019, vo. 160, pp. 746-751.

[10] Kamilaris, A., Gao, F., Prenafeta-Boldu, F. X., and Ali, M. I. "Agri-IoT: A semantic framework for Internet of Things-enabled smart farming applications," *In 2016 IEEE 3rd World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*, 2016, pp. 442-447.

Sumran chaikhamwang, Vijitra Montri and Yuttawhat Chailangkan 2021
International journal of industrial education and technology
Vol.3 No.1 (January – December)

THAI HERBS APPLICATION

Sumran Chaikhamwang*, Vijitra Montri, and Yuttawhat Chailangkan
E-Mail: em_sumran@crru.ac.th*, mwijitra@gmail.com, and yuttawhat@crru.ac.th

Received: June 23, 2021
Revised: July 7, 2021
Accepted: November 30, 2022

ABSTRACT

The purposes of this research were to develop Thai Herbs Application. The target group was the three experts into the development of application to evaluate the effectiveness of the application. The tools of this research were 1) Thai Herbs Application and 2) Evaluation form of Thai Herbs Application. Statistics used were mean and standard deviation. The research findings showed that an Thai Herbs Application helped facilitate the search using by photos and be used on smartphone that ran android operating system and predicted herbs photos by Auto ML Vision API. The Thai Herbs Application is divided into two parts. The first part is Mobile Application section. The ability of the application can search for four ways, including 1) camera, 2) pictures album, 3) herbs name, symptoms or diseases, and 4) voice. The second part is web application for administrator section to manages information such as herbal information, symptoms and diseases, contraindications and precautions for using herbs, and herbal medicine information. The results of the Thai Herbs Application performance evaluation was found that the overall result of the research was at the highest level, with the highest average ($\bar{X}$) = 4.46 and standard deviation (S.D) = 0.47.

Keywords: Applications; Search; Herbs; Photos

I. INTRODUCTION

Herbs are product of nature along with Thai society for a long time. There are many benefits that can be made into food ingredients, medicine, health care and many others (Ministry of Public Health, 2016, pp. 1-5). After the advancement of science and technology, the main of drug production has switched to chemicals than using herbs for treatment, as a result, the popularity of the herb dropped significantly which causes the knowledge of herbs to decrease. However nowadays the Thai government has a health policy that encourages people to be healthy both physically and mentally and promoting the development of biodiversity values and local wisdom.

From the aforementioned reasons, most people have focused on Thai wisdom about the use of many herbs because it has medicinal properties used in treatment and believed to have safer to use than modern medicine. In addition, the environment of Thailand is rich and diverse with plants. So, there is a lot of research and development going on to build knowledge of herbs to the released public many. It can be easily accessed such as documents, texts, books, websites, or applications that are used on smartphones,

Corresponding Author E-Mail: em_sumran@crru.ac.th
School of Computer and Information Technology. Chiangrai Rajabhat University. Chiang Rai 57100 Thailand

most of which are information in a manner that has advantages, such as cost of searching for information, storage, and the major problem in searching information is that the herbal name must be known to be able to search for that herb. In order to verify the herbal information correctly or not is difficult, it requires a specialized herbalist.

However, the advancement of technology has reduced many problems. It also has created more convenience, the one of technologies, that is machine learning. It is currently popular to use for image classification. Machine Learning is a branch of artificial intelligence developed from the study of recognition. It involves the study and creation algorithms that can learn data and predict data. The Machine Learning algorithm works based on a model built on the incoming trained dataset for further predictions or decisions replace work from step by step of computer programs and nowadays ordinary the computers programs can display images only and it cannot interpret or understand of the image.

Based on the above problems and sources, the researchers have the idea of solving and helping those interested in herbs to replacement for modern medicine by developing an application (app) to search herbs from photos. The researchers expect it can be increase the search channels of herbs to be more convenient and faster. It uses a machine learning technology known as Google 's Cloud Vision API to Image analysis. It is applied to the app to search for herbs from photographs and display information from the machine learning analysis, including herbal names, common names, scientific names, local names, general characteristics, pictures of herbs, therapeutic benefits, symptoms, and search by typing keywords such as herbal names, therapeutic properties, symptoms or diseases, as well as search from voice by speaking through the application. The research objectives are (1) to develop an application to search for herbal information from photographs and (2) to measure efficiency application to search herbal information from photographs.

II. LITERATURE REVIEW

In this research to achieve research objectives and can use it effectively and can provide information to users correctly. The researchers had studied the theoretical concepts for use in this research, including;

i. ***Machine Learning (ML)***

ML is the use of algorithms to classify and analyze data by learn from the data for create a model to predict the decisions or develop software to do the procedure prescribed by using methods of teaching machines to learn from The respective dataset (Liakos et al., 2018, pp. 1-29).

ML is the application of statistical models to computer-based data (Thai Programmers Association, 2018, Online). It is the best tool today to analyze, understand and shape data. The one of main concepts under ML is to teach computers to recognize information automatically. It uses data to pass into an algorithm that can understand the relationship between the input and the output at the end of learning a machine can predict new information (Engel et al., 2019, pp. 1-4).

Machine learning and image classification

Machine learning image analysis has been applied in many areas. For example, in archeology, including labeling, classification of artifacts, coin collections. The classification of the architectural architecture of the ancient pagoda (Phaudphut, 2018, Online) are agricultural examples such as the detection of plant diseases, detect weeds livestock management, water management and soil management (Phongchit, 2018, Online).

ii. ***API information from images.***

Nowadays the computers can display images but it cannot interpret or understand then means of images. The humans then created and developed MLs to help analyze images in the use of machine learning to find that image. Google currently has an image analysis API. From this study the researchers used a Google Vision® Api has and AutoML Vision® Each API provides a way for the user (Google Cloud, 2020, Online; Tangerine, 2015, Online).

a) Google Vision API

The Google Vision API is a machine learning service that reviews and extracts images, and has an OCR component that inspects text from images. The user can test by go to https://cloud.google.com/vision. https://cloud.google.com/vision. The nature of work is requested through the web service (REST) the api and encrypted data in its original format base64 encode to the server of a Google (Phongchit, 2018, Online). From the server analyzes the image and when the analysis is completed, it will display search results into five categories as follows.

1) Objects are the examination of objects within the images entity detection.

2) Labels are to read text within images (OCR) or display search results as text.

3) Can work on web to check with a logo inside the image or not (Logo detection).

4) Properties are the analysis and color separation (Color) in the image.

5) Safe search is to detect inappropriate images such as pornography by using the same engine as Google safe search in Google image search.

b) Auto ML Vision

Auto ML vision is a Google Cloud platform service that facilitates easy of ML modeling by delivering data to the system. It trains with the technology of Google to come out as a model that can be put to immediate use. It can be activated via the REST of API in which to run the model through a REST API with the following steps.

c) REST API

Step 1 Make a command to convert the image to Base64 format.

```
try
{
    val imgString: String? = Base64.encodeToString(getBytesFromBitmap(bitmap!!), Base64.NO_WRAP)

    val requestBody = ModelRequestBody(PayloadRequest(ModelImage(imgString)))
    Network( baseUrl: "https://automl.googleapis.com/v1beta1/", token_name: "$token_name", enableLog: tru
```

Figure 1: Convert the image to the Base64 format.

Step 2 Make a command to send pictures to https://automl.googleapis.com/v1beta1/ projects/project-automl-vision/locations/us-central1/models/titl data models that have the Train successful example in Figure 2.

```
Execute the request

curl -X POST -H "Content-Type: application/json" \
  -H "Authorization: Bearer $(gcloud auth application-default print-access-token)" \
  https://automl.googleapis.com/v1beta1/projects/project-automl-vision/locations/us-central1/models/TRL[illegible]:predict
```

Figure 2: A data model that can be classified as the Train successfully completed.

Step 3 Write command to execute API through REST API.

```
val imgString: String = Base64.encodeToString(getBytesFromBitmap(bitmap!!), Base64.NO_WRAP)

val requestBody = MediaRequestBody(PayloadRequest(Media(image=imgString)))
Network(baseUrl="https://automl.googleapis.com/v1beta1/", token_name="$token_name", enableLog=true).getRetrofitClient
    Callback<PayloadResult> {

    override fun onResponse(call: Call<PayloadResult>?, response: Response<PayloadResult>?) {
        if (response!!.isSuccessful) {
            Log.d("Hello", response?.body().toString())
            val label =  "${response?.body()?.items!!.first()?.displayName}"

            retrieveJSON(label)
        }
    }
```

Figure 3: Write commands to execute the API through the REST API.

III. METHODOLOGY

i. Research tools

a) Application to search herbal information from photos.

b) Performance appraisal Application to search herbal information from photos.

ii. Target group

Expert developer applications of three people to assess the performance image applications.

iii Research procedures

The researchers divided the research into five steps as follows.

a) Analysis

In this analysis process, the researcher has studied to develop an application to search from photos, text and to know the need for apply information technology to manage information about medicinal plants correctly and setting the purpose measurement and evaluation.

b) Design

The design phase is where the researcher uses the results of the analysis to design a photo-based herb search application, application performance assessment form, knowledge, and present information about medicinal plants divided into three parts as follows;

1) Application capabilities

The researchers designed the capability of the application into two parts include user and the administrator as follows;

General users

The users can use the application via smartphones/tablets running Android kitkat 4.4 or higher by downloading the Thai Herbs application to install on the device. The users can search for herbal information from photography, photo album, and herbarium name by typing or voice. They can search for medicinal plants with general characteristics or therapeutic properties based on symptoms or diseases.

Administrator

The administrator can add/edit/delete plant information such as medicine, recipes, other information, and show the status of herbs that have not been images taken for Machine Learning to learn in the Image Search API.

2. Design a user interface

The researchers had designed the user interface screen which is divided into two parts application and website as follows;

Application part contains the main page of the app, searching for herbs by photo in the shooting mode, and accessing by typing in the herb name. The output section includes show herbal information, treatment information precautions for use, search for herbal information by symptoms or properties, and website section for information management system.

Website part contain of the information management herbal consists of a login, main menu, information management, lists the herbs in database, symptom/disease display, adding symptoms/disease information, show contraindications and precautions, lists formulation of the additional drug information, and administrative management.

3. Database Design

Database design of application for photos herbs from the research database was designed using entities relationship model feature.

List of entities upon completion of the design phase is complete, the researcher leading the design was designed entities recognize innovation in all six entities which contain herbal data lineage information, symptoms and diseases, contraindications and precautions pharmacopoeia information, and admin information.

ER-Diagram when designing entities completed. The researchers designed the ER-Diagram as shown in Figure 4.

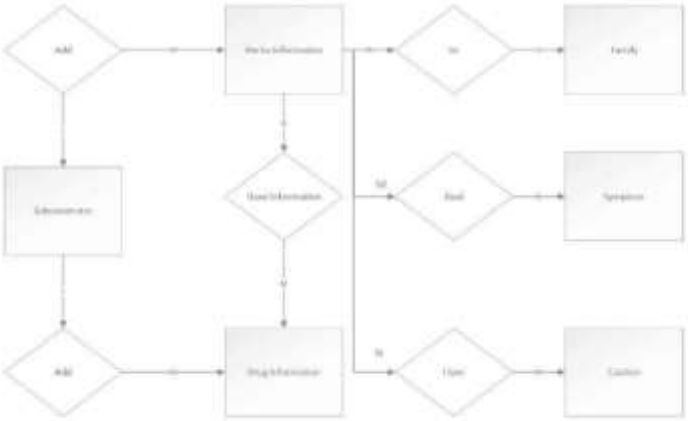


Figure 4: ER-Diagram of application to find herbs from photos.

Mapping Table

Once the ER-Diagram design was complete, the researchers had mapping tables. A total of eight tables contained the administrator, herbal, family information, symptom and disease information, formulation information, herbal properties, ingredient, and contraindications.

Data Dictionary

From ER-Diagram designed a total of eight data tables, the researchers had added a table of administrators, resulting in a total of nine tables of data as follows;

Table 1: shows the tables in the application database for finding herbs from photographs.

No.	Table name	Stored data	note
1	Herbs	Medicinal plant information	
2	Family	Family information	
3	Symptoms	Symptoms and disease information	
4	Formularies	Pharmacopoeia information	
5	Warnings	Contraindications and precautions	
6	Careful	Medicinal properties	
7	careful	Information, herbal advice	
8	Ingred	Information on ingredients of traditional medicine	
9	User	System Administrator	

Development

When the researchers had finished designing an application to search for herbs from photographs. The researchers took the part that had been designed for development which had the following development steps;

Algorithm design

The researchers designed the algorithm of the application into three parts as follows;

1. Save information about herbs such as herb description, symptoms/diseases, information, contraindications and precautions, and information pharmacopoeia.

2. Upload the image to the Image Search API and input herb's name of the image according to the herbal science name in the database.

3. Select a search type.

- Find the image.
  1) Upload image.
  2) Find Herbal Info from images using Image Search API.
- Search by typing the name, herb, symptom or disease
  1) Enter the name of the herb, symptom or disease.
  2) Search for herbal information by typing the herbal name, symptom or disease. corresponding to the search term in item 1.
- Search by speech, herbal name, symptom or disease.
  1) Name the herb, symptom or disease.
  2) Convert speech to text using Speech Recognition.
  3) Find herbal information from text converted from speech.

Herbs Information Management System

The researchers designed the herbs information management system that can be manipulated add/search/edit/delete by web application included herbal information, symptoms/disease, contraindications, and precautions list of drug recipes.

Application part

The application part was developed that run on smartphones to facilitate and easy to use for users finding the herbal information by photos from the camera, photo album, herbal name, and symptoms of the disease.

Implementation

The implementation part is the process of bringing the application to test the use that it works properly as designed.

Evaluation

The evaluation part is evaluated the results of the experiment with three application development experts to evaluate the effectiveness of the application and to collect data.

IV. RESULTS

i. Application development results to search for herbal information from photographs.

The researchers have developed application to search herbal information from photos according to the designed research procedure by using the data from the study and analysis to create an application to search for herbal information from photos. The results of the research are divided according to the user 's part into two parts: the admin and the user as follows;

Admin section

The admin section can manage various information such as herbal information, symptoms / disease, contraindications and precautions, herbal pharmacopoeia of user management, and part of the refresh token to access the API shown in Figure 6.

Main menu

Figure 6: The screen showing the main menu of the Herbal Information Management System.

Figure 7: Screen to add symptoms / disease information.

Figure 8: The screen for adding contraindications and cautions.

Figure 9: Manage herbs.

User part

The user part is part of the application that runs on the smartphone for facilitate and easy to use for users. It consists of the following parts: search from camera, photo album, herbal name, and search for the symptoms of the disease shown as Figure 10.

Figure 10: ThaiHERBS application.

From Figure 10, the application screen of the user section consists of 1) Shooting menu entering the camera mode for taking the pictures of herbs that want to search; 2) Album menu is to enter the photo album to select pictures of herbs that have been taken and want to search for herb information; and 3) Herbs menu for entering the herbal search page by herbal name by typing name or sound. When user speaks and the symptom menu goes to the herbal search page by properties, symptoms or disease, shown as an example in Figure 11-15 is shown in order as follows.

Figure 11: From camera.

Figure 12: From albums.

Figure 13: From name.

Figure 14: From voice.

Figure 15: From symptom.

From Figure 15, screen shots the searching by typing herbal names. The picture shows the herb search page and entering the name of the herb to search for information, press and hold the button to search by voice.

When the application searching information successfully, it will show the information as shown in Figure 16.

Figure 16: Herbal information screen.

ii. Verification of accuracy

In this research, the researchers examined the accuracy of the herb search by photographs. It was found that the accuracy depends on several factors from the four tests, namely the number of pictures of each herb with time to train photo clarity one herb in different locations. The search accuracy was found as shown in Table 2.

Table 2: Photo search test for herbs.

Herb	Number of pictures	Number of times in search	Search results		% Found
			found	Not found	
Cat grass	17	20	3	17	15
Cha Phlu	50	20	15	5	70
Yanang leaves	20	20	3	17	15
Pea	60	20	15	5	75
Parsley	48	20	16	4	80
Aloe vera	80	20	18	2	90
Plukaw	60	20	17	3	85
Vegetables	46	20	14	6	70

In addition, the researchers found that the duration of the train data affects the accuracy of applications, the more time it takes to train, the higher the accuracy. For example, the following example shown in Figure 17.

Figure 17: Comparison of data models.

iii. Evaluate performance

The researchers had submitted to the expertise of three people to assess the performance of the present studies which were analyzed using descriptive statistics and compared the results as shown in Table 3. This research has interpreted the mean efficiency results as follows.

4.50 - 5.00 Most effective
3.50 - 4.49 Very effective
2.50 - 3.49 Medium efficiency
1.50 - 2.49 Low efficiency
0.00 - 1.49 Minimal efficiency

Table 3: Results for evaluation of the efficacy of herbs search application by photo.

The assessment	$\bar{X}$	SD	Interpret results
1. The application allows the user to work with ease, use, and simplicity.	4.50	0.30	The most
2. The application is accurate and reliable.	4.54	0.37	The most
3. Applications are versatile, flexible, and multi-channel search capabilities.	4.35	0.45	very
4. The app can run continuously without errors.	4.36	0.36	very
5. Applications can be applied to a wide variety of plants.	4.54	0.37	The most
Total	**4.46**	**0.47**	**The most**

The results as a whole is at the highest level ($\bar{X}$ = 4.46, the SD = 0.47) when considering issues are at the top on an application allowing users to perform convenient, intuitive, and uncomplicated. The application can be applied to a wide variety of plants ($\bar{X}$ = 4.5 4, SD = 0.37), the application has the accuracy and reliability, followed by applications, functional, convenient, intuitive, and uncomplicated ($\bar{X}$ = 4. 50, the SD = 0.31), the lower levels of the application can run continuously without errors ($\bar{X}$ = 4 3 6 . SD = 0.37) and the application side has a wide range of capabilities, and flexible using can be searched for information in multiple channels ($\bar{X}$ = 4. 35, SD = 0.45).

V. CONCLUSION AND DISCUSSION

The Thai Herbs Application is the tool for facilitating the search of thai herbs information, divided into two parts. The first part is mobile application section. The ability of the application can search for four ways including 1) camera, 2) pictures album, 3) herbs name, symptoms or diseases, and 4) voice. It can be used on smartphone that runs android operating system and predicts herbs photos by Auto ML Vision API. The second part is web application for administrator section to manages information such as herbal information, symptoms and diseases, contraindications and precautions for using herbs, and herbal medicine information.

The results of the Thai Herbs Application performance evaluation were found that the overall result of the research was at the highest level, with the highest average was 4.46 and standard deviation was 0.47.

REFERENCE

Engel, C., Mangiafico, P., Issavi, J., & Lukas, D. (2019). Computer vision and image recognition in archaeology. In H. Wang, K. Webster, N. Nystrom, & P. Buitrago (Eds.). *AIDR '19: Proceedings of the Conference on Artificial Intelligence for Data Discovery and Reuse* (pp. 1-4). ACM Digital Library.

Google Cloud. (2020). AutoML vision beginner's guide. https://cloud.google.com/vision/automl/docs/beginners-guide.

Liakos, K. G., Busato, P., Moshou, D., Pearson, S., & Bochtis, D. (2018). Machine learning in agriculture: A review. *Sensors, 18*(8), 1-29.

Ministry of Public Health. (2016). The national master plan on Thai herb development No. 1 B.E. 2017-2021. (in Thai)

Phaudphut, C. (2018). *Optical Character Recognition (OCR).* https://medium.com/@comdetphaudphut/ (in Thai)

Phongchit, N. (2018). *Basic machine learning.* https://medium.com/convolab/machine-learning-basics-2b38700cb10b (in Thai)

Tangerine. (2015). *Building a machine learning model "Som Turn" with auto ML vision.* https://www.tangerine.co.th/news-events/การสร้าง-ml-model-ส้มสี่-ด้วย-auto-ml-vision (in Thai)

Thai Programmers Association. (2020). *Machine learning (machine learning) and deep learning.* https://www.thaiprogrammer.org/2018/12/Machine-le/ (in Thai)

Ratchaphruek Journal Vol. 22 No. 5 (September-December 2024) 161-171

การบูรณาการคณิตศาสตร์ร่วมกับเนื้อหาดาราศาสตร์ในวิชาวิทยาศาสตร์ โดยใช้กระบวนการจัดการเรียนรู้แบบ STEM-SML^2 แบบมุ่งเป้า

Integration of Mathematics and Astronomy via a Goal-focused STEM-SML^2 Model of Learning Management Process

วิทยา พูลสวัสดิ์[1], คมกริช แก้วพนัส[2], อนุสรณ์ ดองอ่อน[3], ปริญญา สาเพชร[4] และมีชัย เทพนุรัตน์[5*]

Wittaya Pulsawad[1], Komkrich Kaewpanus[2], Anusorn Tong-on[3], Parinya Saphet[4] and Meechai Thepnurat[5*]

(Received: Jul. 2, 2024; Revised: Aug. 6, 2024; Accepted: Aug. 9, 2024)

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาการจัดกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ STEM-SML^2 เนื้อหาดาราศาสตร์ในวิชาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 2) ศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนจากการจัดกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ STEM-SML^2 3) ศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนต่อการจัดการเรียนการสอนในการจัดการเรียนรู้ STEM-SML^2 กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ นักเรียนระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2566 จำนวน 1 ห้องเรียน จำนวน 27 คน จากการสุ่มตัวอย่างแบบแบ่งกลุ่ม (Cluster sampling) เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ เครื่องมือในการทดลอง คือ แผนการจัดการเรียนรู้ STEM-SML^2 เครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล คือ แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์และแบบสอบถามความพึงพอใจ วิเคราะห์ข้อมูลโดย การหาค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และสถิติ t-test แบบ dependent ผลจากการศึกษา พบว่า แผนการจัดการเรียนรู้ STEM-SML^2 มีเนื้อหาดาราศาสตร์ในวิชาวิทยาศาสตร์เป็นหลักโดยการบูรณาการ เนื้อหาวิชาคณิตศาสตร์ วิทยาการคำนวณและใช้ภาษาอังกฤษในการสื่อสาร จำนวน 5 แผน เวลา 15 ชั่วโมง คะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนจากการจัดการเรียนรู้แบบ STEM-SML^2 หลังเรียน ($\overline{X}$ = 23.74, S.D. = 2.44) สูงกว่าคะแนนก่อนเรียน ($\overline{X}$ = 11.82, S.D. = 2.62) อย่างมีนัยสำคัญที่ .05 และนักเรียนมีความพึงพอใจเกี่ยวกับการจัดการเรียนรู้ในภาพรวม ($\overline{X}$ = 4.35, S.D. = 0.71) อยู่ในระดับมาก

คำสำคัญ: การบูรณาการการเรียนการสอน สะเต็มศึกษา การสอนวิทยาศาสตร์ การจัดการเรียนรู้เชิงรุก

[1] โปรแกรมวิชาคณิตศาสตร์ คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย, เชียงราย 57100
Mathematics program, Faculty of Education Chiang Rai Rajabhat University, Chiang Rai 57100, Thailand
[2] โปรแกรมวิชาชีววิทยา คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย, เชียงราย 57100
Biology program, Faculty of Education Chiang Rai Rajabhat University, Chiang Rai 57100, Thailand
[3,4,5] โปรแกรมวิชาฟิสิกส์ คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย, เชียงราย 57100
Physics program, Faculty of Education Chiang Rai Rajabhat University, Chiang Rai 57100, Thailand
*Corresponding author, e-mail: tmeechai14@gmail.com

ABSTRACT

This research aimed to 1) develop STEM-SML² learning management for the Astronomy unit in the Science and Mathematics course for Prathomsuksa 4 students, 2) study the impact of STEM-SML² learning management on student achievement, and 3) examine students' satisfaction with the STEM-SML² learning management approach. The sample group, selected through cluster sampling, consisted of 27 Prathomsuksa 4 students from a class at Chiang Rai Rajabhat University Demonstration School in the second semester of the 2023 academic year. The research instruments included a STEM-SML² lesson plan used during the experiment, a questionnaire, and an achievement test. Data were analyzed using mean, standard deviation, and dependent t-test. The results indicated that, over five lesson plans spanning 15 hours, the astronomy content was primarily integrated into science, with additional incorporation of mathematics, computational science, and English for communication into the school curriculum. Students' achievement test scores after the STEM-SML² learning management were significantly higher than their scores before the intervention at the .05 level of significance. The average pre-test score was 11.82 (S.D. = 2.62), while the average post-test score was 23.74 (S.D. = 2.44). Additionally, students expressed high satisfaction with the STEM-SML² learning management, with an average satisfaction score of 4.35 ($\bar{X}$ = 4.35, S.D. = 0.71).

Keywords: Integrated instruction, STEM Education, Science education, Active learning

บทนำ

สภาวะการศึกษาในปัจจุบันระดับโลกมุ่งมั่นในการสร้างประชากรที่มีศักยภาพและทักษะที่เป็นประโยชน์ต่ออนาคตของสังคมและเศรษฐกิจ ด้วยการเน้นการพัฒนาทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 (21st Century skills) ผ่านกระบวนการเรียนการสอนที่เน้นการคิดสร้างสรรค์ของนักเรียน และเกิดจากการเรียนรู้ผ่านปฏิสัมพันธ์และปฏิสัมพันธ์จริง โดยสถาบันการศึกษาและครูทั้งหลายพยายามออกแบบและส่งเสริมให้นักเรียนได้เรียนรู้จากประสบการณ์ การพัฒนาทักษะในการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการตัดสินใจเป็นสิ่งสำคัญ กระทรวงศึกษาธิการเข้าใจถึงความสำคัญของการสร้างคุณภาพในการศึกษา เพื่อเตรียมความพร้อมให้นักเรียนมีทักษะที่เหมาะสมกับอุตสาหกรรมและสังคมในยุคของ AEC ซึ่งเริ่มต้นขึ้นในปี พ.ศ. 2558 ดังนั้นการปรับปรุงยุทธศาสตร์การศึกษาให้เน้นทักษะที่สอดคล้องกับอุตสาหกรรมและสังคมในยุค AEC เป็นสิ่งสำคัญ (กระทรวงศึกษาธิการ, 2565, น. 14-21)

Ratchaphruek Journal
Vol. 23 No. 5 (September - December 2024)

การศึกษาในรูปแบบใหม่จึงเป็นสิ่งจำเป็นและสำคัญเพื่อพัฒนานักเรียนสู่อนาคต ซึ่งจำเป็นต้องมีความหลากหลาย เพื่อส่งเสริมและพัฒนาสำหรับนักเรียนในยุคอนาคต โดยการเริ่มต้นที่ระดับประถมศึกษาจะช่วยให้นักเรียนพร้อมที่จะเรียนรู้ในมิติต่างๆ ทั้งด้านทักษะพุทธิพิสัย ทักษะคิดเชิงวิจารณญาณและจิตพิสัย ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการสร้างสรรค์นวัตกรรมและเทคโนโลยี ครูผู้สอนจะต้องเข้าใจและมีมุมมองเกี่ยวกับการทำงานของสมองของนักเรียน โดยการใช้ทฤษฎีของ Posner (2008) ได้กล่าวถึงความสำคัญของ Executive attention ในการเรียนรู้ ซึ่งเป็นหลักการสำคัญที่นำไปสู่การจัดการเรียนรู้ที่เหมาะสม ตลอดจนช่วยให้นักเรียนเรียนรู้ได้ดีและรวดเร็วยิ่งขึ้น โดยการสร้างบทเรียนที่สอดคล้อง กับความต้องการของ Executive attention ของสมองของนักเรียน การแนะนำนี้ได้มีการประยุกต์ใช้และได้รับความสำเร็จในปี 2014 และเป็นการเรียนรู้สำคัญสำหรับการพัฒนาศึกษาในปัจจุบันและอนาคต

การจัดการเรียนรู้ที่เหมาะสำหรับ Executive attention เป็นกระบวนการที่นักเรียนได้เป็นผู้สร้างความเข้าใจทฤษฎีหรือกฎต่างๆ ผ่านการปฏิบัติจริง และเป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาทักษะการคิดตั้งคำถาม แก้ปัญหา การหาข้อมูล และการวิเคราะห์ข้อความใหม่ๆ พร้อมทั้งสามารถนำไปใช้หรือบูรณาการกับชีวิตประจำวันได้ ในกรณีของการจัดการเรียนรู้รูปแบบสะเต็มศึกษา (STEM) คำว่า "STEM" ย่อจากภาษาอังกฤษ 4 สาขาวิชาที่มีความเชื่อมโยงกันอย่างแนบแน่น ได้แก่ วิทยาศาสตร์ (Science) เทคโนโลยี (Technology) วิศวกรรมศาสตร์ (Engineering) และคณิตศาสตร์ (Mathematics) ซึ่งถือเป็นองค์ความรู้ที่สำคัญในการดำเนินชีวิตและการทำงานในโลกปัจจุบัน การจัดการเรียนรู้ ตามแนวทางสะเต็มมีลักษณะการเรียนรู้ที่เน้นการบูรณาการ เชื่อมโยงเนื้อหาวิชาทั้ง 4 กับชีวิตประจำวันและการทำงาน การพัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21 จะท้าทายความคิดของนักเรียน และเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นและความเข้าใจที่สอดคล้องกับเนื้อหาทั้ง 4 วิชา แม้ว่าในบางพื้นที่ยังมีการปฏิเสธแนวคิดของ STEM เนื่องจากการบูรณาการเน้นการประยุกต์ใช้องค์ความรู้ อาจทำให้มีความหลากหลายและกว้างในส่วนของเนื้อหาอีกทั้งยังขาดการมุ่งเน้นในส่วนของเนื้อหาอื่นๆ ดังนั้นการพัฒนา STEM ควรมีการมุ่งเน้นที่หลากหลายมากขึ้น และมีการนำเอาศาสตร์อื่นๆ เข้ามาประยุกต์ใช้ในรูปแบบใหม่ เช่น การพัฒนา STEAM (วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรม ศิลปะ และคณิตศาสตร์) เพื่อให้การเรียนรู้เป็นไปอย่างเหมาะสมและตอบสนองต่อความต้องการของนักเรียนในสถานการณ์และบริบทต่างๆ การพัฒนานี้เป็นการที่มีประสิทธิภาพและได้รับการยอมรับจากหลายประเทศทั่วโลก เนื่องจากสามารถสร้างการเรียนรู้ที่น่าสนใจและมีประสิทธิภาพสำหรับนักเรียนได้ดี (Quinn, 2012; Vasquez, Sneider & Comer, 2013)

กระบวนการจัดการเรียนรู้รูปแบบ STEM เป็นหนึ่งในรูปแบบของการจัดการเรียนรู้เชิงรุก (Active learning) ที่มีความสำคัญในการกระตุ้นความตื่นตัว ความตั้งใจ การคัดกรอง และการคัดเลือกในการเรียนรู้ของผู้เรียน ซึ่งเป็นไปตามธรรมชาติการทำงานของสมอง การพัฒนานี้นำมาเพื่อให้ผู้เรียน

Ratchaphruek Journal
Vol. 22 No. 3 (September - December 2024)

มุ่งเน้นเนื้อหาบางเรื่องในช่วงเวลาที่เหมาะสมสำหรับการเรียนรู้ให้มากที่สุด การวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นการพัฒนากระบวนการจัดการเรียนรู้รูปแบบ STEM-SML^2 ถูกออกแบบเพื่อเสริมสร้างการเรียนรู้ตามหลักการ STEM และการทำงานของสมองในการเรียนรู้ของนักเรียนชั้นประถม ซึ่งสามารถเพิ่มความสามารถในการคิดแบบวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ และสร้างสมรรถนะในการใช้ภาษา Coding languages และภาษาสื่อสาร English languages ในการสื่อสารและการอ่านวิเคราะห์เชิงวิทยาศาสตร์ โดยใช้เนื้อหาที่เหมาะสมกับผู้เรียนตามช่วงวัย ซึ่งได้นำเสนอในรูปแบบของการสอนและการดำเนินกิจกรรม โดยเน้นเนื้อหาดาราศาสตร์และคณิตศาสตร์ และการใช้ภาษาอังกฤษในการสื่อสารผ่านการศึกษาเชิงประจักษ์กับนักเรียนระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ด้วยความมุ่งมั่นในการสร้างประสบการณ์การเรียนรู้ที่น่าสนใจและมีประสิทธิภาพสำหรับนักเรียน นักวิจัยได้นำเสนอแนวคิดใหม่เรื่องการจัดการเรียนรู้ภายใต้กรอบงานวิจัยนี้ ซึ่งจะเป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวางในวงการการศึกษา

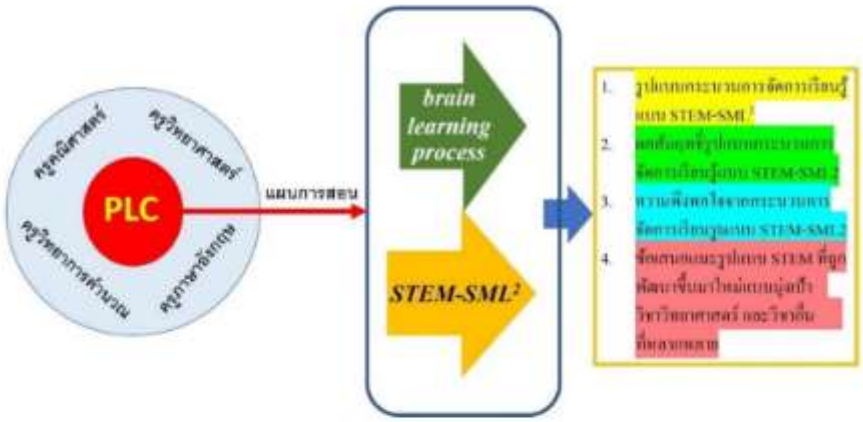
วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนาการจัดกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ STEM-SML^2 ในเนื้อหาดาราศาสตร์และคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4
2. เพื่อศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนการจัดกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ STEM-SML^2 ในเนื้อหาดาราศาสตร์และคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4
3. เพื่อศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนต่อการจัดการเรียนการสอนในการจัดกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ STEM-SML^2 ในเนื้อหาดาราศาสตร์และคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4

กรอบแนวคิดในการวิจัย

การวิจัยนี้เริ่มต้นด้วยการนำเสนอปัญหาและความต้องการในการพัฒนากระบวนการจัดการเรียนรู้ STEM โดยใช้กระบวนการ PLC (Walubengo, Kyalo, and Mulwa, 2019, pp. 1-7; จตุรงค์ ธนะลีลังกูร, 2565, น. 69-84) เพื่อสร้างแผนการเรียนรู้ของกระบวนการจัดการเรียนรู้แบบ STEM-SML^2 ให้สอดคล้องกับกระบวนการทำงานของสมองผู้เรียน Brain learning process ซึ่งผลการวิจัยนี้นำไปสู่การพัฒนากระบวนการจัดการเรียนรู้แบบ STEM-SML^2 และศึกษาผลสัมฤทธิ์และความพึงพอใจของกระบวนการจัดการเรียนรู้แบบ STEM-SML^2 นอกจากนี้จะช่วยสร้างกระบวนการจัดการเรียนรู้แบบ STEM-SML^2 แบบมุ่งเป้าที่หลากหลายรูปแบบมากขึ้น ดังภาพที่ 1

Rajchaphruek Journal
Vol. 11 No. 3 (September - December 2024)



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัยหลัก

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ คณะผู้วิจัยใช้แบบแผนการวิจัยแบบกลุ่มเดียววัดผลก่อนทดลองและหลังการทดลอง (One-group pretest posttest design) (มาเรียม นิลพันธุ์, 2558, น. 144)

$$O_1 \text{---------} X \text{---------} O_2$$

O_1 หมายถึง การทดสอบก่อนเรียนของกลุ่มทดลอง

O_2 หมายถึง การทดสอบหลังเรียนของกลุ่มทดลอง

X หมายถึง การจัดการเรียนการสอนตามแผนของกลุ่มทดลอง

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1.1 ประชากร ได้แก่ นักเรียนระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2566 จำนวน 3 ห้องเรียน รวมทั้งสิ้น 99 คน

1.2 กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ นักเรียนระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2566 จำนวน 1 ห้องเรียน จำนวน 27 คน ได้มาจากการสุ่มตัวอย่างแบบแบ่งกลุ่ม (Cluster sampling) (บุญชม ศรีสะอาด, 2556, น. 44-49)

1.3 เนื้อหาที่นำมาใช้ในการวิจัย จัดทำเป็นรูปแบบการจัดการเรียนการสอนรายวิชาวิทยาศาสตร์เนื้อหาดาราศาสตร์ โดยการบรูณาการเนื้อหากับวิชาคณิตศาสตร์ วิทยาการคำนวณ และใช้ภาษาอังกฤษในการสื่อสาร ระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 15 ชั่วโมง

1.4 ตัวแปรต้น ได้แก่ การจัดการเรียนรู้ด้วยรูปแบบการจัดการเรียนรู้ STEM-SML^2 ในเนื้อหาดาราศาสตร์และคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4

1.5 ตัวแปรตาม ได้แก่ ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความพึงพอใจของนักเรียนต่อการจัดการเรียนการสอนในกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ STEM-SML^2

2. การเก็บรวบรวมขอมูล

2.1 เครื่องมือในการทดลอง การพัฒนากระบวนการกิจกรรมจัดการเรียนรู้แบบ STEM-SML^2 เป็นการพัฒนาต่อยอดจากการจัดการเรียนการสอนในรูปแบบ STEM เป็นฐานและเน้นวิชาวิทยาศาสตร์ (S) บรูณาการเนื้อหาวิชาคณิตศาสตร์ (M) และวิทยาการคำนวน (L) โดยมีกระบวนการพัฒนา ดังนี้

2.1.1 ขั้นสำรวจความคิดเห็นของครูระดับชั้นประถมศึกษา เริ่มต้นด้วยการสำรวจความคิดเห็นของครูระดับชั้นประถมศึกษาผ่านการจัดกลุ่มในชุมชนแห่งการเรียนรู้ (PLC) เป็น 5 กลุ่ม โดยมีประเด็นปัญหาร่วมกันเกี่ยวกับความต้องการที่จะพัฒนากระบวนการจัดการเรียนการสอนเนื้อหาวิชาวิทยาศาสตร์ เพื่อส่งเสริมสรรถนะแห่งอนาคตในศตวรรษที่ 21 โดยใช้เครื่องมือแบบวิเคราะห์ปัญหาภาพต้นไม้ มีการดำเนินการทั้งหมด 3 วงรอบ โดยมีครูและนักศึกษาครูที่สอนในวิชาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ วิทยาการคำนวณ และภาษาอังกฤษ ในทุกกลุ่มทั้ง 5 กลุ่ม ได้ผลสรุปในแผนภาพต้นไม้ของแต่ละกลุ่ม (Walubengo, Kyalo & Mulwa, 2019, pp. 1-7) จาก PLC วงรอบที่ 1 เป็นการเสนอปัญหาและแสดงความคิดเห็นต่อการจัดการเรียนรู้ในรูปแบบเดิม วงรอบที่ 2 ในการนำเสนอและอภิปรายเกี่ยวกับกระบวนการจัดการเรียนรู้แบบ STEM-SML^2 และวงรอบที่ 3 ในการวิเคราะห์และสรุปกระบวนการจัดการเรียนรู้แบบ STEM-SML^2 อย่างละเอียด

2.1.2 ออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้แบบ STEM-SML^2 แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และแบบประเมินความพึงพอใจในการจัดการเรียนรู้ (การทำ PLC วงรอบที่ 4) จากการศึกษาความต้องการและปัญหาที่ได้ นำมาสู่การศึกษาแนวทางการจัดการเรียนรู้จากเอกสาร ตำรา หลักสูตรฯ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทำการออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้แบบ STEM-SML^2 และแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ถูกออกแบบจากคณะครูและทีมวิจัย ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แผนการจัดการเรียนรู้เชิงรุกรูปแบบ STEM-SML^2 โดยมีเนื้อหาดาราศาสตร์ในวิชาวิทยาศาสตร์เป็นหลัก

ที่	แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่องดาราศาสตร์ วิทยาศาสตร์ (S)	บูรณาการรายวิชา			เวลา (ชั่วโมง)
		คณิตศาสตร์ (M)	วิทยาการคำนวณ (L)	ภาษาอังกฤษในการสื่อสาร (L) ร้อยละ	
1	ระบบสุริยะ อวกาศ ดาวหาง ดาวเคราะห์น้อย	ผลบวก ผลลบ ของทศนิยม ไม่เกิน 3 ตำแหน่ง	-การใช้เหตุผลเชิงตรรกะในการแก้ปัญหา -การแก้ปัญหาอย่างเป็นขั้นตอน	20	3

Ratchaphruek Journal
Vol. 22 No. 5 (September - December 2024)

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ที่	แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่องดาราศาสตร์ วิทยาศาสตร์ (S)	บูรณาการรายวิชา			เวลา (ชั่วโมง)
		คณิตศาสตร์ (M)	วิทยาการคำนวณ (L)	ภาษาอังกฤษในการสื่อสาร (L) ร้อยละ	
2	ดาวฤกษ์ ความสำคัญ แสง พลังงาน	การวัด	- การใช้เหตุผลเชิงตรรกะในการแก้ปัญหา - การแก้ปัญหาอย่างเป็นขั้นตอน	40	3
3	ดาวตก อุกกาบาต และการเกิดดาวหาง	เปรียบเทียบและเรียงลำดับจำนวนนับ	- การใช้เหตุผลเชิงตรรกะในการแก้ปัญหา - การแก้ปัญหาอย่างเป็นขั้นตอน	60	3
4	การโคจรของดาว	วัดและสร้างมุม	- การใช้เหตุผลเชิงตรรกะในการแก้ปัญหา - การแก้ปัญหาอย่างเป็นขั้นตอน	80	3
5	แบบจำลองระบบสุริยะ	ระบบจำนวนการดำเนินการของจำนวน	- การจัดทำอัลกอริทึม - การใช้เหตุผลเชิงตรรกะในการแก้ปัญหา -การแก้ปัญหาอย่างเป็นขั้นตอน	100	3

จากตารางที่ 1 แผนการจัดการเรียนรู้เชิงรุกรูปแบบ STEM-SML^2 จำนวน 5 แผน เวลา 15 ชั่วโมง โดยมีเนื้อหาดาราศาสตร์ในวิชาวิทยาศาสตร์เป็นหลักกำหนดเนื้อหาดาราศาสตร์โดยการบรูณาการเนื้อหาวิชาคณิตศาสตร์ วิทยาการคำนวณและใช้ภาษาอังกฤษในการสื่อสารในการจัดการเรียนการสอนเพิ่มระดับการสื่อสารในการจัการเรียนการสอนคิดเป็นร้อยละ 20, 40, 60, 80 และ 100 ตามลำดับ

2.1.3 การสนทนากลุ่ม (Focus group) แผนการจัดการเรียนรู้แบบ STEM-SML^2 แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และแบบประเมินความพึงพอใจในการจัดการเรียนรู้ (การทำ PLC วงรอบที่ 5) โดยผู้เชี่ยวชาญจากมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ด้านการสอนวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์และภาษาอังกฤษ วิชาละ 1 ท่าน คณะครู นักศึกษาและคณะผู้วิจัย ทำการถอดเทปบทสนทนาอย่างละเอียด เพื่อให้ได้ข้อมูลครบถ้วน วิเคราะห์ข้อมูลโดยการตีความหมายในรูปของการวิเคราะห์เนื้อหา อภิปรายโดย คณะครู นักศึกษาและคณะผู้วิจัย จากนั้นทำการปรับปรุงกระบวนการจัดการเรียนรู้และภาษาที่ใช้สื่อสารให้เหมาะสมตามคำแนะนำ

2.2 เครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล

2.2.1 นำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง ดาราศาสตร์ แบบปรนัย 4 ตัวเลือก จำนวน 30 ข้อ ที่ผ่านการการสนทนากลุ่ม ตรวจประเมินความตรงเชิงเนื้อหาจากผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนวิทยาศาสตร์ จำนวน 3 ท่าน พบว่า ค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างจุดประสงค์และคำถาม (IOC) เท่ากับ 1.00 ทุกข้อ และนำแบบทดสอบที่ผ่านการประเมินไปทดลองใช้กับนักเรียนระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 ของโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย จำนวน 30 คน มีค่าความยากง่ายอยู่ระหว่าง 0.27-0.56 อำนาจจำแนกอยู่ระหว่าง 0.24-0.63 และค่าความเชื่อมั่นของข้อสอบทั้งฉบับโดยวิธีของคูเดอร์-ริชาร์ดสัน (KR-20) เท่ากับ 0.79

2.2.2 แบบประเมินความพึงพอใจในการจัดการเรียนรู้ที่ผ่านการการสนทนากลุ่ม ตรวจประเมินความสอดคล้องระหว่างจุดประสงค์และคำถาม โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน พบว่าค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างจุดประสงค์และคำถาม (IOC) มีค่าระหว่าง 0.67-1.00 และมีค่าความเชื่อมั่นสัมประสิทธิ์แอลฟาครอนบาค เท่ากับ 0.87

2.3 การใช้แผนการจัดการเรียนรู้ตามกระบวนการจัดการเรียนรู้รูปแบบ STEM-SML^2 นำแผนการจัดการเรียนรู้กระบวนการจัดการเรียนรู้แบบ STEM-SML^2 จำนวน 5 แผน เวลา 15 ชั่วโมง ไปใช้จัดการเรียนรู้กับนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 27 คน ระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ในภาคเรียนที่ 2/2566 โดยมีผู้สอนหลักเป็นครูในวิชาวิทยาศาสตร์ทำการสอนในชั่วโมงวิทยาศาสตร์ หลังการจัดการเรียนการสอนผู้เรียนทุกคนจะได้ทำแบบประเมินความพึงพอใจในการจัดการเรียนรู้

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 วิเคราะห์ผลการเรียนจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการจัดการเรียนรู้แบบ STEM-SML^2 (การทำ PLC วงรอบที่ 6) เพื่อสรุปผลการพัฒนาการจัดกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ STEM-SML^2 เขียนรายงานสรุปผล

3.2 การวัดผลผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนจากกระบวนการจัดการเรียนรู้แบบ STEM-SML^2 ทำการทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียน เพื่อศึกษาเปรียบเทียบคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียน โดยใช้สถิติ t-test แบบ dependent

3.3 การสำรวจความพึงพอใจในการเรียนรู้ด้วยกระบวนการจัดการเรียนรู้แบบ STEM-SML^2 หลังจากการเรียน โดยใช้สถิติ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และทำการแปลความหมายจากค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของผู้เรียนตามเกณฑ์ระดับความพึงพอใจ

4. สถิติที่ใช้ในการวิจัย

4.1 สถิติที่ใช้ในการทดสอบเปรียบเทียบคะแนนผลสัมฤทธิ์ของคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียนโดยใช้สูตร t-test แบบ dependent

Rajchaphruek Journal
Vol. 11 No. 3 (September - December 2014)

4.2 สถิติที่ใช้ในการหาความพึงพอใจของผู้เรียน คือ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน การแปลความหมายจากค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของผู้เรียนตามเกณฑ์ระดับความพึงพอใจ ดังนี้ 4.50-5.00 (มากที่สุด), 3.50-4.49 (มาก), 2.50-3.49 (ปานกลาง), 1.50-2.49 (น้อย) และ 1.00-1.49 (น้อยที่สุด) (บุญชม ศรีสะอาด, 2556, น. 121)

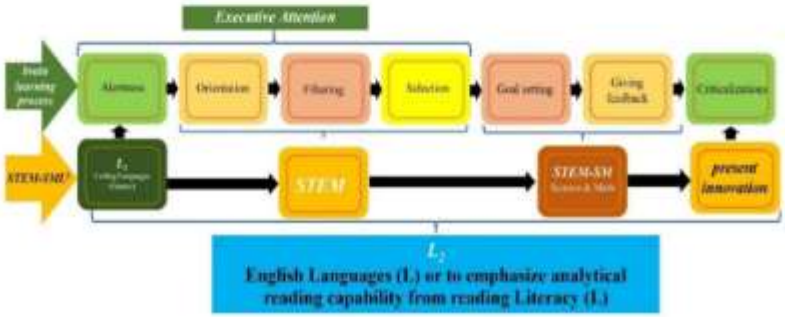
ผลการวิจัย

1. ผลการพัฒนาการจัดกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ STEM-SML^2 ในเนื้อหาดาราศาสตร์ และคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 จากการดำเนินการในขั้นตอนแรกผลการสำรวจความคิดเห็น ของครูระดับชั้นประถมศึกษาด้วยกระบวนการ PLC ในวงรอบที่ 1 และ 2 โดยเครื่องมือที่ใช้ คือ รูปแบบแผนภาพต้นไม้ นำไปสู่การพัฒนากระบวนการจัดการเรียนรู้แบบ STEM แบบมุ่งเป้าหมายในการจัดการเรียนรู้ที่เน้นเนื้อหาทางวิชาการ และมีความหลากหลายมีรูปแบบที่ชัดเจนมากขึ้น โดยแบ่งเป็นกลุ่ม PLC จำนวน 5 กลุ่ม ประกอบไปด้วย ครู นักศึกษาครูและอาจารย์ในระดับมหาวิทยาลัย วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาของการจัดการเรียนการสอนในโรงเรียนแบบที่เน้นการสอนแบบบรรยายเนื้อหาของครู ต่อมาเป็นการสรุปปัญหาและความต้องการของครูและนักศึกษาครูในวง PLC ซึ่งมองเห็นปัญหาและมีความต้องการให้ผู้เรียนมีสรรถนะและศักยภาพแห่งอนาคต ถ้ายังจัดการเรียนการสอนเหมือนเดิมและไม่มีความหลากหลายผลผลิตที่ได้ก็ยังอยู่ในรูปแบบเดิม ดังนั้น ถ้ามีกระบวนการจัดการเรียนรู้แบบใหม่ หรือพัฒนาจากแบบเดิมให้มีความหลากหลายแล้ว ครูมีความคิดเห็นว่าจะได้ผู้เรียนจะมีสมรรถนะและศักยภาพแห่งอนาคตได้ นอกจากนี้ครูยังสามารถพัฒนาสร้างสรรค์รูปแบบการจัดการเรียนรู้ให้เหมาะสมกับบริบทต่างๆ ในแต่ละสังคม และการจัดการเรียนการสอนที่ปรับเปลี่ยนไปได้ในอนาคต

การบูรณาการรายวิชาวิทยาศาสตร์ในเนื้อหาดาราศาสตร์กับเนื้อหาวิชาคณิตศาสตร์ วิทยาการคำนวณ และภาษาอังกฤษเพื่อการสื่อสาร ได้พัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้ผ่านกระบวนการ PLC ซึ่งประกอบด้วย ครู นักศึกษาครูและอาจารย์ในระดับมหาวิทยาลัย และยึดหลักแนวคิดของ STEM ให้ตรงกับหลักการทำงานของสมองแบบมุ่งเป้า เพื่อให้เข้าใจเนื้อหาวิทยาศาสตร์ (Science: S) ร่วมบูรณาการกับเนื้อหาคณิตศาสตร์ (Mathematics: M) เพื่อให้นักเรียนเกิดกระบวนการคิดแบบวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ รวมถึงทักษะการใช้ภาษาในการเขียนชุดคำสั่งหรือโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Coding languages: L) และภาษาสื่อสาร (English languages: L) หรือสมรรถนะทางด้านการอ่านเชิงวิเคราะห์ซึ่งเป็นความฉลาดด้านการอ่าน (Reading literacy: L) ดังภาพที่ 2

ภาพที่ 2 ลักษณะการพัฒนาต่อยอดของ STEM เป็นรูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบ STEM-SML²

การจัดกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ STEM-SML² สอดคล้องกับการทำงานของสมอง และ Executive attention จะเห็นว่าการศึกษาทฤษฎีขั้นตอนการทำงานของสมองของนักเรียน มีความสำคัญต่อการออกแบบการจัดการเรียนรู้ที่มุ่งเน้นการตื่นตัวก่อนการเรียน ด้วยวิทยาการคำนวณเป็นภาษาที่เป็น L ตัวแรก คือ Coding languages และการสื่อสารด้วยภาษา L ตัวที่สองคือ English languages หลังจากนั้นเมื่อนักเรียนเตรียมตัวเหมาะสมกับการเรียนแล้วจึงทำการสอนเนื้อหาวิทยาศาสตร์ร่วมบูรณาการกับเนื้อหาคณิตศาสตร์ เพื่อให้นักเรียนเกิดกระบวนการคิดแบบวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ ทำให้ผู้เรียนเกิดความสนใจและตั้งใจมากขึ้น โดยกระบวนการจัดกิจกรรมเน้นการคิดกรองและคัดเลือกข้อมูลโดยใช้กระบวนการจัดการเรียนรู้แบบ STEM จากนั้นจะเป็นการตั้งเป้าหมายและการป้อนข้อมูลย้อนกลับเกิดกระบวนการโต้แย้งข้อมูลภายในตัวนักเรียนและการโต้แย้งข้อเท็จจริงระหว่างครูและนักเรียน นำไปสู่การเรียนรู้และสร้างนวัตกรรมขึ้นมาจากตัวนักเรียนเอง ซึ่งเป็นผลสำเร็จที่สำคัญของกระบวนการนี้ และสามารถประเมินได้จากผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความพึงพอใจในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ของนักเรียน (แสดงผลในการรายงานในหัวข้อต่อไป) ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่าง Brain learning process และ Executive attention กับกระบวนการจัดการเรียนรู้แบบ STEM-SML² และการจัดลำดับของกระบวนการกระบวนการจัดการเรียนรู้แบบ STEM-SML²

Ratchaphruek Journal
Vol. 22 No. 5 (September - December 2024)

2. ผลการศึกษาเปรียบเทียบคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียนจากกระบวนการจัดการเรียนรู้แบบ STEM-SML^2 ก่อนการใช้สถิติ t-test แบบ dependent ในการศึกษาเปรียบเทียบคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ได้ทำการทดสอบการแจกแจงปกติด้วยวิธี Shapiro-Wilk test เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างน้อยกว่า 50 คน จึงไม่ใช้ค่าจากการการทดสอบการแจกแจงปกติด้วยวิธี Kolmogorov-Smirnov Test (Cochran and Cox, 1976, pp. 104-106; Clinch & Keselman, 1982, p. 211) พบว่า ทั้งก่อนเรียนและหลังเรียนมีการแจกแจงปกติ ($p > .05$) ซึ่งแสดงผลการศึกษาเปรียบเทียบคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียนจากกระบวนการจัดการเรียนรู้แบบ STEM-SML^2

การทดสอบ	n	คะแนนเต็ม	$\bar{X}$	S.D.	t	df	p
ก่อนเรียน	27	30	11.82	2.62	22.13*	26	<.001
หลังเรียน	27	30	23.74	2.44			

*$p < .05$

จากตารางที่ 2 พบว่า คะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนจากกระบวนการจัดการเรียนรู้แบบ STEM-SML^2 การทดสอบก่อนเรียนคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 11.82 (S.D. = 2.62) การทดสอบหลังเรียนคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 23.74 (S.D. = 2.44) ซึ่งคะแนนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญที่ .05

3. ผลการศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนต่อการจัดการเรียนการสอนในรูปแบบ STEM-SML^2 ในเนื้อหาดาราศาสตร์และคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 หลังจากการจัดกระบวนการจัดการเรียนรู้แบบ STEM-SML^2 ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ความพึงพอใจของนักเรียนต่อการจัดการเรียนในรูปแบบการจัดการเรียนรู้ STEM-SML^2

ข้อความ	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
1. แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 ระบบสุริยะ อวกาศ ดาวหาง ดาวเคราะห์น้อย	4.11	0.75	มาก
2. แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 ดาวฤกษ์ ความสำคัญแสง พลังงาน	4.33	0.62	มาก
3. แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3 ดาวตก อุกกาบาต และการเกิดดาวหาง	4.44	0.70	มาก
4. แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 4 การโคจรของดาว	4.33	0.74	มาก
5. แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 5 แบบจำลองระบบสุริยะ	4.74	0.53	มากที่สุด
6. สื่อและอุปกรณ์ สำหรับกระบวนการจัดการเรียนรู้	4.26	0.77	มาก

ตารางที่ 3 (ต่อ)

ข้อความ	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
7. เกมส์ ที่ใช้ในกระบวนการจัดการเรียนรู้	4.52	0.70	มากที่สุด
8. แบบฝึกหัดระหว่างกระบวนการจัดการเรียนรู้	4.15	0.95	มาก
9. ภาษาอังกฤษ และการสื่อสารระหว่างกระบวนการจัดการเรียนรู้	4.30	0.67	มาก
10. ความเข้าใจเนื้อหาวิชาดาราศาสตร์ที่มีคณิตศาสตร์ร่วมด้วย	4.33	0.62	มาก
11. ด้านการเชื่อมโยงกับการประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน	4.30	0.78	มาก
เฉลี่ยรวม	4.35	0.71	มาก

จากตารางที่ 3 พบว่า นักเรียนมีระดับคะแนนความพึงพอใจเกี่ยวกับการจัดการเรียนรู้ในแผนการจัดการเรียนรู้ของกระบวนการจัดการเรียนรู้แบบ STEM-SML^2 ที่แตกต่างกันในแต่ละแผน โดยแผนที่ 1-4 อยู่ในระดับมาก และแผนที่ 5 มีระดับความพึงพอใจในระดับมากที่สุด นอกจากนี้ในเรื่องของเกมที่ใช้ในกระบวนการจัดการเรียนรู้อยู่ในระดับมากที่สุดเช่นกัน ส่วนความพึงพอใจในประเด็นอื่นๆ อยู่ในระดับมาก โดยค่าเฉลี่ยความพึงพอใจในภาพรวมอยู่ที่ 4.35 ซึ่งอยู่ในระดับมาก ดังนั้นผลการสำรวจนี้เป็นฐานที่สำคัญที่ช่วยให้เราเข้าใจถึงความพึงพอใจและประสบการณ์ในการเรียนรู้ของนักเรียนในแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้แบบ STEM-SML^2 อย่างชัดเจน

สรุปผลการวิจัย

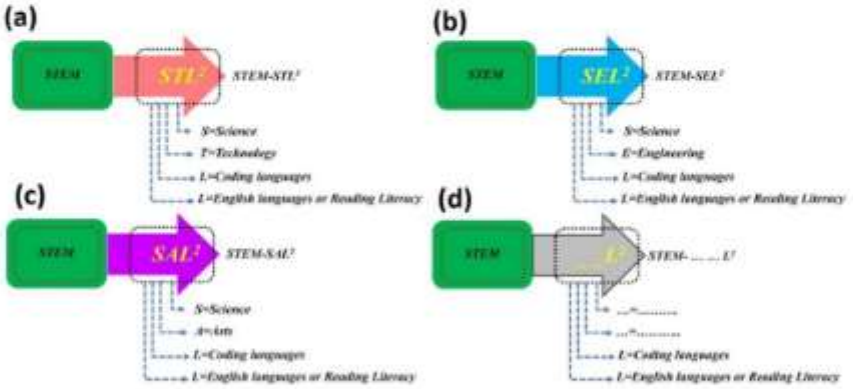
การพัฒนารูปแบบการสอน STEM ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการต่อยอดเพิ่มขึ้นเป็นกระบวนการจัดการเรียนรู้แบบ STEM-SML^2 เพื่อสร้างจุดเน้นในเนื้อหาวิชาดาราศาสตร์ที่มีการบูรณาการคณิตศาสตร์ รวมถึงวิทยาการคำนวณและการใช้ภาษาอังกฤษในการสื่อสาร กระบวนการเรียนรู้ถูกออกแบบให้เป็นไปตามการทำงานของสมองของนักเรียน ผลการพัฒนากระบวนการจัดการเรียนรู้แบบ STEM-SML^2 ของนักเรียนระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 ได้ถูกวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนตามรูปแบบ พบว่า มีคะแนนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 และมีระดับคะแนนความพึงพอใจจากกระบวนการจัดการเรียนรู้ในระดับมาก

อภิปรายผล

การพัฒนาการจัดกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ STEM-SML^2 ในเนื้อหาดาราศาสตร์และคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 เป็นการพัฒนากระบวนการจัดการเรียนรู้ที่ต้องการมุ่งเป้าเนื้อหาวิชาวิทยาศาสตร์ที่เหมาะสม และบูรณาการเข้ากับรายวิชาคณิตศาสตร์ วิทยาการคำนวณและภาษาอังกฤษ โดยการพัฒนาใช้กระบวนการ PLC สมาชิกที่เข้าร่วมเกี่ยวข้องตามเป้าหมายเนื้อหาวิชาที่ต้องการมุ่งเป้า

Rutchaphruek Journal
Vol. 11 No. 3 (September - December 2024)

โดยจัดกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ได้รับการยอมรับว่าเป็นกิจกรรมที่สามารถนำมาจัดการเรียนรู้ในชั้นเรียนได้ ทั้งนี้ จากการสนทนากลุ่มของผู้เชี่ยวชาญในศาสตร์ที่เกี่ยวข้องและการตรวจสอบเครื่องมือต่างๆ ผ่านผู้เชี่ยวชาญ นอกจากนี้ งานวิจัยยังชี้ให้เห็นการพัฒนากระบวนการจัดการเรียนรู้แบบ STEM-SML^2 ในรูปแบบต่างๆ สำหรับวิชาวิทยาศาสตร์ ได้เพิ่มขึ้นอย่างหลากหลาย เช่น STEM-STL^2, STEM-SEL^2 และ STEM-SAL^2 เป็นต้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kolodner, Camp, Crismond, Fasse, Gray, Holbrook, Puntambekar and Ryan (2003, pp. 495-547) ที่กล่าวว่า การออกแบบ (Design) การเรียนรู้ถูกแฝงด้วยกระบวนการทางวิทยาศาสตร์อยู่ไม่ว่าจะเป็นการสร้างองค์ความรู้ต่างๆ การตรวจสอบความรู้หรือการสร้างนวัตกรรมต้นแบบ ผู้สอนควรออกแบบอย่างเป็นระบบเพื่อการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพ ส่งผลต่อการนำไปพัฒนากระบวนการจัดการเรียนรู้แบบ STEM มุ่งเป้าในวิชาอื่นๆ สามารถทำได้ เช่น STEM-...L^2 ดังนั้น รูปแบบนี้จึงเป็นแนวทางหรือทางเลือกที่ครูสามารถคิดสร้างสรรค์รูปแบบนวัตกรรมการเรียนรู้แบบ STEM หรือ STEAM สำหรับกระบวนการจัดการเรียนรู้เชิงรุกในชั้นเรียนของครูเองในอนาคต ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 รูปแบบต่างๆ ที่สามารถพัฒนาจากกระบวนการจัดการเรียนรู้แบบ STEM-SML^2

การศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนการจัดกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ STEM-SML^2 วิทยาศาสตร์ในเนื้อหาดาราศาสตร์และคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 ทั้งนี้ เพราะการจัดกิจกรรมจะเน้นให้นักเรียนจะได้ปฏิบัติจริงผ่านการประยุกต์ใช้เกมในการเรียนรู้เชื่อมโยงระหว่างความรู้พื้นฐานทางคณิตศาสตร์กับเนื้อหาดาราศาสตร์ การให้เหตุผล การคิดวิเคราะห์เชิงระบบ ตลอดจนการแก้ปัญหาอย่างเป็นขั้นตอน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Chung, Cartwright and Cole (2014) ที่พบว่า การจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา นักเรียนต้องเผชิญกับสถานการณ์ใหม่

ที่ต้องศึกษาความรู้ในการนำไปใช้แก้ปัญหานั้นๆ ส่งผลให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงขึ้นกว่าก่อนเรียน นอกจากนี้การจัดการเรียนในกิจกรรมนี้ยังมีการใช้ภาษาอังกฤษเพื่อการสื่อสารโดยค่อยๆ เพิ่มระดับการสื่อสารในแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนได้สื่อสารจริงและเรียนรู้การสื่อสารภาษาอังกฤษแบบซึมซับ สอดคล้องกับ Alyona (2021) และมณัญญา มานะรัชศักดิ์ (2565) ที่กล่าวไว้คล้ายคลึงกันว่า ควรจัดการเรียนการสอนภาษาเพื่อการสื่อสารที่ช่วยส่งเสริมให้นักเรียนได้ใช้การสื่อสารในสถานการณ์จริงอย่างถูกต้องและคล่องแคล่วไปพร้อมกับการจัดการเรียนการสอน

ความพึงพอใจของนักเรียนต่อการจัดการเรียนการสอนในการจัดกิจกรรมการจัดการเรียนรู้แบบ STEM-SML^2 ภาพรวมอยู่ในระดับมาก แสดงให้เห็นถึงความพึงพอใจและความสนใจของนักเรียนที่เรียนด้วยกระบวนการจัดการเรียนรู้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกระบวนการแรกที่ตรงกับหลักของ Executive attention ซึ่งถูกกระตุ้นการเรียนรู้ของผู้เรียนด้วยวิทยาการคำนวน (Coding languages games) แสดงผลสูงที่สุดอย่างชัดเจนในระดับมากที่สุด สอดคล้องกับ จันทร์ดา พิทักษ์สารี (2547) ที่กล่าวว่า ผู้เรียนเกิดความพึงพอใจที่ดีจากการเรียนรู้ที่เกิดจากการศึกษาด้วยตนเองและสามารถเรียนรู้เกิดได้ดีเมื่อเป็นผู้ลงมือกระทำด้วยตนเอง และแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้ขั้นกระบวนการจัดการเรียนรู้แบบ STEM-SML^2 ได้รับความพึงพอใจในระดับมาก-มากที่สุด แสดงให้เห็นว่าผู้เรียนมีความพร้อมและสนใจ เกิดการมุ่งเป้าหมายในการเรียนรู้เนื้อหาวิชาวิทยาศาสตร์ตามกระบวนการจัดการเรียนรู้แบบ STEM-SML^2 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ พัทธมน นามปวน, นันทรัตน์ เครืออินทร์ และฉัตรชัย เครืออินทร์ (2557) ที่ได้ศึกษารูปแบบการจัด กิจกรรมการเรียนรู้วิชาวิทยาศาสตร์เรื่องวัสดุและสมบัติของวัสดุแบบสะเต็มศึกษา (STEM education) ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 ผลการวิจัย พบว่า นักเรียนมีความพึงพอใจต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้วิชาวิทยาศาสตร์ เรื่องวัสดุ และสมบัติของวัสดุ แบบสะเต็มศึกษาโดยรวมอยู่ในระดับที่มาก อีกประการหนึ่ง การใช้ภาษาอังกฤษในการสื่อสารในกระบวนการจัดการเรียนรู้นั้นไม่เป็นอุปสรรคสำหรับนักเรียน แสดงให้เห็นว่านักเรียนเกิด Brain learning process ควบคู่กับกระบวนการจัดการเรียนรู้แบบ STEM-SML^2 ทำให้นักเรียนมีการมุ่งเป้าความสนใจการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่เป็นภาษาอังกฤษได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ สุภัคชา มลวัง และสกนธ์ชัย ชะนูนันท์ (2566, น. 119-136) ที่ศึกษาการพัฒนาความสามารถในการสื่อสารวิทยาศาสตร์ด้วยการจัดการเรียนรู้โดยใช้ปรากฏการณ์เป็นฐานร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพ เรื่อง สารในชีวิตประจำวันของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 พบว่า นักเรียนมีแนวโน้มในการสื่อสารวิทยาศาสตร์ด้านการเขียนและด้านการพูดเพิ่มสูงขึ้น จึงทำให้ผู้เรียนเกิดสมรรถนะทางภาษาเพิ่มขึ้นในเวลาเดียวกัน

Kalchapbruek Journal
Vol. 11 No. 3 (September - December 2024)

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะจากการวิจัยในครั้งนี้

1.1 ข้อเสนอแนะสำหรับครูผู้สอนหรือนักศึกษาครู: การจัดกระบวนการเรียนรู้สำหรับนักเรียนควรคำนึงถึงหลักการทำงานพื้นฐานธรรมชาติของสมอง รูปแบบกระบวนการจัดการเรียนรู้จึงสามารถปรับเปลี่ยนและจัดเรียงให้เหมาะสมกับธรรมชาติการเรียนรู้ การมุ่งเป้าหมายผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในเนื้อหาวิชาการจึงเป็นไปได้โดยธรรมชาติ เสนอแนะให้ครูนำกระบวนการจัดการเรียนรู้เชิงรุกรูปแบบ STEM-SML^2 ไปพัฒนาให้มีความหลากหลายมากขึ้นเหมาะกับบริบทต่างๆ

1.2 ข้อเสนอแนะสำหรับผู้บริหารสถานศึกษา: ควรสนับสนุนกระบวนการจัดการเรียนรู้เชิงรุกรูปแบบ STEM-SML^2 ไปพัฒนาให้มีความหลากหลายรูปแบบมากขึ้น ให้เหมาะกับบริบทต่างๆ ของโรงเรียน โดยเริ่มจากการทดลองใช้ในบางเนื้อหาวิชา

1.3 ข้อเสนอแนะสำหรับผู้กำหนดนโยบายหรือนักวิชาการทางการศึกษา: กระบวนการจัดการเรียนรู้เชิงรุกรูปแบบ STEM-SML^2 นี้เป็นแนวทางจัดการเรียนรู้แนวทางหนึ่งที่ควรพัฒนาวิจัยต่อไปเพื่อยืนยันผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในเนื้อหาวิชาการในหลายบริบท หลายภาษา จะก่อให้เกิดความหลากหลายในรูปแบบมากขึ้น

2. ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

ควรมีการวิจัยกระบวนการจัดการเรียนรู้เชิงรุกรูปแบบต่างๆ ที่พัฒนาจากกระบวนการจัดการเรียนรู้แบบ STEM-SML^2 มุ่งเป้าในวิชาอื่นๆ เช่น STEM-STL^2, STEM-SEL^2, STEM-SAL^2, STEM-...L^2 ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์และนักศึกษาในโปรแกรมวิชาฟิสิกส์ วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์และภาษาอังกฤษ คณะผู้บริหารคณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ที่มุ่งมั่นในการรวบรวมข้อมูลและอำนวยความสะดวกในด้านต่างๆ ขอขอบคุณนักเรียน ครู และผู้อำนวยการโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บรวบรวมข้อมูล และขอขอบคุณโครงการการผลิตและพัฒนาครู มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงศึกษาธิการ. (2565). *แผนพัฒนาการศึกษาขั้นพื้นฐาน (พ.ศ. 2566-2570) ของสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน*. สืบค้นเมื่อ 11 ธันวาคม 2565, จาก http://www.bopp.go.th/?p=2404

จันทร์ดา พิทักษ์สารี. (2547). *ผลการจัดการเรียนรู้วิทยาสาสตร์ด้วยวัฏจักรการสืบเสาะหาความรู้ที่ส่งเสริมทักษะการคิดวิจารณญาณต่อความสามารถในการคิดวิจารณญาณและความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1* (วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์).

จตุรงค์ ธนะสีลังกูร. (2565). รูปแบบการพัฒนาทักษะการนิเทศภายในแบบมีส่วนร่วมด้วยกระบวนการชุมชนแห่งการเรียนรู้ทางวิชาชีพ: พหุกรณีศึกษาโรงเรียนขนาดเล็ก ในจังหวัดนครราชสีมา. *Ratchaphruek Journal, 20(2),* น. 69-84.

บุญชม ศรีสะอาด. (2556). *การวิจัยเบื้องต้น: ฉบับปรับปรุงใหม่* (พิมพ์ครั้งที่ 9). กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาส์น.

พัทธมน นามปวน, นันทรัตน์ เครืออินทร์ และฉัตรชัย เครืออินทร์. (2557). รูปแบบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้วิชาวิทยาศาสตร์ เรื่องวัสดุและสมบัติของวัสดุ แบบสะเต็มศึกษา (STEM education) ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5. ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติศึกษาศาสตร์วิจัยครั้งที่ 1* (บทคัดย่อ). สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

มณัญญา มานะรัชศักดิ์. (2565). *การพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนการสอนภาษาอังกฤษตามแนวการสอนภาษาเพื่อการสื่อสารร่วมกับการเรียนรู้แบบร่วมมือเพื่อพัฒนาทักษะการสื่อสารและความมั่นใจในการใช้ภาษาอังกฤษ สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษา* (วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศิลปากร).

มาเรียม นิลพันธุ์. (2558). *วิธีวิจัยทางการศึกษา* (พิมพ์ครั้งที่ 8). นครปฐม: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยศิลปากร.

สุภัคชา มลวัง และสกนธ์ชัย ชะนูนันท์. (2566). การพัฒนาความสามารถในการสื่อสารวิทยาศาสตร์ด้วยการจัดการเรียนรู้โดยใช้ปรากฏการณ์เป็นฐานร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพ เรื่อง สารในชีวิตประจำวันของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5. *Journal of Roi Kaensarn Academi, 8(1),* น. 119-136.

Alyona, O. S. (2021). Basic principles of communicative grammar during english lessons at primary school. *Science and Education Scientific Journal, 2(2),* pp. 365-369.

Chung, C. J., Cartwright, C. & Cole, M. (2014). Assessing the impact of an autonomous robotics competition for STEM education. *Journal of STEM Education, 15(2),* pp. 24-29.

Clinch, J. J. & Keselman, H. J. (1982). Parametric alternatives to the analysis of variance. *Journal of Educational Statistics, 7(3)*, pp. 207-214.

Cochran, W. G. & Cox, G. M. (1976). *Experimental design*. New York: John Wiley and Sons.

Kolodner, J. L., Camp, P. J., Crismond, C. D., Fasse, B., Gray, J., Holbrook, J., Puntambekar, S. & Ryan, M. (2003). Problem-based learning meets case-based reasoning in the middle-school science classroom: Putting learning by designTM into practice. *The Journal of the Learning Sciences, 12(4)*, pp. 495-547.

Posner, M. I. (2008). Measuring alertness. *Annals of the New York Academy of the New York Academy of Sciences, 1129(1)*, pp. 193-199.

Quinn, H. R. (2012). *A framework for K-12 science education*. Washington: National Academies Press.

Vasquez, J. A., Sneider, C. & Comer, M. (2013). *STEM Lesson essentials, grades 3-8: Integrating science, technology, engineering, and mathematics*. Portsmouth, NH: Heinemann.

Walubengo, W. W., Kyalo, D. N. & Mulwa, A. S. (2019). Analytical review of application of problem tree analysis as a project design tool for enhancing performance of community based in Kenya. *European Journal of Business and Management Research, 4(6)*, pp. 1-7.

Plant Physiol. Rep. (January–March 2023) 28(1):1–7
https://doi.org/10.1007/s40502-022-00692-7

REVIEW ARTICLE

Effects of magnetic flux density on germination and seedling growth in *Oryza sativa var. Glutinosa*

Kritsaphong Pasitvilaitham[4] · Jetpreeyar Pramuan[3] · Nantatchaporn Saengchong[3] · Komkrich Kaewpanus[3] · Patcharawarin ruanto[3] · Meechai Thepnurat[1,2]

Received: 1 November 2021 / Accepted: 30 September 2022 / Published online: 6 November 2022
© Indian Society for Plant Physiology 2022

Abstract The effects of magnetic field intensity on the growth of Niew Khiaw Ngoo (*Oryza sativa var.* Glutinosa) tissue culture was studied in order to determine the application to increase germination rate and plant growth in the tissue culture process, reduce time, chemical usage and the costs of tissue culture. As a result, using magnetic fields in combination with tissue culture process could be a good option for plant tissue development. Glutinous rice seeds with good quality characteristics were selected, peeled, sterilized and cultured in Murashige and Skoog (MS) for tissue culturing in 6 groups of glass bottles of which each group contained 30 bottles. Each sample set was cultivated at the same time and placed on the foam based equipped with magnets that generated different magnetic field intensities of 0 (the control), 14, 27, 65, 172, or 343 mT. After three days, each sample was examined for the percentage of germination (GP). Four days later, the rice plants were measured in height, root length, fresh and dry weight. The results showed that the intensity of the magnetic field influenced the growth of glutinous rice culture. The intensity of 14–65 mT could increase rice biomass. The Shoot/Root ratio induced by 65 mT magnetic field strength was the highest (1:2.36). The results showed that the growth rate of shoot was less than root (1:1.53) and their roots grew in the same direction as the control group. In contrast, the strong magnetic field intensity at 343 mT resulted in the highest shoot/root ratio of 1.53:1.

Keywords Magnetic field · Germination · Seedling growth · Rice · Tissue culture

✉ Meechai Thepnurat
TMeechai14@gmail.com

[1] Program of Physics Education, Faculty of Education, Chiang Rai Rajabhat University, Chiang Rai 57100, Thailand

[2] Physics Innovation Laboratory, Faculty of Education, Chiang Rai Rajabhat University, Chiang Rai 57100, Thailand

[3] Program of Biology Education, Faculty of Education, Chiang Rai Rajabhat University, Chiang Rai 57100, Thailand

[4] Program of Biology, Faculty of Science and Technology, Chiang Rai Rajabhat University, Chiang Rai 57100, Thailand

Introduction

To induce seed germination, applying chemical methods can yield many more products as plants responded quickly to chemical stimuli in their environment (Jan et al., 2013; Rehman et al., 2016). However, some chemicals are found to have some negative effects on both humans and environment (Prashar et al., 2016) so that it is recommended to reduce the use of chemicals in agriculture or find another option. A new method with physics applications including introduction of magnetic field (MF) application in agriculture is one alternative way (Prashar et al., 2016; Hozayn et al., 2016). Magnets have helped seeds to induce water absorption, accelerate germination rate, and increase plant growth. Due to the influence of magnets on gene stimulating, plants can respond well to stresses in the environment and become strong and resistant. Magnets also stimulate water absorption by roots, resulting in a higher growth rate, stem height and root length (Dhawi, 2013).

Pre-treatment of seeds with Magnetic Field (MF) is currently a new environment friendly technique in agriculture, to improve seed germination and increase crop yield (Martínez et al., 2009). MF pre-treatment is one of the physical treatments which has been reported to enhance the performances of various crops (El-Gizawy et al., 2016). The effect of MF helps to obtain healthy seedlings growth and shoot regeneration of cotyledon node explants in *Lathyrus chrysanthus* Boiss in large quantities during in vitro seed germination (Bahadir

et al., 2018). Moreover, magnetic fields influence plants at the DNA level. The MF in excess of 15 Tesla has far-reaching effects on the genome, such as the wide-spread induction of stress-related genes and transcription factors, and repression of genes associated with cell wall metabolism (Paul et al., 2006). Regulating plant growth and development by exposing seeds or explants to MF is a new, interesting method. However, their influences on biological functions of organisms are still few to understand and need more actively studies (Belyavskaya, 2004).

In addition, tissue culture biotechnology can help increase production potential by producing a large amount of product that is sufficient to a market demand and providing high resistance to plant diseases. The technique is used to cultivate plant cells in synthetic foods under aseptic conditions to prevent contamination. However, new knowledge is still needed to develop and increase its efficiency. The use of magnet application is also an interesting additional way in order to reduce the use of chemical substances during the culture processes (Singh et al., 2018; García-Gonzáles et al., 2010).

Niew Khiaw Ngoo glutinous rice is a popular quality breed of rice. It is cultivated in many plantation areas in Chiang Rai province in the northern region of Thailand around 250–350 million tons per year and generates high income for farmers (Benjavan, 2017). Niew Khiaw Ngoo glutinous rice has white slender granules. It is rich in nutrients and resistant to diseases as it is a plant in the same family of grass, which is easy to grow even in a limited environment. Khao Niew Khiaw Ngoo Chiang Rai G.S. No. 8974 is a special sticky rice variety grown in four districts of Chiang Rai Province. In 2019, it has been granted by the Department of Intellectual Property (DIP) of Thailand to be registered as one of local geographical indications (GI) products. In addition, the outcomes development of this particular rice strain is able to be controlled by many factors, including the magnetic field effect.

Currently, tissue culture technique is a method used to improve production of rice species but it is still not sufficient to increase germination rate and growth in the culture process. To reduce time, costs and chemical usage for tissue culturing, using magnetic fields in combination with the tissues culture process is becoming an efficient option. Therefore, in this research aims to study the influence of magnetic flux density on the growth of rice tissues to develop production of Niew Khiaw Ngoo glutinous rice and to obtain healthy seedlings in large quantities.

Material and methods

Theoretical background

Magnetic susceptibility (χ_m) is a constant, which has no unit. It is a value for classifying the magnetic properties of materials. Materials without a magnetic property have a value of χ_m equal to 0. A, while material with paramagnetic properties has a positive χ_m and a diamagnetic material has a negative χ_m. If $\chi_m >> 0$, the material is a ferromagnetic magnet. Magnetization (M) is the magnitude of magnetic strength of magnetized objects. All magnetic properties have their dipoles orderly. This can happen when an object is in a magnetic field as in Eq. (1) as it is induced by a magnet (Jiles, 1991; Paldin, 2010; Serway & Jewett, 2013; Ueno, 1993). The magnet has an auxiliary magnetic field $\left(\vec{H}\right)$, which is another feature of magnets. No matter how small the volume of the magnetic sources, they are always dipoles like miniature bar magnets. There are as many magnetic field lines coming in (to the south pole) as out (from the north pole) as shown in (Fig. 1A). Magnetic flux (Phi, Φ) with the Weber unit of flux, (Wb)) is the product of the average magnetic field times the perpendicular area that it penetrates. The flux density (Wb/m^2) is the number of magnetic force lines per a given unit area, where the magnetic force lines are perpendicular. Since flux (Φ) is measured in (Wb) and area (A) is in meters squared (m^2), the flux density is given the symbol $\vec{B}$ in Teslas (T) and (θ) is an angle between the area of the sample and the magnetic field direction as stated in Eq. (2) and (Fig. 1B) (Jiles, 1991; Paldin, 2010; Serway & Jewett, 2013; Ueno, 1993).

$$\vec{B} = \mu_o\left(\vec{H} + \vec{M}\right) \tag{1}$$

$$\Phi = \vec{B} \cdot \vec{A} = BA\cos\theta = \mu HA \tag{2}$$

Materials and experiment design

The experimental process started from grain selection and seeds were prepared for the tissue culture procedures. Niew Khiaw Ngoo (Oryza sativa var. Glutinosa) grains were selected and peeled. After that, they were sterilized for 1 min in 95% ethanol, then soaked in 40% concentrated chloroxide (prepared from 60% Sodium Hypochlorite) for 10 min and washed with distilled water 3 times for 15 min. Later, they were dried and cut to the appropriate tissue size. Then, the tissues were placed on top of Murashige and Skoog (MS medium) (Murashige et al., 1962) synthetic media in a 4 oz culture bottle inside an aseptic cabinet. The tissues were placed in culture bottles of 6 different magnetic treatments, 30 bottles for each, and each bottle was placed on a foam sheet base containing a permanent magnet bar (Neodymium Magnets (NM)) equipped underneath to generate magnetic field. The magnetic effect on the cultures were influenced by bar magnets which expressed various magnetic field strengths in the range of 0 (control), 14, 27, 65, 172 or 343

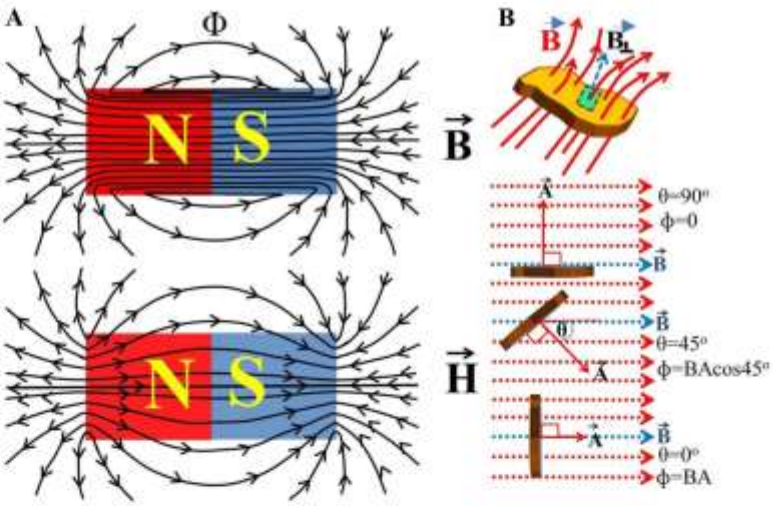


Fig. 1 Diagrams of **A** magnetic flux lines of attract, repel and **B** flux density angle with the area

mT depending on how far the bar magnet was placed as shown in (Fig. 2A). The average magnetic field intensity was measured by the electromagnetic field meter (Item no.: 13610-90, PHYWE Teslameter, digital, 110/115 V, 3 measuring ranges 20–200–2000 mT., Germany. The intensity of applied magnetic field was influenced by thickness of the polystyrene foam foundation base as shown in the graph in (Fig. 2C). When the base thickness increased (0, 0.5, 1, 1.5, 2 cm), the intensity of the magnetic field decreased. The magnetic direction pointed to the north where the rice culture bottle was located, as shown in (Fig. 2A), where area A made an angle of 0 (θ = 0) to magnetic field $\vec{B}$. Each culture bottle was placed 10 cm apart as shown in (Fig. 2). After 3 days, the germination effect was recorded by counting the

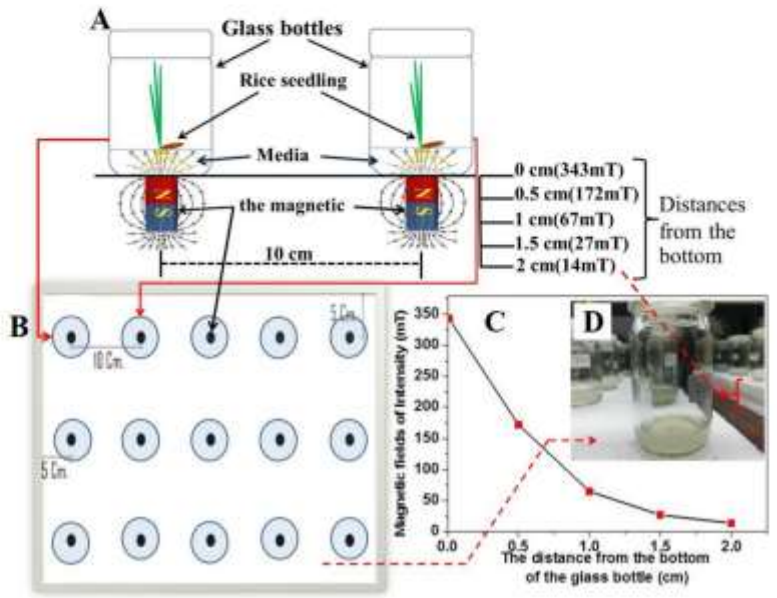


Fig. 2 The diagram of the rice culture jars setting on a magnetic field **A** where the culture bottles were placed 10 cm. apart from each other **B**. The magnetic flux density decreased when the magnet bar was placed farther away from the bottom of the culture bottle, as shown in the graph **C** in relation to the thickness of the base **D**

number of germinated seeds in each bottle to determine the percentage of germination. After 7 days of cultivation, rice plants were taken out of the culture bottles and washed. The average height of rice stalk stems was measured as well as the length of roots. Later, the stems and roots were weighed fresh and then baked in a hot air oven for 1 day with temperatures ranging from 60–80 °C. Then, they were taken out, weighed dry. Finally, all data were recorded and statistically analyzed. The results of three replicates were reported in Table 1 (mean ± SD). Analysis of variance (ANOVA) was calculated followed by Duncan's new multiple range test (DMRT) (Gomez, et al., 1984).

Results

After rice seeds were planted for 1 day, they were continuously measured for germination percentage for 3 days. It was found that the rice seeds that were cultivated under influences of various intensities of magnetic fields had statistically significant (<0.05) higher germination percentages than the control (without magnetic field). The rice seed set cultivated in a magnetic field with intensity of 343mT had the highest germination percentage of 90.00% ± 10.00% while the rice seed set under the magnetic field intensity of 0mT had the germination percentage of 50.00% ± 10.00% only, as shown in (Fig. 3A). After germination, the rice plants were measured for height. The highest was found at magnetic flux density of 27 mT (21.6800 ± 3.9800 cm). However, when the magnetic flux density was increased, the height of rice stems decreased to be equal to the height of rice grown under 0 mT magnetic flux density as shown in (Fig. 3B). The characteristics and orientation of rice stems and roots in the culture bottles, as shown in (Fig. 3(C–H)), were influenced by magnetic flux densities as presented in Fig. 3. Different outcomes according to different magnetic flux densities can be observed.

After the rice plants were cultivated in the culture bottles for 7 days, they were removed from the culture bottles and the food jelly was washed off from their roots. Rice stalks were weighed fresh to measure the average fresh weight as shown in Table 1. It was found that the average fresh weight of stems in all experimental group was greater than the average fresh weight of the control group (0 mT). Moreover, the fresh weight increased along with the increase of magnetic flux density as shown in Fig. 4. The average fresh weight of roots was also higher and it was the highest at 65 mT. When the magnetic flux density was greater than 65 mT, the average fresh weight significantly decreased to be closely to the control group (0 mT). For the shoot/root ratio, the results was shown in Table 1. that treating by 65 mT magnetic field resulted in the highest ratio (1/2.36) which became conversed with increasing the magnetic flux density (Fig. 5).

Rice stems and roots were baked with hot air oven and weighed. It was found that the weight of stems and roots was higher compared to the control group (0 mT). The weight of stems from rice planted under the magnetic flux density of 14–27 mT was high and the highest was achieved with 343 mT. In addition, the weight of roots with the magnetic flux density of 14–65 mT was the highest. The dry root weight also had the same tendency as the fresh weight. Therefore, the magnetic flux density at 14–65 mT was suitable to be applied for rice culture in order to improve production.

Discussion

From the results shown in (Fig. 4), the weight of stems and roots increased when influenced by magnetic flux densities in the range of 14-65 mT. Therefore, it was a suitable range as it helped the process of rooting and increasing the number of roots. Moreover, it helped the roots better absorbed water and nutrients along the direction of the magnetic field. The seedling area was influenced by Flux Density (Φ) that generated a magnetic field vector at $\theta = 0$ degree according to the Eq. (2). In addition, magnets had a diamagnetism effect on the magnetic property of plant nutrient substances, such as water, air, phosphorus, zinc, and hydrogen in food agar

Table 1 The results of fresh weight of stems and roots and the ratio of shoot to root

The magnetic flux density (mT)	Stems and leaves $(\overline{X} \pm SD)$		Fresh weight root $(\overline{X} \pm SD)$		(Shoot/root ratio)	
	Fresh weight	Dry weight	Fresh weight	Dry weight	Fresh weight	Dry weight
0 (Control)	0.0376 ± 0.0145^{a}	0.0075 ± 0.0021^{a}	0.0535 ± 0.0243^{a}	0.0115 ± 0.0039^{a}	1/1.42	1/1.53
14	0.0548 ± 0.0110^{b}	0.0093 ± 0.0027^{b}	0.1175 ± 0.0369^{b}	0.0159 ± 0.0034^{b}	1/2.14	1/1.71
27	0.0609 ± 0.0105^{b}	0.0096 ± 0.0024^{b}	0.1208 ± 0.0285^{b}	0.0149 ± 0.0027^{b}	1/1.98	1/1.55
65	0.0552 ± 0.0114^{b}	0.0075 ± 0.0021^{c}	0.1304 ± 0.0437^{b}	0.0155 ± 0.0044^{b}	1/2.36	1/2.07
172	0.0964 ± 0.0265^{c}	0.0062 ± 0.0010^{a}	0.0552 ± 0.0227^{a}	0.0107 ± 0.0037^{a}	1.39/1	1/1.72
343	0.1061 ± 0.0269^{c}	0.0126 ± 0.0027^{c}	0.0693 ± 0.0207^{a}	0.0072 ± 0.0029^{a}	1.53/1	1.75/1

a, b, and c in the column represent difference at 0.05 significance level

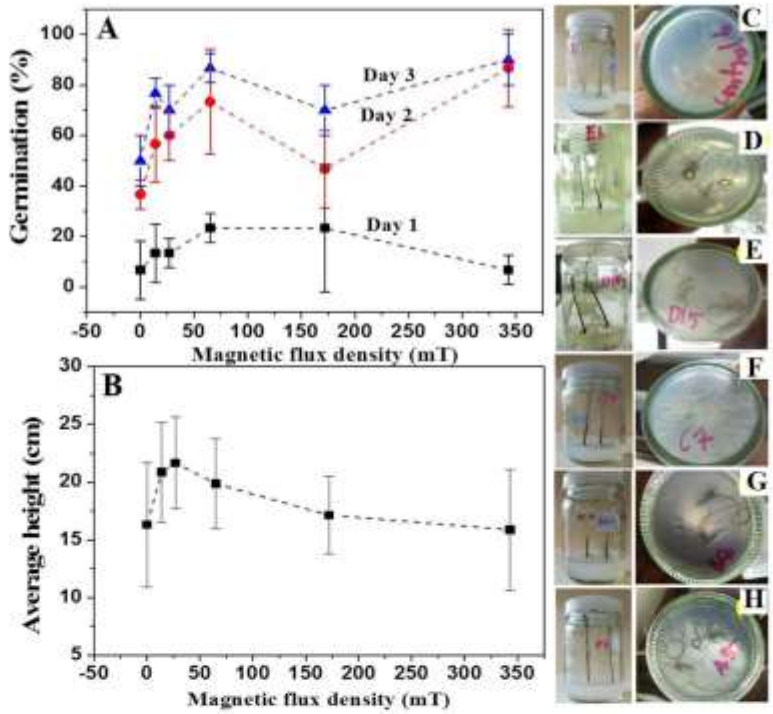


Fig. 3 Germination percentage of rice after 3 day planting **A**, the average height of rice plants after germination **B** and the form of rice stems and roots **C–H** influenced by the magnetic flux densities of **C** (0 mT), **D** (14 mT), **E** (27 mT), **F** (65 mT), **G** (172 mT) and **H** (343 mT) respectively

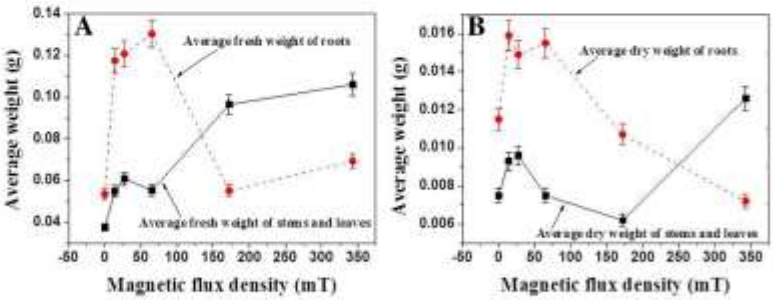


Fig. 4 Graph diagram of average weight of stems and roots including fresh weight **A** and dry weight **B** of rice plants that were influenced by the magnetic flux densities of 0–343 mT

(MS medium), due to a paramagnetism effect (on aluminum, oxygen, alkaline, manganese) and a ferromagnetism effect (on earth metals, such as iron, cobalt and nickel). Therefore, nutrients were drawn to the area where magnets were placed near plant seeds or roots. The concentration of water and nutrients subsequently increased and stimulated mechanisms of plant roots.

The rice seed germination rate was correlated with concentration of magnetic flux density. It could be explained that the magnetic field induced the direction and density of water molecules within the media around the seeds. Seed emergence was activated by changing of physiology and morphology processes that involved physical and chemical factors including light, temperature, oxygen, and water. Consequently, the process of seed initial imbibition needed an increased moisture for decomposing of seed coat in order to absorb water adequately. The sufficient amount of water molecules directed to the seed area helped facilitated abundant water. Therefore, the seed imbibition could be said to accelerate and activate the process of seed emergence. Water molecules activated the biochemical process of seed emergence by inducing the release of gibberellin hormone and

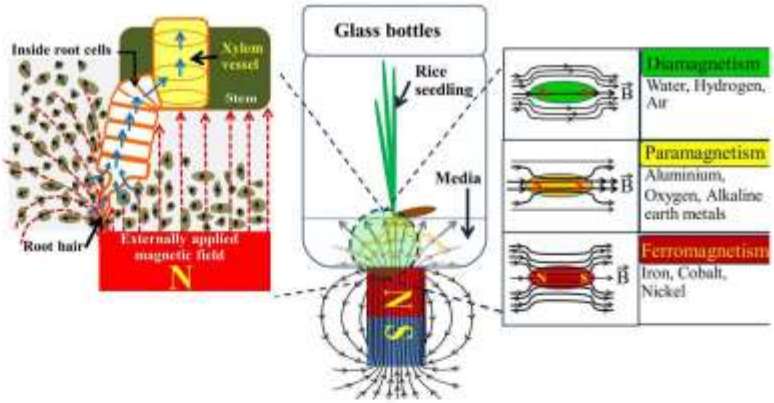


Fig. 5 Diagram of the operation of rice seeds and roots under the magnetic field influence

decomposing of endosperm to modulate embryo development during a radical emergence process, resulting in an increased stem height.

This research found that the magnetic field concentrations in the range of 14-65mT were optimal for accelerating the stem and root growth of rice grains in the tissue culture process. The result showed that the fresh weight of stems and leaves tended to increase following the high concentration of magnetic flux density. However, the fresh weight of roots only increased when treated with 0–70 mT magnetic flux but decreased dramatically at 175 mT. The dry weight of stems, leaves and roots showed the same pattern as the fresh weight, corresponding to the research of Rathod, G.R., and Anand, on magneto-priming-technique with 50mT (2 h) static magnetic field subjected to particular salinity stress (150 mM NaCl) which caused a significant increase of height, leaf area and dry weight of two wheat genotypes (HD 2967; salt sensitive and Kharchia 65; salt tolerant) under non saline and saline conditions (Rathod et al., 2016). It was possible that the magnetic flux density facilitated increasing of concentration and density of water and mineral molecules surrounding the cultured rice or directly delivering them to the roots. The results were consistent with the principle of solution diffusion (Rathod & Anand, 2016). The concentration of water molecule surrounding the roots was high, leading to transport via diffusion of water molecules into the stems and leaves consecutively. Water was one of the important factors for the process of photosynthesis in order to produce glucose. Therefore, an increased fresh weight of stems and leaves could result from the accumulation of water in their stems and leaves. Moreover, the high weight of dry stems and leaves indicated that a large number of stem and leave tissues of the cultured rice was generated and increased during the growth process. Apart from effects of MF on seed growth, a previous report from Azimian, F., and Roshandel, P., stated that MF also stimulated production of some important substances in *Artemisia sieberi*. Incubating with *200* mT magnetic flux for *20* min caused a considerable increase in polyphenol concentration and antioxidant activity compared to the control, regardless of the presence or absence of NaCl (Azimian, et al., 2015).

The results from this research supported the study provided by Bahadir, (Bahadir et al., 2018) showing that the effects of MF helped in vitro seed germination, seedling growth, and shoot regeneration of seeds and tissues. The findings were in line when higher densities of magnetic fields had far-reaching effects on the genome. The widespread induction of stress-related genes and transcription factors, and repression of genes associated with cell wall metabolism, were prominent examples (Paul et al., 2006). In addition, the magnetic field exposure level played a role on DNA (Dhawi, 2014). by extending the lifespan of free radicals and changing the phase of atoms which created unpaired electrons and led to stress and oxidation reaction (Sahebjamei et al., 2007). Many reports stated that the magnetic field had effects on transaction and mutation as cells were stimulated by free radicals, which affected DNA integrity, causing the breakdown of DNA doubling and mutation (Dhawi, 2014).

The future benefit of this research could be achieved by applying the use of MF to tissue culture applications for cultivating rare seeds which couldn't germinate in nature. The techniques in this research could be applied for further crop production and advanced crop cultures as the applications was highly suitable for a closed system process with high controllability.

Conclusions

The magnetic flux density could be used to accelerate the growth of Niew Khiaw Ngoo rice in a culturing method, and

the intensity of 14–65 mT was the most suitable magnetic flux density for accelerating the growth of rice stems and roots. This application could be an efficient way to improve the germination rate while reducing the use of chemicals and costs of seedling production in the future.

Acknowledgements Authors wish to acknowledge the Faculty of Education, Development Institute Chiang Rai Rajabhat University for the financial support, as well as Chiang Rai Rajabhat University.

References

Azimian, F., & Roshandel, P. (2015). Magnetic field effects on total phenolic content and antioxidant activity in Artemisia sieberi under salinity. *Indian Journal of Plant Physiology, 20*, 264–270. https://doi.org/10.1007/s40502-015-0174-3

Bahadir, A., Beyaz, R., & Yildiz, M. (2018). Effect of magnetic field on in vitro seedling growth and shoot regeneration from cotyledon node explants of *Lathyrus chrysanthus* boiss. *Bioelectromagnetics, 39*, 547–555. https://doi.org/10.1002/bem.22139

Belyavskaya, N. A. (2004). Biological effects due to weak magnetic field on plants. *Advances in Space Research, 34*, 1566–1574. https://doi.org/10.1016/j.asr.2004.01.021

Benjavan, R. (2017). The rice value chain: A case study of thai rice. *ASR CMU Journal of Social Sciences and Humanities, 4*, 11–26. https://doi.org/10.12982/CMUJASR.2017.0001

Dhawi, F. (2013). Why magnetic fields are used to enhance a Plant's growth and productivity? *Annual Research and Review in Biology, 4*, 886–896. https://doi.org/10.9734/ARRB/2014/5983

Dhawi, F. (2014). Why magnetic fields are used to enhance a plant's growth and productivity? *Annual Research and Review in Biology, 4*, 886–896. https://doi.org/10.9734/ARRB/2014/5983

El-Gizawy, A. M., Ragab, M. E., Helal, N. A., El-Satar, A., & Osman, I. H. (2016). Effect of magnetic field treatments on germination of true potato seeds, seedlings growth and potato tubers characteristics. *Middle East Journal of Agriculture Research, 5*, 74–81.

García-Gonzáles, R., Quiroz, K., Carrasco, B., & Caligari, P. (2010). Plant tissue culture: Current status, opportunities and challenges. *Ciencia E Investigación Agraria, 37*, 5–30. https://doi.org/10.4067/S0718-16202010000300001

Gomez, K. A., & Gomez, A. A. (1984). *Statistical procedures for agricultural research* (pp. 207–215). Springer.

Hozayn, M., Abdallha, M. M., El-Monem, A. A. A., El-Saady, A. A., & Darwish, M. A. (2016). Applications of magnetic technology in agriculture: A novel tool for improving crop productivity (1): Canola. *African Journal of Agricultural Research, 11*, 441–449. https://doi.org/10.5897/AJAR2015.9382

Jan, G., Jozef, H., & Jerzy, L. (2013). Agrophysics-physics in agriculture and environment. *Soil Science Annual, 64*, 67–80. https://doi.org/10.2478/ssa-2013-0012

Jiles, D. (1991). *Introduction to magnetism and magnetic materials* (pp. 1–358). Springer.

Martínez, E., Carbonell, M., Flórez, M., Amaya, J., & Maqueda, R. (2009). Germination of tomato seeds (*Lycopersicon esculentum* L.) under magnetic field. *International Agrophysics, 23*, 44–50.

Murashige, T., & Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum, 15*, 473–497. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x

Paldin, N. A. (2010). *Magnetic materials fundamentals and applications* (2nd ed., pp. 3–143). Springer.

Paul, A. L., Ferl, R. J., & Meisel, M. W. (2006). High magnetic field induced changes of gene expression in arabidopsis. *BioMagnetic Research and Technology, 4*, 7. https://doi.org/10.1186/1477-044X-4-7

Prashar, P., & Shah, S. (2016). Impact of fertilizers and pesticides on soil microflora in agriculture. *Sustainable Agriculture Reviews, 19*, 331–361.

Rathod, G. R., & Anand, A. (2016). Effect of seed magneto-priming on growth, yield and Na/K ratio in wheat (*Triticum aestivum* L.) under salt stress. *Indian Journal of Plant Physiology, 21*, 15–22. https://doi.org/10.1007/s40502-015-0189-9

Reece, J. B., Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., & Jackson, R. B. (2017). *Campbell biology* (11th ed., pp. 132–133). Springer.

Rehman, A., Jingdong, L., Khatoon, R., & Hussain, I. (2016). Modern agricultural technology adoption its importance, role and usage for the improvement of agriculture. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences, 16*, 284–288. https://doi.org/10.5829/idosi.aejaes.2016.16.2.12840

Sahebjamei, H., Abdolmaleki, P., & Ghanati, F. (2007). Effects of magnetic field on the antioxidant enzyme activities of suspension-cultured tobacco cells. *Bioelectromagnetics, 28*, 42–47.

Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2013). *Physics for scientists and engineers with modern physics* (9th ed., pp. 725–731). Springer.

Singh, C. R. (2018). Review on problems and its remedy in plant tissue culture. *Asian Journal of Biological Sciences, 11*, 165–172. https://doi.org/10.3923/ajbs.2018

Ueno, S. (1993). *Biological effects of magnetic and electromagnetic fields* (pp. 1–233). Springer.

Publisher's Note Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Springer Nature or its licensor (e.g. a society or other partner) holds exclusive rights to this article under a publishing agreement with the author(s) or other rightsholder(s); author self-archiving of the accepted manuscript version of this article is solely governed by the terms of such publishing agreement and applicable law.

Vol.9, No.3 pages 13-24 Food Agricultural Sciences and Technology (FAST) Research Article

Construction of an AI electronic nose system for characterization of a coffee aroma map in Chiang Rai province

Wittaya Pulsawad[1], Parinya Saphet[3], Komkrich Kaewpanus[2], Anusorn Tong-on[3] , Meechai Thepnurat [3]*

[1] *Program of Mathematics Education, Faculty of Education, Chiang Rai Rajabhat University, Chiang Rai, 57100, Thailand*

[2] *Program of Biology Education, Faculty of Education, Chiang Rai Rajabhat University, Chiang Rai, 57100, Thailand*

[3] *Program of Physics Education, Faculty of Education, Chiang Rai Rajabhat University, Thailand, 57100, Thailand*

* *Corresponding author: Tmeechai14@gmail.com*

Received: 21st July 2023, **Revised**: 23rd September 2023, **Accepted**: 26th September 2023

Abstract - Chiang Rai, a province located in northern Thailand, has gained renown for its exclusive Arabica coffee fragrance, attributed to the region's elevated climate and distinctive topography. In a concerted effort to elevate the worth of this aromatic treasure, a dedicated team of researchers pioneered an AI-based electronic olfaction system. The system is equipped with an array of gas sensors, meticulously calibrated to detect gases within the 10-1000 ppm range, encompassing the ten distinct gases released by coffee beans. These highly sensitive detectors are seamlessly interfaced with an Arduino ESP32 processor board and under the precise orchestration of a Python program. The system promptly responds to the sensors, meticulously gauging the nuances of the coffee aroma. Subsequently, this data is transmitted *via* Wi-Fi, utilizing the Internet of Things (IoT) protocol. Further, the collected information is securely deposited within a cloud-based web service, offering real-time access through an online platform. These sophisticated aroma maps serve as invaluable resources, unraveling

Citation: Pulsawad, W., Saphet, P., Kaewpanus, K., Tong-on, A., & Thepnurat, M. (2023). Construction of an AI electronic nose system for characterization of a coffee aroma map in Chiang Rai province. *Food Agricultural Sciences and Technology, 9*(3), 13-24.

the distinctive olfactory profiles of coffee beans cultivated across varied regions of Chiang Rai. The cumulative data serves as a cornerstone for the development of AI-driven electronic olfaction systems, tailored to identify the singular aromas of coffee beans unique to this locale. This technological leap not only enriches the repository of coffee aroma maps but also augments the inherent value of Chiang Rai's coffee bean production. Additionally, these aroma maps serve a dual purpose by bolstering the branding and marketing endeavors of Chiang Rai's coffee beans, rendering them easily recognizable and enticing to a global consumer audience.

Keywords: AI electronic noses, gas sensor detectors, Arduino ESP32

1. Introduction

Globally, coffee is one of the most popular beverages, with approximately 2.25 billion cups consumed per day (ICO, 2021). People delight in the complex flavors and aromatic scents influenced by various factors, including coffee bean varieties, cultivation conditions, processing methods, roasting levels, and brewing techniques (Illy, 2005; Münchow *et al.*, 2020). Among these factors, the aroma of coffee may hold the utmost significance as it serves as a preliminary indicator of taste and beverage quality. The aroma of coffee is a complex blend of hundreds of volatile organic compounds (VOCs) that are released during the roasting and brewing processes (Farah, 2012; Chen *et al.*, 2022). These compounds interact with the olfactory receptors in the nose, resulting in the familiar and enjoyable coffee fragrance. The specific components and intensity of VOCs in coffee aroma can vary depending on factors such as roasting levels, bean varieties, and brewing methods (Lehane, 2018; Barea-Ramos, 2022; dos Santos, 2022), making them essential markers for origin, processing, and coffee quality. Professional coffee tasters, also known as "cuppers," rely primarily on the aroma of coffee to evaluate its quality and sensory attributes (Illy, 2005; Pereira, 2021). Coffee brewers can distinguish subtle differences in aromas between various coffee samples, identifying scents of fruits, flowers, spices, hot peppers, earthiness, and more (Specialty Coffee Association of America (SCAA), 2021). These experts undergo extensive training to develop keen olfactory perception and memory and utilize standardized protocols and descriptors to ensure consistency and objectivity in evaluations (Specialty Coffee Association of America (SCAA), 2021).

Despite the importance of coffee aroma in sensory analysis and quality control, evaluating aroma remains a challenging task due to its complexity and variability. Human assessors have limited sensitivity and perception, which can be influenced by various factors such as fatigue, food, smoking, and environmental conditions (Bhumiratana, 2017; Seninde, 2020, Rocchetti, 2020; Elhalis, 2021). Moreover, sensory evaluations are time-consuming, expensive, and require well-trained personnel, making large-scale production and quality checks impractical.

Researchers have explored the possibility of using electronic noses as an alternative for human olfactory analysis of coffee aroma. Electronic noses mimic the human olfactory system by combining multiple gas sensors with pattern recognition algorithms to identify and discriminate complex odor profiles (Gardner, 1994;

Borowik, 2020; Bonah, 2020). Electronic noses have found applications in various fields, including food quality control, environmental monitoring, medical diagnosis, and security (Di Natale, 2003; Karakaya, 2020; John, 2021). In the context of coffee aroma analysis, electronic noses offer several advantages, such as speed and reproducibility, surpassing human evaluators in these aspects (Rocha, 2018). Furthermore, electronic noses can detect odor compounds that are challenging for humans to perceive, such as trace amounts of acetic acid, nitrogen, or oxygen compounds (Ferreira, 2016; Dung, 2018). Recent studies have demonstrated that electronic noses can differentiate coffee bean varieties, roasting levels, and brewing methods based on their distinctive aromas (Lai, 2020; Yamanaka, 2020). However, most of these studies have focused on laboratory-based experiments using standardized samples, which may not fully capture the complexity and diversity of real-world coffee products.

In this research report, we present an AI-powered electronic nose system that detects gases in coffee beans using multiple gas sensors, covering ten different gases. The system aims to characterize the aroma of coffee beans, providing valuable insights into coffee origin and quality. This research focuses on innovating an electronic nose system for measuring gases and chemical compounds emitted by coffee beans. The system is designed to be lightweight, compact, and affordable, with a small processing board. Small-scale coffee producers and farmers can use this device to assess the quality of coffee beans based on their aroma. Additionally, it can assist baristas in blending coffee beans to create new and unique coffee flavors in their coffee shops.

2. Materials and methods

This research consisted of two main parts. The first part involved designing and creating an AI-powered electronic nose system to characterize the specific aroma profiles of coffee. The system included a set of gas sensors, namely MG-811, MQ131, MQ136, MQ137, MQ138, MQ9, MQ8, MQ3, MQ135, and MQ7, capable of detecting gas concentrations in the range of 10-1000 ppm. These gas sensors were connected to an Arduino ESP32 microcontroller board and controlled by a Python program. The electronic nose system was responsive to the coffee aroma and sends data over the internet via Wi-Fi using the IoT (Internet of Things) protocol. Next, the data collected by the electronic nose system was stored on a cloud web service, and real-time results were displayed on an online website in the form of a coffee aroma map, as shown in Figure 1. In the second part, the AI-powered electronic nose system was tested with different coffee aromas from three distinct geographical locations. - (1) an area with elephants, (2) Doi Pang Khon area, and (3) Doi Tung area. The system recorded measurements from all ten gas sensors and calculated the average values. These data were then used to generate radar charts, displaying the aroma profiles of coffee from each geographical location. The aroma map data were stored in a database for further development of the AI-powered electronic nose system, as depicted in Figure 2.

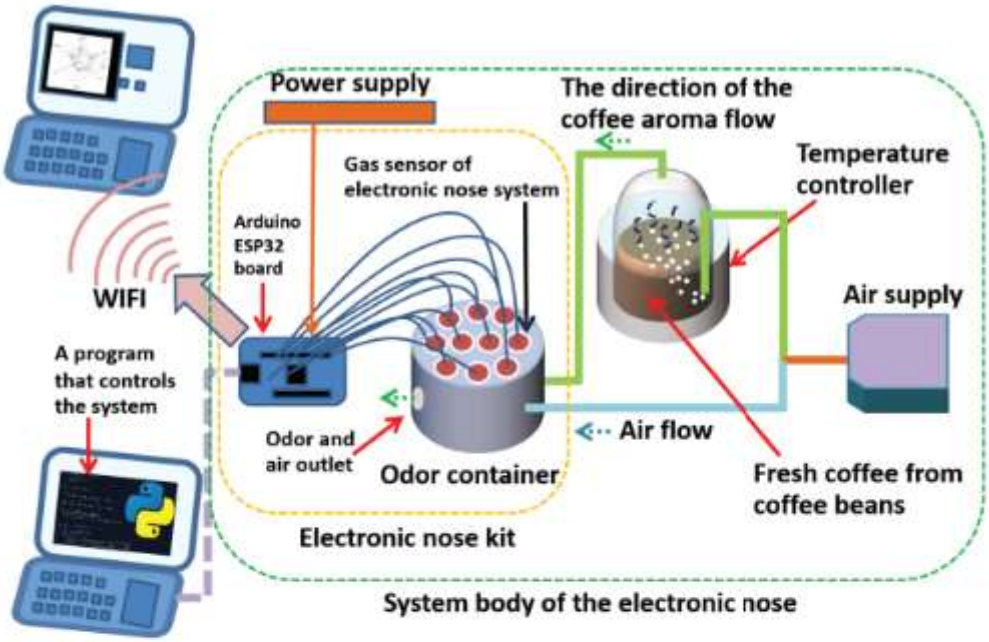


Figure 1. Explain the operation and components of the AI-powered electronic nose system for characterizing specific aroma profiles of coffee.

2.1 Coffee bean aroma emission

The test process begins with placing the coffee beans to be measured in an electronic nose system, specifically designed for this purpose. Coffee beans emit their distinctive aroma when they are in a normal state or undergo aroma measurement in Figure 2.

2.2 Gas sensor detects coffee aroma

A gas sensor was employed to receive and detect the coffee aroma. The sensor's primary function was to analyze the chemical compounds present in the coffee aroma.

2.3 Conversion to electrical voltage

The coffee aroma was transformed into an electrical voltage. This conversion was directly proportional to the intensity of the coffee aroma detected.

2.4 Transmission to ESP32 board

The electrical voltage data obtained from the gas sensor was transmitted to an ESP32 board for data processing.

2.5 ESP32 transmits Wi-Fi signals

The ESP32 board establishes a Wi-Fi connection and communicates with an internet network.

2.6 IoT protocol transmission

The data from the ESP32 was transmitted using the Internet of Things (IoT) protocol to an internet-based service that handles data storage (Misra, 2022; Park, 2023). Cloud Web Service for Data Storage: Data sent from the ESP32 was securely stored in a cloud-based service accessible *via* the internet, ensuring convenient data management and access.

2.7 Real-Time data reporting

The electrical voltage data, acquired through real-time coffee aroma measurements was presented in real-time on a web-based platform. Users can conveniently monitor this data in real-time.

2.8 Graphical representation of average electrical voltage

Preliminary data regarding the average electrical voltage associated with the coffee aroma was graphically displayed on the website, providing users with a comprehensive overview of the information.

2.9 Detailed analysis results

Additionally, detailed analysis results of individual samples of coffee aroma obtained through the measurement process are presented on the website, allowing users to explore and understand the data in-depth. A substantial amount of coffee aroma sample data from years of research, which requires extended periods of accumulating experience, is crucial for the recording and learning process of the AI-powered electronic nose system. This data has been detected and recorded in the Cloud Web Service for Data Storage. It will be retrieved for further development in the next phase to enhance the AI-powered electronic nose system.

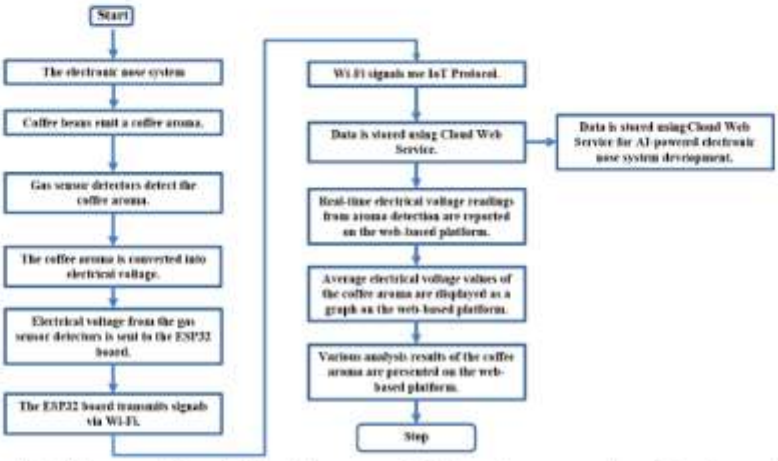


Figure 2. Explain the operation of the AI-powered electronic nose system for characterizing specific aroma profiles of coffee, including data transmission and presentation on a website.

3. Results and discussion

The research results in step 1. The Arduino ESP32 board is a microcontroller board used in the Internet of Things (IoT) context, capable of efficient Wi-Fi connectivity. The ESP32 features a high-speed Wi-Fi module, enabling easy and high-performance connection to Wi-Fi networks. It is particularly suitable for electronic projects that require straightforward Wi-Fi connectivity, such as monitoring the aroma of coffee in the field at a coffee shop. The ESP32 has the ability to manage data and communicate through various protocols over Wi-Fi, such as HTTP, MQTT, and CoAP. This facilitates the easy and efficient transmission of data from gas sensors or control of devices. The ESP32 also excels in energy management, efficiently conserving power by switching between full-power operation and low-power modes. This is beneficial for saving energy when maintaining Wi-Fi connectivity during waiting periods, such as when preparing coffee aroma under various conditions, while still needing constant communication between the control panel and the electronic olfactory sensor for real-time status display. Furthermore, the ESP32 offers multiple I/O pins that can be used to control various devices. This makes it well-suited for simultaneously reading data from multiple sensors and provides versatility in connecting external hardware.

The Arduino ESP32 board relies on a Wi-Fi connection, and if it cannot establish a Wi-Fi connection, such as due to weak or missing Wi-Fi signals, our electronic olfactory system, which operates as an IoT system, may experience limitations in terms of connectivity and communication. This can lead to it not functioning at its full potential or not functioning at all. However, it should be noted that coffee shops typically have Wi-Fi signals available for customer use on a consistent basis, which can help mitigate the issue unless unexpected circumstances arise.

3.1 The design and creation of the AI-powered electronic nose system for characterizing specific aroma profiles of coffee.

This system includes the electronic nose device, as shown in Figure 3, with a status display screen and internal functionalities. Additionally, a website has been developed at https://coffee.chiangeyes.com/ to present the measurement results of coffee aroma, as depicted in Figure 4. (a) The website allows authorized access to measurement data by operators using the AI-powered electronic nose system. (b) It provides a menu for selecting different testing conditions and criteria for aroma detection. (c) The website displays real-time examples of coffee aroma maps detected by the AI-powered electronic nose system. (d) The website also allows the designation of testing locations in the field, enabling the storage of aroma maps correlated to specific coffee plantation areas.

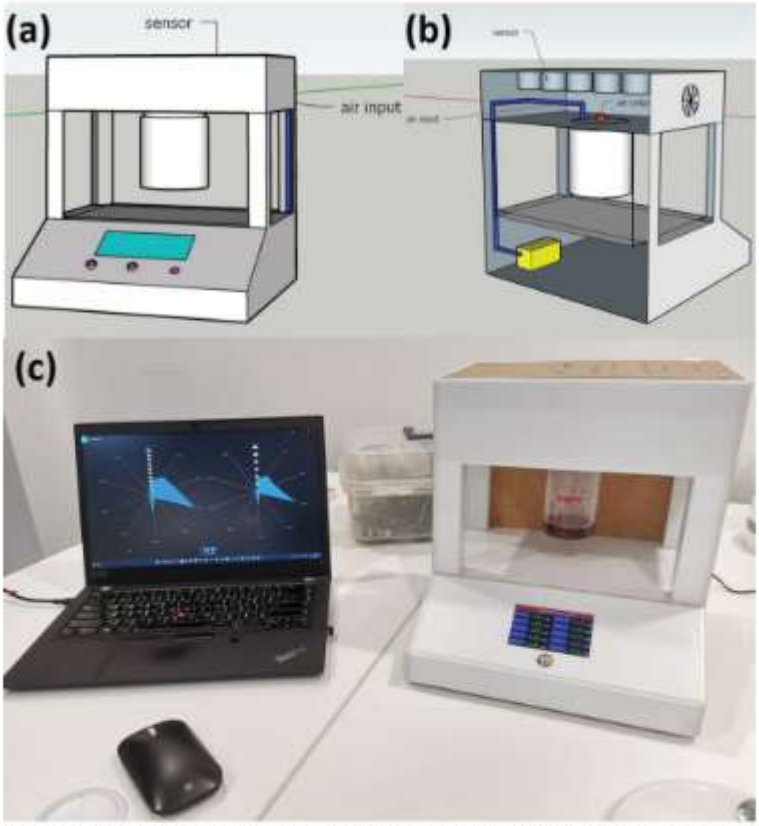


Figure 3. The results of the design and construction of the front and back views of the electronic nose device are shown in (a) and (b) respectively. The prototype device has successfully detected the aroma of Arabica coffee from the coffee sample as shown in (c).

3.2 The results of the research in step 2

The testing outcomes of the AI-powered electronic nose system, which were preliminarily evaluated with different coffee aromas from three geographically distinct regions Doi Pang Khon area the preliminary analysis, notable differences in aroma profiles were observed among the regions, requiring further confirmation through an increased number of measurement samples and comparison with evaluations conducted by expert coffee tasters in subsequent phases.

This part explains that the outcomes or findings of the process involved in creating an AI-powered electronic nose system, designed for the purpose of identifying and describing unique coffee aroma profiles, have been successfully gathered. These results come from the electronic nose device, a piece of technology used for sensing and analyzing smells, and they are made available for public viewing on a designated website marked as in Figure 4(a).

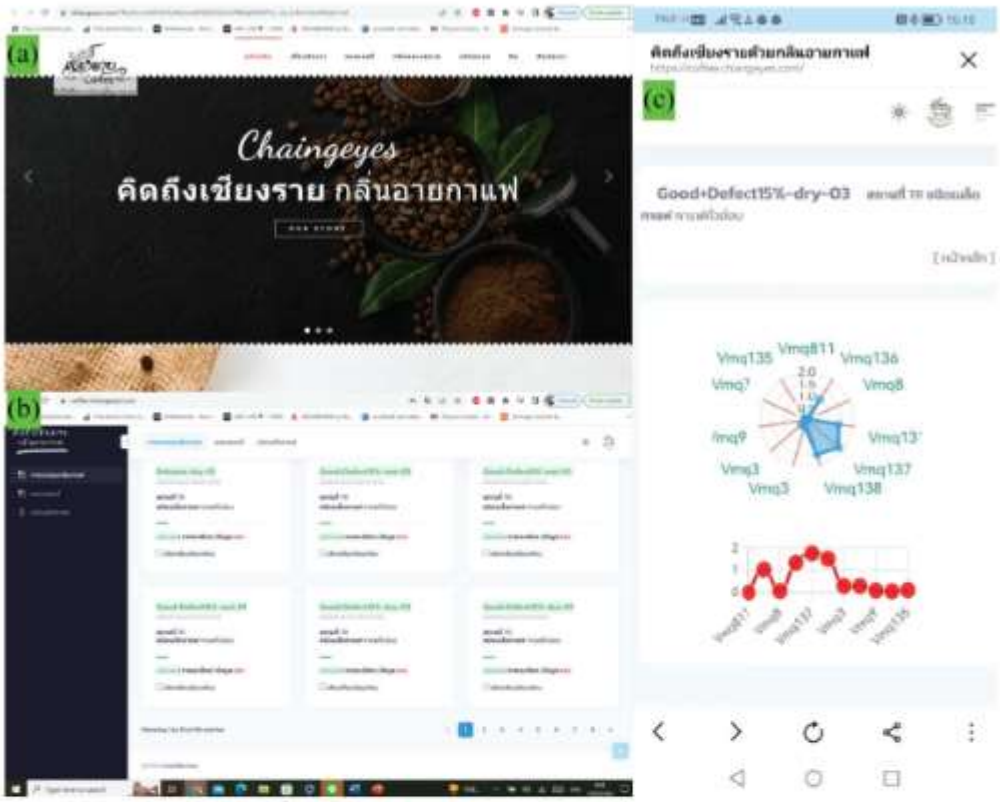


Figure 4. The results of designing and constructing the AI-powered electronic nose system to characterize specific coffee aroma profiles have been obtained from the electronic nose device and are showcased on the website (a). Furthermore, a log of recorded data, including samples of coffee aroma for in-depth analysis, is available (b). These resources are accessible on smartphones, allowing for field operations (e).

In simpler terms, it means that the data obtained from the electronic nose system's operation is now accessible to anyone visiting the specified website. In addition to the results mentioned in the first part, this section mentions the existence of a detailed record or log. This log contains various types of data, which include samples of coffee aromas. These samples are preserved for thorough examination and analysis. This data resource is specifically labeled as Figure 4(b), indicating it can be accessed separately. Essentially, it suggests that not only are the results available but also a comprehensive dataset, which includes coffee aroma samples for more profound research and understanding in Figure 4(b). This final part underscores the accessibility of the mentioned resources on smartphones. It means that individuals can access both the results and the detailed data log, including aroma samples, using their smartphones. This accessibility is particularly useful for conducting operations or research in the field, where individuals can refer to this information directly on

their mobile devices. It emphasizes the convenience of having this valuable data at one's fingertips while working outside of a traditional office or lab environment in Figure 4(c). This system is fully functional and capable of recording aroma maps of coffee to develop a comprehensive AI-powered electronic nose system.

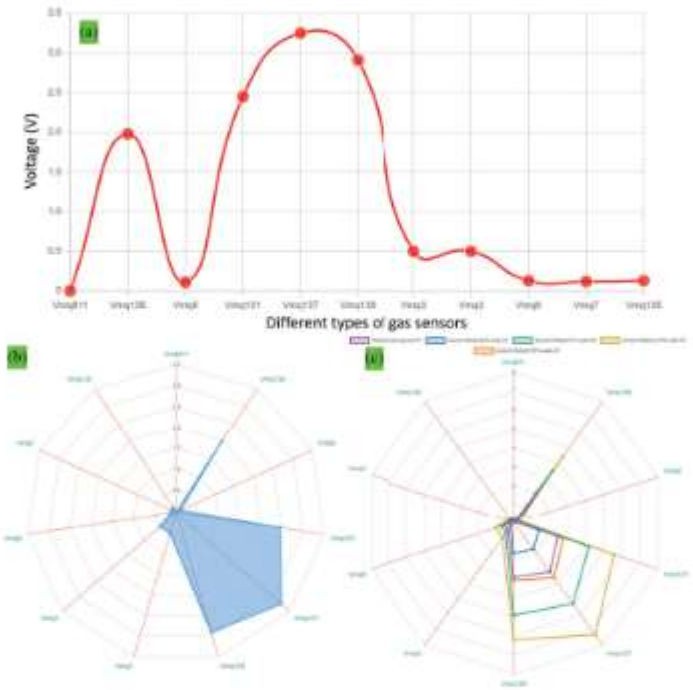


Figure 5. The results of coffee aroma detection are presented, as reported on the webpage in the form of a graph displaying the electrical voltage values from ten electronic nose sensors (a). Subsequently, the voltage values are transformed into a contour graph, illustrating the spatial distribution of Arabica coffee aroma (b). Additionally, the figure demonstrates the outcomes of comparative testing, highlighting the aroma distribution differences between high-quality coffee beans and those with contamination levels of 0%, 5%, 7%, 10%, and 15%, respectively.

This part explains that the outcomes of a process involving the detection of coffee aromas are showcased and discussed. These results are made available on a webpage, specifically identified as Figure 5(a). To visually represent the data, a graph is employed. This graph displays electrical voltage values, which have been collected from ten electronic nose sensors. In essence, it means that the data collected from the electronic nose sensors is converted into a graph format and displayed on a website for users to view. Following the presentation of the initial graph, the text mentions that the voltage values were subjected to a transformation process. This transformation results in the creation of a contour graph. This graph was designed to visually represent the spatial distribution of Arabica coffee aroma. Essentially, it provides a graphical depiction of how the aroma is distributed across a particular

area or surface. This graph is specifically labeled as Figure 5(b). In this final part, the text mentions that the figure (which likely includes the graphs mentioned earlier) serves an additional purpose. It is used to illustrate the results of comparative testing. Specifically, it highlights the differences in aroma distribution between high-quality coffee beans and beans with various contamination levels. The text specifies the contamination levels tested: 0%, 5%, 7%, 10%, and 15%. This means that the figure (possibly in the form of additional graphs or charts) visually demonstrates how the aroma profiles of coffee beans change when they are contaminated at these different levels Figure 5(c).

4. Conclusion

This research project has successfully designed and created an AI-powered electronic nose system. The electronic nose device consists of a set of gas sensor heads, encompassing various types of gases released from coffee beans. There are ten sensor heads capable of detecting gas concentrations in the range of 10-1000 ppm. These gas sensor heads are connected to an Arduino ESP32 processing board, which is controlled by a Python program. The electronic nose system is responsive to the coffee aroma and can perform odor measurements. The system is equipped with internet Wi-Fi capabilities and uses IoT (Internet of Things) Protocol to transmit data in real-time. The collected data is then stored on a cloud web service. The results are displayed on an online website as a real-time aroma map of coffee. This electronic nose system can differentiate the aroma of Arabica coffee, even at varying levels of contamination, making it suitable for assessing the quality of coffee beans. This system is fully functional and capable of recording aroma maps of coffee to develop a comprehensive AI-powered electronic nose system. The aroma maps are generated from coffee beans sourced from different geographical areas in Chiang Rai province, such as Doi Pang Khon. The research findings demonstrate the potential to add value to coffee beans by promoting unique coffee aromas based on their geographical origin within the Chiang Rai region.

5. Acknowledgement

We express our gratitude to the Physics Department of the Faculty of Education, Chiang Rai Rajabhat University, and the Research and Development Institute of Chiang Rai Rajabhat University (RDI.CRRU) for their valuable support, excellent facilities, and convenient resources. A special acknowledgment goes to the Science, Research, and Innovation budget for the fiscal year 2566, which provided research funding under the research and development plan for fostering sustainable economic growth in Chiang Rai province. Their generous research grant support has enabled the successful completion of the research project.

6. References

Barea-Ramos, J.D., Cascos, G., Mesias, M., Lozano, J. & Martín-Vertedor, D. (2022). Evaluation of the olfactory quality of roasted coffee beans using a digital nose. *Sensors, 22*, 8654.

Bhumiratana, N., & Adhikari, K. (2017). Sensory evaluation of foods. In K. Adhikari, L. Nollet, & F. Toldrá (Eds.), *Handbook of sensory methods and analysis* (pp. 1-22). CRC Press.

Bonah, E., Huang, X., Aheto, J.H. & Osae, R. (2020). Application of electronic nose as a non-invasive technique for odor fingerprinting and detection of bacterial foodborne pathogens: a review. *J Food Sci Technol, 57*, 1977-1990.

Borowik, P., Adamowicz, L., Tarakowski, R., Siwek, K. & Grzywacz, T. (2020). Odor detection using an E-nose with a reduced sensor array. *Sensors, 20*, 3542.

Chen, Y., Chen, H., Cui, D., Fang, X., Gao, J. & Liu, Y. (2022). Fast and non-destructive profiling of commercial coffee aroma under three conditions (beans, powder, and brews) using GC-IMS. *Molecules, 27*, 6262.

Di Natale, C., Paolesse, R., Macagnano, A., Mantini, A., D'Amico, A., Pennazza, G., & Bernabei, M. (2003). Electronic noses for environmental monitoring applications. *Sensors and Actuators B: Chemical, 93*(1), 231-236.

dos Santos, H.D. & Boffo, E.F. (2021). Coffee beyond the cup: analytical techniques used in chemical composition research—a review. *Eur Food Res Technol, 247*, 749-775.

Dung, T.T., Oh, Y., Choi, S.-J., Kim, I.-D., Oh, M.-K. & Kim, M. (2018). Applications and advances in bioelectronic noses for Odour sensing. *Sensors*, 18, 103.

Elhalis, H., Cox, J., Frank, D. & Zhao, J. (2021). The role of wet fermentation in enhancing coffee flavor, aroma and sensory quality. *Eur Food Res Technol, 247*, 485-498.

Farah, A. (2012). Coffee constituents. In M. Y. Yi-Chong (Ed.), *Comprehensive natural products II: chemistry and biology* (pp. 295-324). Elsevier.

Ferreira, S. R. S., de Oliveira, L. S., Rocha, M. A. M., Silva, M. A., & Fialho, E. M. P. (2016). Electronic noses in beverage analysis. In M. C. U. Araújo & L. C. C. Meisel (Eds.), *Electronic noses and tongues in food science* (pp. 69-87). Academic Press.

Gardner, J. W., & Bartlett, P. N. (1994). A brief history of electronic noses. *Sensors and Actuators B: Chemical, 18*(1), 210-211.

ICO. (2021). *Coffee Market Report - August 2021. International Coffee Organization*.https://www.ico.org/documents/cy2020-21/cmr-0821-e.pdf

Illy, A., & Viani, R. (2005). *Espresso coffee: the science of quality (2nd ed.)*. Elsevier.

John, A.T., Murugappan, K., Nisbet, D.R. & Tricoli, A. (2021). An outlook of recent advances in chemiresistive sensor-based electronic nose systems for food quality and environmental monitoring. *Sensors, 21*, 2271.

Karakaya, D., Ulucan, O. & Turkan, M. (2020). Electronic nose and its applications: A survey. *Int. J. Autom. Comput., 17*, 179-209.

Lai, K. M., Kim, H. K., Kim, K. O., Kim, S. K., & Kim, J. H. (2020). Coffee roasting level classification using an electronic nose system. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 100*(14), 5202-5209.

Lehane, D., & Olah, T. (2018). Coffee flavour: an overview. *Flavour, 7*(1), 1-12.

Misra, N.N., Dixit, Y., Al-Mallahi, A., Bhullar, M. S., Upadhyay, R. & Martynenko, A. (2022). IoT, big data, and artificial intelligence in agriculture and food industry. *IEEE Internet Things J, 9*, 6305-6324.

Münchow, M., Alstrup, J., Steen, I. & Giacalone, D. (2020). Roasting conditions and coffee flavor: A multi-study empirical investigation. *Beverages, 6*, 29.

Park, C., Lee, J., Kim, Y., Park, J.G., Kim, H. & Hong, D. (2023). An enhanced AI-based network intrusion detection system using generative adversarial networks. *IEEE Internet Things J, 10*, 2330-2345.

Pereira, L.L., Marcate, J.P.P., Caliman, A.D.C., Guarçoni, R.C. & Moreli, A.P. (2021). Physical classification and sensory coffee analysis. *Quality Determinants in Coffee Production. 842*, 373-405.

Rocchetti, G., Braceschi, G.P., Odello, L., Bertuzzi, T., Trevisan, M. & Lucini, L. (2020). Identification of markers of sensory quality in ground coffee: an untargeted metabolomics approach. *Metabolomics, 16*, 127.

Rocha, M. A. M., Filho, P. F., Silva, M. A., Rocha, A. G., Araujo, M. C. U., Lima, R. L. S., & Fialho, E. M. P. (2018). Electronic nose in coffee analysis: a review. *Food Research International, 105*, 380-389.

Seninde, D. R., & Chambers, E. IV. (2020). Coffee flavor: A review. *Beverages*, 6, 44.

Specialty Coffee Association of America (SCAA). (2021). *Sensory evaluation. Retrieved*. https://scanews.coffee/section/research/sensory-evaluation/

Yamanaka, K., Nishimura, O., Yamazaki, T., & Toko, K. (2020). Coffee bean aroma detection using metal oxide gas sensor array and deep neural network. *Sensors and Actuators B: Chemical, 309*, 127719.

ResearchGate

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: https://www.researchgate.net/publication/387108784

EXTRACTION AND CHARACTERIZATION OF PECTIN FROM PINEAPPLE PEELS (ANANAS CONOSUS) AND COCOA HUSK

Article *in* Suranaree Journal of Science and Technology · November 2024

DOI: 10.55766/sujst-2024-05-e02789

CITATIONS
0

READS
63

4 authors, including:

Jitrayut Jitonnom
University of Phayao
55 PUBLICATIONS **505** CITATIONS
SEE PROFILE

Padarat Ninjiaranai
Pibulsongkram Rajabhat University
7 PUBLICATIONS **33** CITATIONS
SEE PROFILE

Waleepan Rakitikul
Chiang Rai Rajabhat University
8 PUBLICATIONS **30** CITATIONS
SEE PROFILE

EXTRACTION AND CHARACTERIZATION OF PECTIN FROM PINEAPPLE PEELS (ANANAS CONOSUS) AND COCOA HUSK

Jitrayut Jitonnom[1], Panthip Tue-ngeun[1,2], Padarat Ninjiaranai[3] and Waleepan Rakitikul[1,4,*]

Received: November 14, 2023; Revised: February 18, 2024; Accepted: September 30, 2024

Abstract

Pineapple peels and cocoa husks are typically discarded as agricultural waste from food processing in many areas of Chiang Rai. Here, we aim to extract and characterize the pectin from the pineapple waste and cocoa husk collected in the Chiang Rai area. Pectin was initially extracted using organic solvents (hydrochloric acid and citric acid), followed by ethanol precipitation. The pectin extracted was then evaluated for its dry matter yield, equivalent weight, and degree of esterification (%DE). The results showed that the pineapple residue contained 1.50-2.97% pectin, whereas the cocoa husk contained 6.20-15.86% pectin. The gram equivalent weight of cocoa husk was approximately 800-900, while pineapple waste was 1,300. The extracted pectin displayed low methoxy content, with a low level of DE (11-22%). Finally, the functional groups of pectin extracted were confirmed by Fourier transform infrared spectroscopy, showing the existence of the –C=O and C–O stretching peaks at 1600-1700 and 1100-1200 cm^{-1}, respectively. This preliminary study provides useful information for future studies on the gelling properties of the pectin from pineapple and cocoa husk waste.

Keywords: **Cocoa husk; Pectin; Pineapple waste; Proximate analysis; Waste management**

[1] *Unit of Excellence in Computational Molecular Science and Catalysis, and Division of Chemistry, School of Science, University of Phayao, Phayao, Thailand. Email: jitrayut.018@gmail.com*

[2] *Program in Chemistry, Faculty of Science and Technology, Uttaradit Rajabhat University, Uttaradit, Thailand. Email: ptuengeun@uru.ac.th*

[3] *Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Pitsanulok, Thailand. Email: padaratt@psru.ac.th*

[4] *Program of Chemical Technology and Innovation, Faculty of Science, Chiangrai Rajabhat University, Chiang Rai, Thailand. Email: em_waleepan_r@crru.ac.th*

[*] *Corresponding author*

DOI: https://doi.org/10.55766/sujst-2024-05-e02789

Suranaree J. Sci. Technol. 31(5):020031(1-7)

Introduction

Endemic plants of Chiang Rai, such as cocoa husks and pineapple peels, are typically discarded as waste, despite their significant potential for economic and environmental renewal. Various value-added studies have been conducted on these pineapple waste and cocoa husk wastes, including the extraction of pectin (Voragen *et al.*, 1995; Syamsiro, 2012; Dai *et al.*, 2018; Rodsamran and Sothornvit, 2019; Ramos *et al.*, 2021). Pectin is a carbohydrate polymer found in plants, and it serves as a substrate for the enzyme pectinase, which is present in plant cells, between fibers at the top of the first layer of the cell wall. Pectin binds cells together and is a major component of parenchyma tissue, along with arabinose, galactose, and galacturonic acid (Rathinavelu and Graziosi, 2005). With its high molecular weight and pectinic acid content, pectin can function as a gelling agent when mixed with food and water. It is also commonly used as a thickener and stabilizer in a variety of foods, including jams and jellies (Saha and Bhatthacharya, 2010).

The gelling properties of pectin are largely determined by the location of ester groups and the degree of methylation (DM). The hydrophobic interaction between the CH3-groups was found to be inversely related to rupture strength and gel threshold in model systems (Oakenfull and Scott, 1984). However, factors such as pectin composition, DM, solubility, pH, temperature, and the presence of soluble solids can influence its activity. Commercial pectin extraction usually aims to obtain water-soluble pectin with a high molecular weight (Voragen *et al.*, 1995). Various methods, such as Nuclear Magnetic Resonance (NMR), have been used to investigate the structural properties of pectin in dietary carbohydrates (Cheng and Neiss, 2012; Sila *et al.*, 2009), but NMR's quantitative analytical capability in carbohydrate detection remains limited (Simmler *et al.*, 2014). Fourier transform infrared (FT-IR) spectroscopy has emerged as a powerful tool for studying the structure, physical properties, and interactions of carbohydrates, providing a new interpretive and experimental framework for the study of complex natural polymer systems (Kacurakova and Wilson, 2001; Chargot and Zdunek, 2013).

This research focuses on the extraction and characterization of pectin from pineapple and cocoa husk waste, which were subsequently evaluated for their physical and chemical characteristics, using equivalent weight, degree of esterification, and functional-group methods. The findings in this work could be utilized for developing gelling agents, thickening agents, and emulsifying agents in the food industry.

Materials and Methods

Preparation waste samples

Samples of pineapple peel, pineapple eye bud, cocoa pod husk, and cocoa husk wastes were collected from difference area Chiang Rai Province, Thailand, which were utilized as raw materials for pectin extraction. Pectin was extracted from 100 g of dried cocoa pod husk, cocoa bean husk, and pineapple peel, and pineapple floret, which were dried in an oven at 50°C. The experimental procedure involved the preparation of a solution comprising 0.05 M hydrochloric acid (HCl) in water at a ratio of 1:12 (w/v), alongside a solution of 0.05 M citric acid, with the same ratio. Furthermore, solutions of 0.05 M HCl with 6% sodium hexametaphosphate (SHMP), and 0.05 M citric acid with 6% SHMP were prepared. These solutions were employed in treating the samples at a temperature of 95°C, for a duration of 90 minutes, as part of the extraction process. The selection of these specific solvent combinations was deliberate, and intended to assess their respective impacts on pectin yield within the context of the study. Following the extraction process, the pectin solution was filtered using a white filter cloth, and 95% acidified alcohol was employed to precipitate the filtered solution. The residue was subsequently dried using acetone through five successive iterations, or until a colorless filtrate was obtained. The resulting gel was allowed to precipitate at 25 °C for 24 hours, after which the pectin was dried at 65°C for another 24 hours. The dried pectin was then ground to pass through 60 mesh sieves for further analysis.

Proximate composition analysis

The waste residues obtained from pineapple peel, pineapple eye bud, cocoa pod husk, and cocoa husk were subjected to proximate analysis by AOAC approved methods for dry matter content (AOAC, 1998, 2005). Standard techniques were employed to assess the levels of crude protein, crude fat (ether extract), crude fiber, and ash content. All analyses were conducted, and the results were recorded and reported.

Equivalent weight

To determine the equivalent weight (Ranganna, 1995), 0.5 g of the sample was weighed and placed in a 250 mL conical flask. Subsequently, 5 mL of ethanol, 1.0 g of NaCl, and 100 mL of distilled water were added to the flask. Then, 6 drops of phenol red were introduced, and the solution was titrated against of 0.1 M (N) NaOH. The endpoint of the titration was indicated by the appearance of a purple color. This neutralized solution was stored for the subsequent determination of the methoxy content. The equivalent weight was calculated using the following formula:

$$\text{Equivalent weight} = (1000S)/(N \times V)$$

Where S represents the dry weight of the sample, N denotes the normality concentration of NaOH, and V represents the quantity of NaOH used in the titration.

The degree of esterification

To determine the degree of esterification (%DE) of the extracted pectin, 0.5 g of pectin powder was dissolved in 2 mL of ethanol and mixed with 100 mL of water. The mixture was stirred until a homogeneous solution was obtained. Subsequently, 10 mL of 0.5 M NaOH was added and stirred for 15 minutes. Afterward, 10 mL of 0.5 M HCl was added and stirred until the solution became colorless. A phenolphthalein indicator was then added, and the solution was titrated with 0.5 M NaOH (V2). The %DE was calculated using the following equation (Jittra *et al.*, 2004):

$$\%DE = (NaOHv1 / (NaOHv1 + 2)) \times 100$$

Where NaOHv1 represents the volume of 0.5 M NaOH used in the titration.

Functional group analysis

The functional groups of the extracted pectin were investigated using Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR), specifically employing the Nicolet 6700 FT-IR spectrophotometer (Bruker, Germany). Two milligrams of each sample were mixed with 100 mg of KBr powder. The mixture was placed into the die set, and a hydraulic pressure of 8-10 tons was applied to form a pellet. The pellet was then mounted in the sample holder of the FTIR spectrometer, and the spectrum was recorded. The spectra were collected by averaging 64 scans at a resolution of 4 cm^{-1} within the range of 400-4000 cm^{-1}.

Results and Discussion

Proximate analysis of pineapple and cocoa husk

To analyze the composition of pineapple and cocoa husk samples, proximate analysis were performed, and the results were collected in Table 1 for the four samples (pineapple peel, pineapple floret, cocoa pod husk, and cocoa bean husk). This data highlights the abundance of dry matter as the primary ingredient, followed by carbohydrates, crude fiber, crude protein, and ash, respectively. The dry matter composition ranged from 87 to 91%. Pineapple samples and cocoa pod husk accounted for 53-56% of dry matter, while cocoa bean husk represented less than half, at 29%. These findings indicate that the cocoa bean husk gave a lower sugar content compared to other materials (Chanprasartsuk *et al.*, 2020).

The crude fiber content ranged from 17 to 28%, with the pineapple peel and cocoa bean husk having the higher fiber content compared to the other samples. This fiber-rich residue can be utilized in the production of dietary fibers, absorbents, gelling agents, and thickeners.

Crude protein content in pineapple peel, pineapple floret, and cocoa pod husk ranged from 4 to 7%, with cocoa pod husk exhibiting double the protein level, at 15%. The ash content across all four samples ranged only 3 to 7%, with pineapple peel showing the lowest content, indicating a lower mineral content in the pineapple peel, compared to the waste samples reported in the literature (Chareekhot, 2016). Fat content in pineapple peel, pineapple floret, and cocoa pod husk were approximately 1-2%, while cocoa bean husk contained a significantly higher fat content, of 11%.

Table 1. Proximate composition (% weight) of pineapple waste and cocoa husk (mean ± standard deviation)

Composition	Pineapple peel	Pineapple floret	Cocoa pod husk	Cocoa bean husk
Dry matter	89.81±0.04	87.88±0.04	91.51±0.15	91.60±0.00
Ash	3.09±0.03	6.39±0.03	6.67±0.13	7.13±0.10
Crude Fiber	26.83±0.65	17.75±0.23	18.67±0.32	28.48±0.40
Fat	2.21±0.07	1.48±0.01	1.90±0.33	11.19±0.03
Crude Protein	4.60±0.05	6.60±0.06	7.50±0.13	15.80±0.07
Carbohydrates	53.10±0.62	55.60±0.38	56.80±0.14	29.0±0.27

Additionally, the findings presented in Table 1 indicate that the ash, protein, and lipid content of cacao pod husk align with the research conducted by Vega *et al.* (Vega *et al.*, 2018).

Characterization and properties of pineapple and cocoa husk samples

Previous studies (Attri and Maini, 1996; Handee *et al.*, 2016) investigated the impact of different organic solvent conditions on the performance of pectin extraction. Different organic solvents were tested for the optimal percent yield of the pectin extraction, using different combinations of sodium hexametaphosphate (SHMP), hydrochloric acid (HCl), and citric acid, as shown in Table 2. Results indicate that although HCl solution is less extractable than SHMP (data not shown), it exhibits superior extraction properties compared to citric acid (see Table 2). Besides, HCl is often used in the industry processes of pectin extraction. Most samples gave a dark brown color from the resulting pectin, except the cocoa bean husk, showing a light brown color. Among the samples and if HCl is used, cocoa bean husk had the highest pectin concentration (7.10%), followed by cocoa pod husk (6.20%), pineapple floret (2.97%), and pineapple peel (1.70%). These results are consistent with the data reported in the literature (Petkovic *et al.*, 2012). Furthermore, the data in the Table 2 also points out that both cocoa pod and bean husks can be utilized as ingredients in various dishes, similar to the pectin extracted from durian peel reported by Suwannarat *et al.* (Suwannarat *et al.*, 2019). We also found that this pectin had a taste acceptance of jam and jelly, in comparison to commercially produced jam supplemented with additional pectin.

When adding SHMP to HCl, the pectin concentration was determined to be higher in the cocoa husks (i.e., 15.86% of the cocoa pod husk and 13.90% of the cocoa bean husk). Pineapple samples contained pectin at a very low concentration (1.5-2.67%). On the contrary, when citric acid was utilized, the amount of pectin was relatively lower than when using HCl and HCl + SHMP, and the pectin from pineapple samples could't be determined, probably due to its low content.

When the equivalent weights of pectin from various samples were analyzed (Table 3), it was observed that the equivalent weights of pectin produced from waste materials were 883.33 for cocoa pod husks, 946.58 for cocoa bean husks, and 13035.71 for pineapple peel. These results suggest that the resulting weights of the extracted pectin had varying quantities. This could be because of low pH at the time of extraction. Temperature and time of extraction are different variables. Due to the equivalent weight being a value that indicates the amount of free carboxyl groups in the structure that are not esterified, a low equivalence weight indicates that pectin has a small amount of free

Table 2. Percent yield and physical appearance of pectin, extracted using different extraction conditions of sodium hexametaphosphate (SHMP), hydrochloric acid (HCl), and citric acid (Citric)

Samples	% Yield				Physical appearance
	HCl	HCl SHMP	Citric	Citric + SHMP	
Cocoa pod husk	6.20±0.25	15.86±0.43	6.20±0.07	11.42±0.56	Dark brown
Cocoa bean husk	7.10±0.29	13.90±0.24	7.10±0.16	12.60±0.62	Light brown
Pineapple peel	1.70±0.02	1.50±0.06	ND	ND	Dark brown
Pineapple floret	2.97±0.04	2.67±0.08	ND	ND	Dark brown

ND = not detected

Table 3. Equivalent weight and degree of esterification of the extracted pectin from HCl + SHMP solution extraction

Pectin	Weight (g)	NaOH Volume, V (mL)	NoH Concentration, N (mol/L)	1000S/NV	Equivalent Weight, Eq.Wt.
Cocoa Pod Husk	0.11	1.20	0.10	916.67	883.33
	0.10	1.00	0.10	1000.00	
	0.11	1.50	0.10	733.33	
Cocoa Bean Husk	0.13	1.20	0.10	1083.33	946.58
	0.10	1.20	0.10	833.33	
	0.12	1.30	0.10	923.08	
Pineapple waste	0.90	0.80	0.10	11250.00	13035.71
	0.90	0.60	0.10	15000.00	
	0.90	0.70	0.10	12857.14	

carboxyl groups in its structure, that are not esterified (Tangwongchai *et al.*, 2006). The amount of methoxyl and carboxyl in the molecular structure was shown by the equivalent weight. The higher the equivalent weight, the more significant the methoxyl group is in the structure Pectins with a higher equivalent weight possess a more complex structure and enhanced gel-forming capacity compared to those with a lower equivalence weight (Saraswaty *et al.*, 2017). As a result, pectin from cocoa husks and pineapple can be extracted under different conditions, such as varying pH levels, leading to differences in physicochemical properties. These differences in properties affect gelation factors, such as the addition of sugar and Ca^{2+}, resulting in various applications.

The degree of esterification (DE) of pectin ranges from 0 to 100 and is used as a grading criterion. A DE score of more than 50% typically indicates high methoxy pectin (HMP), which can gel at pH 4, or in the presence of more than 55% sucrose. Conversely, a DE score of 50% or less suggests low methoxy pectin (LMP), which can gel in the presence of calcium ions. LMP tends to gel quickly due to its lower degree of esterification. A gelatinous framework with cations, particularly calcium, can form under constant electrostatic conditions (Table 4). The pectin derived from the three wastes has an LMP characteristic, making it appropriate for providing texture to food, particularly low-fat cuisine (Ciriminna *et al.*, 2016).

Table 4. Equivalent weight and degree of esterification of the extracted pectin from HCl + SHMP solution extraction

Pectin	v1	v2	(v2/(v1+v2)×100	Average
Cocoa	3.80	0.40	9.52	
Pod	3.90	0.60	13.33	11.41±1.9
Husk	3.90	0.50	11.36	
Cocoa	2.30	0.90	28.13	
Been	2.30	0.40	14.81	22.01±6.72
Husk	2.00	0.60	23.08	

Interestingly, the pectin derived from cocoa husk using mineral an acid like HCl, at 95°C for 90 min, exhibited a degree of esterification (%DE) ranging from 11 to 22% (Table 4). This indicating a prevalence of low methoxy pectin where the glycosidic group of methyl ester of pectin tends to be hydrolyzed to produce galacturonic acid (Musita, 2021). This finding suggests the potential applicability of cocoa husk pectin in gelation processes. Commercial pectin derived from citrus fruit typically exhibits a higher degree of esterification (DE), often exceeding 50%, classifying it as high methoxyl pectin (HMP) (Tangwongchai *et al.*, 2006). Such pectins necessitate high sugar concentrations and acidic conditions to achieve gelation. In contrast, pectins extracted from alternative plant sources, including sunflower heads (Iglesias and Lozano, 2004), display a wide range of DE values, to the variability observed in pectins from cocoa pod husks and cocoa bean husks. The low DE of pectin from cocoa pod and cocoa bean husks suggests that these pectins gel in the presence of calcium ions (Ca^{2+}), as opposed to requiring high sugar content and acidic conditions. Consequently, these pectins are particularly suitable for applications where low sugar content is essential, such as in low-calorie or diabetic-friendly food products.

Functional analysis of pectin extracts by FT-IR

The FT-IR technique is used to further describe the pectin structure, as shown in Figure 1. Important wave numbers at 1740, 1610, 1240, or 1370, 1361 cm^{-1} (Kacurakova and Wilson, 2001) correspond to the ester C=O stretching, COO- antisymmetric stretching, C-O stretching, and CH_2 bending, respectively. The structural characteristics of the extracted pectin were similarly detected with the –C=O stretching peak at 1600-1700 cm^{-1}, the C-O stretching peak around 1100-1200 cm^{-1}, and close to those reported for commercial pectin (Musita, 2021, Mada *et al.*, 2022)

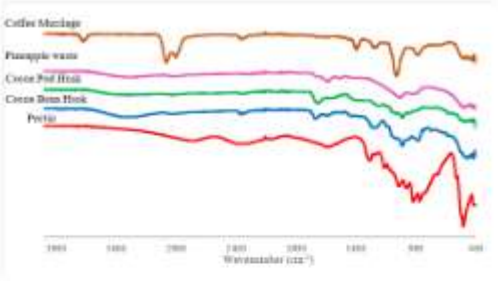


Figure 1. FT-IR graph of the pectin extracted

Conclusions

This study reports the extraction and characterization of pectin from pineapple (Ananas comosus) waste and cocoa husk. The investigation also aimed to elucidate key characteristics of the extracted pectin. The pectin yield obtained from the extraction process was found to be 15.86%w/w, which falls within the range observed for apple pomace (3.5-14.32%w/w). Furthermore, the equivalent weight of cocoa husk was estimated to be between 800 and 900, whereas that of pineapple peel was determined to be 1303. In light of the FT-IR spectrum, a common practice involves modestly scaling the frequency axis to align significant bands with those detected experimentally. By employing

this approach, the predicted structure of the extracted pectin was confirmed through FT-IR structural analysis. Based on our initial results, future investigations will focus on forecasting and examining gelling parameters such as pH, acylation, temperature, and molecular weight of the extracted pectin. By undertaking these endeavors, we aim to enhance our understanding of the pectin's properties and its prospective applications.

Acknowledgement

The authors would like to express grateful acknowledgement to the Faculty of Science and Technology, Chiang Rai Rajabhat University for the allowing for the use of their facility. We also acknowledge the The Research and Development Institute, Chiang Rai Rajabhat University. J. J. thanks the University of Phayao and the Thailand Science Research and Innovation Fund (Fundamental Fund 2025, Grant No. 5026/2567) and the School of Science, University of Phayao (Grant No. PBTSC67019).

References

AOAC Official Methods of Analysis. (1998). 16th edition. Association of Official Analytical Chemists.

AOAC Official Methods of Analysis. (2005). 16th edition. Association of Official Analytical Chemists.

Attri, B.L., and Maini, S. (1996). Pectin from galgal (Citrus pseusolimon Tan.) peel. Bioresource Technology, 55(1):89-91. https://doi.org/10.1016/S0960-8524(96)90031-0

Chanprasartsuk, O., Chamnoiprom, C., Charoenchai, K., Phunpheng, S., Khamee, S., and Panupintu, S. (2020). Dynamic changes of physicochemical properties of pineapple juice during fermentation with allochthonous and autochthonous yeasts under different conditions. Science Technology and Engineering Journal, 6(1):67-77.

Chareekhot, K. (2016). Food analysis. In Food Analysis. Faculty of Technology, Udornthani Rajabhat University. pp. 41-55

Chargot, M.S., and Zdunek, A. (2013). Use of FT-IR spectra and PCA for the bulk characterization of cell wall residues of fruits and vegetables along a fraction process. Food Biophysics, 8(1):29-42. https://doi.org/10.1007/s11483-012-9279-7

Cheng, H.N., and Neiss, T.G. (2012). Solution NMR spectroscopy of food polysaccharides. Polymer Reviews, 52(2):81-114. https://doi.org/10.1080/15583724.2012.668154

Ciriminna, R., Fidalgo, A.M.A., Delisi, R., Ilharco, L.M., and Pagliaro, M. (2016). Pectin production and global market. Agro Food Industry Hi-Tech, 27:17-20.

Dai, H., Ou, S., Huang, Y., and Huang, H. (2018). Utilization of pineapple peel for production of nanocellulose and film application. Cellulose, 25(3):1743-1757. https://doi.org/10.1007/s10570-018-1671-0

Handee, J., Soemphol, W., and Tanamool, V. (2016). Optimization of pectin extraction from kaffir limes peel. In The National and International Graduate Research Conference. pp. 401-408.

Iglesias, M.T., and Lozano, J.E. (2004). Extraction and characterization of sunflower pectin. Journal of Food Engineering, 62(3):215-223. https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00234-6

Jittra Singthong, Cui, S.W., Ningsanond, S., and Goff, H.D. (2004). Structural characterization, degree of esterification, and some gelling properties of Krueo Ma Noy (Cissampelos pareira) pectin. Carbohydrate Polymers, 58(4):391-400. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2004.07.018

Kacurakova, M., and Wilson, R.H. (2001). Developments in mid-infrared FT-IR spectroscopy of selected carbohydrates. Carbohydrate Polymers, 44(4):291-303. https://doi.org/10.1016/S0144-8617(00)00245-9

Mada, T., Duraisamy, R., and Guesh, F. (2022). Optimization and characterization of pectin extracted from banana and papaya mixed peels using response surface methodology. Food Science and Nutrition, 10(4):1222-1238. https://doi.org/10.1002/fsn3.2754

Musita, N. (2021). Characteristics of pectin extracted from cocoa pod husks. Pelita Perkebunan, 37(1):62-75. https://doi.org/10.22302/iccri.jur.pelitaperkebunan.v37i1.428

Oakenfull, D., and Scott, A. (1984). Hydrophobic interaction in the gelation of high methoxylpectins. Journal of Food Science and Technology, 49(4):1098-1100. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1984.tb10401.x

Petkovic, M., Pajin, B., Tomic, J., Torbica, A., Serse, Z., and Zaric, D. (2012). Textural and sensory properties of spreads with sucrose and maltitol. Chemical Industry, 66(6):385-394. https://doi.org/10.2298/HEMIND110902094P

Ramos, L.H., Arango, W.M., Correa, J.V., and Astudillo, I.C.P. (2021). Enzymatic extraction and characterization of pectin from cocoa pod husks (Theobroma cacao L.) using Celluclast® 1.5 L. Molecules, 26(5):1473. https://doi.org/10.3390/molecules26051473

Ranganna, S. (1995). Handbook of analysis and quality control for fruits and vegetable products (2nd ed., pp. 33-43). New Delhi: McGraw Hill Publishing Co. Ltd.

Rathinavelu, R., and Graziosi, G. (2005). Use of coffee wastes and by-products: A summary. International Coffee Organization, 2:1-12.

Rodsamran, P., and Sothornvit, R. (2019). Preparation and characterization of pectin fraction from pineapple peel as a natural plasticizer and material for biopolymer film. Food and Bioproducts Processing, 118:198-206. https://doi.org/10.1016/j.fbp.2019.09.010

Saha, D., and Bhattacharya, S. (2010). Hydrocolloids as thickening and gelling agents in food: A critical review. Journal of Food Science and Technology, 47(6):587-603. https://doi.org/10.1007/s13197-010-0162-6

Saraswaty, V., Risdian, C., Primadona, I., Andriyani, R., Andayani, D.G.S., and Mozef, T. (2017). Pineapple peel wastes as a potential source of antioxidant compounds. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 60:012013. https://doi.org/10.1088/1755-1315/60/1/012013

Sila, D., van Buggenhout, S., Duvetter, T., Fraeye, I., de Roeck, A., van Loey, A., and Hendrickx, M. (2009). Pectins in processed fruits and vegetables. Part II - Structure-function relationships. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 8(2):86-104. https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2009.00071.x

Simmler, C., Napolitano, J.G., McAlpine, J.B., Chen, S.N., and Pauli, G.F. (2014). Universal quantitative NMR analysis of complex natural samples. Current Opinion in Biotechnology, 25:51-57. https://doi.org/10.1016/j.copbio.2013.08.004

บทความวิจัย

ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2566
วารสาร มรภ.กพ. วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี
Journal of KPRU Science Mathematics and Technology

สีสกัดจากฝางและอัญชันสำหรับการย้อมสีเนื้อเยื่อพืชแบบย้อมทับ

Biancaea sappan (L.) Tod. and *Clitoria ternatea* L. Dye Extracts for Plant Tissue Counterstaining

นภัสสรณ์ กุยวารี และ อรวรรณ วนะชีวิน*
โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
Napatsorn Kuiwaree and Orawan Wanachewin*
Biology Program Faculty of Science and Technology, Chiang Rai Rajabhat University.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาศักยภาพของสีสกัดธรรมชาติจากแก่นฝาง (*Biancaea sappan* (L.) Tod.) และดอกอัญชัน (*Clitoria ternatea* L.) ในการย้อมสีเนื้อเยื่อพืชแบบควบคู่ ในตัวอย่างเนื้อเยื่อพืชส่วนลำต้นของพืช 2 ชนิดคือหมอน้อย (*Cyanthillium cinereum* (L.) H. Rob.) และหญ้าชน (*Urochloa mutica* (Forssk.) T.Q.Nguyen) เป็นแนวทางในการใช้สีย้อมธรรมชาติในการทดแทนสีย้อมสังเคราะห์สำหรับการย้อมตัวอย่างเนื้อเยื่อพืชทั้งรูปแบบตัวอย่างสด และตัวอย่างสไลด์ถาวร ในการศึกษาทำการสกัดสีจากแก่นฝางด้วยน้ำกลั่น และสีจากดอกอัญชันด้วย เอทานอลเข้มข้น 95% ในอัตราส่วนตัวอย่างต่อตัวทำละลาย 1:10 (W/V) สีสกัดที่ได้จากฝาง และอัญชันมีค่าความเป็นกรด - ด่างอยู่ในช่วง 5.38 – 5.40 และ 7.03 – 7.19 ตามลำดับ ผลการติดสีพบว่าสีสกัดจากฝางติดเนื้อเยื่อขัดเจนบริเวณไซเลม และสีของอัญชันติดขัดเจนบริเวณเนื้อเยื่อพื้น การย้อมสีสกัดจากธรรมชาติทั้ง 2 ชนิดควบคู่กัน พบว่าสามารถใช้ควบคู่กันได้ดีในระดับปานกลาง เนื่องจากสีสกัดให้ผลการติดสีเนื้อเยื่อพืชในบริเวณที่แตกต่างกันทำให้สามารถมองเห็นความแตกต่างของเนื้อเยื่อได้ แต่ยังให้ความเข้มของสีอ่อนกว่าการย้อมด้วยสีซาฟรานินโอควบคู่กับสีฟาสต์กรีน

คำสำคัญ : สีย้อมธรรมชาติ , การย้อมสีควบคู่, ฝาง, อัญชัน, เนื้อเยื่อพืช

* Corresponding author : orawan.wan@crru.ac.th
Received : 10/02/2023 Revised : 03/05/2023 Accepted : 07/06/2023

Abstract

This research aimed to determine staining efficacy of natural dyed extract from Sappan tree wood (*Biancaea sappan* (L.) Tod.) and Asian pigeonwings (*Clitoria ternatea* L.) on 2 types of plant tissue; Little ironweed (*Cyathilium cinereum* L. H. Rob.) and Para Grass (*Urochloa mutica* (Forssk.) T.Q.Nguyen) in order to substitute synthetic dye for plant tissue staining both in form of fresh and permanent slide preparation. In the study, heartwood of Sappan tree and flower of Asian pigeonwings were extracted by using distilled water or 95% ethanol at ratio 1:10 (W/V). The dyes' pH was in range of 5.38 – 5.40 and 7.03 – 7.19, respectively. The result showed that Sappan tree dye extracts gave well staining intensity at xylem while Asian pigeonwings dyes extracts yield good stain capacity at ground tissue. Counterstain between the natural dyes gave moderate staining results on both plant tissues. The dyes gave contrast tissue observation because of different sites of staining but had lower intensity compared to safranin O and fast green counterstain.

Keywords : Natural dye, Counterstain, Sappan tree, Asian pigeanwings, Plant tissue

ที่มาและความสำคัญ

การศึกษาเนื้อเยื่อพืชภายใต้กล้องจุลทรรศน์เป็นวิธีการพื้นฐานรูปแบบหนึ่งที่มีความสำคัญ และเป็นประโยชน์ต่อการศึกษากลุ่มเซลล์ของพืชที่รวมกลุ่มกันเพื่อทำหน้าที่จำเพาะต่าง ๆ การศึกษาการเจริญเติบโต รวมถึงการจัดจำแนกพืชที่สามารถจัดจำแนกกลุ่มได้ยากโดยลักษณะภายนอก การศึกษาตัวอย่างเนื้อเยื่อพืชภาคตัดขวางภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสง มีการเตรียมตัวอย่างให้มีลักษณะบาง แสงผ่านได้ ตัวอย่างเนื้อเยื่อพืชมักมีสีอ่อนหรือมองเห็นส่วนประกอบต่าง ๆ ได้ยาก จึงนิยมใช้สีย้อมเพื่อทำให้สามารถมองเห็นส่วนประกอบของเนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ ได้ชัดเจนยิ่งขึ้น สีย้อมที่นิยมใช้ เช่น สีซาฟรานินโอ (Safranin O) และสีฟาสต์กรีน (Fast green) เป็นต้น อย่างไรก็ตามสีสังเคราะห์ที่ใช้ในการย้อมตัวอย่างเซลล์และเนื้อเยื่อเป็นสีที่ต้องมีการนำเข้าจากต่างประเทศ ในการซื้อแต่ละครั้งไม่มีการแบ่งจำหน่ายจึงทำให้สีที่ซื้อมามีปริมาณมาก และมักหมดอายุก่อนจะใช้ได้หมด อีกทั้งตัวสีเองเป็นสารเคมีที่อาจเป็นผลอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อมีการกำจัดหลังจากการใช้งานที่ไม่ถูกวิธี ด้วยเหตุนี้การใช้สารสีที่สกัดได้จากแหล่งวัตถุดิบตามธรรมชาติที่สามารถหาได้ในประเทศ หรือภายในท้องถิ่นเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการย้อมเนื้อเยื่อพืชเพื่อการศึกษาลักษณะโครงสร้างจึงเป็นทางเลือกที่เป็นการช่วยลดความอันตรายต่อผู้ทำการศึกษา อีกทั้งยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และยังช่วยประหยัดงบประมาณในการจัดซื้อสารเคมีให้แก่สถาบันการศึกษาอีกทาง จากรายงานการศึกษาต่าง ๆ จะพบข้อมูลการศึกษาสีสกัดธรรมชาติในการย้อมสีทางชีวภาพที่หลากหลาย เช่น การใช้สีจากสีสกัดผลของกระเจี๊ยบแดง หัวบีทรูท ผลมะเม่า ใบหูกวาง ใบฟ้าทะลายโจร ใบสาบเสือ [1] สีจากแก่นฝาง [2] ดอกอัญชัน เปลือกแก้วมังกร เปลือกมังคุด เปลือกมะเขือม่วง [3] อย่างไรก็ตามลักษณะการศึกษาสีย้อมเนื้อเยื่อพืชส่วนมากที่พบรายงานการศึกษาเป็นเพียงการย้อมสีเพียงชนิดเดียว ซึ่งสีที่ได้อาจไม่ติดจำเพาะหรือติดสีเข้มมากเกินไปซึ่งทำให้เห็นความแตกต่างของเนื้อเยื่อได้ไม่ชัดเจน ประกอบกับจากการทบทวนเอกสารพบว่าสารสีสกัดจากฝางมีคุณสมบัติในการติดส่วนของผนังเซลล์ทุติยภูมิได้ดี [2] และสีสกัดจากอัญชันย้อมติดพาเรนไคมาซึ่งเป็นส่วนของเนื้อเยื่อพื้นได้ดี [4] ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จึงมีความสนใจ

ที่จะพัฒนาการย้อมสีเนื้อเยื่อพืชด้วยสีสกัดจากธรรมชาติจากพืชดังกล่าวโดยใช้การย้อมแบบควบคู่ (Counterstain) โดยใช้ตัวอย่างลำต้นของหมอน้อย และหญ้าขนเป็นตัวแทนของการศึกษาการย้อมเนื้อเยื่อพืชใบเลี้ยงคู่และเดี่ยวตามลำดับ

วิธีการดำเนินการวิจัย

การสกัดสีจากแก่นฝาง [2]

1. นำเนื้อแก่นฝางมาตัดให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ จากนั้นนำไปต้มกับน้ำกลั่นให้เดือดเป็นเวลา 5 นาที โดยใช้อัตราส่วนแก่นฝางต่อน้ำ 1:10 (W/V) จากนั้นพักสารสกัดให้เย็นตัวลง กรองสารละลายด้วยกระดาษกรอง นำสารละลายสีที่ได้เก็บไว้ในขวดกันแสงที่มีฝาปิดมิดชิด เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 ℃

2. ทำการสกัดสีจำนวน 3 ครั้ง และวัดค่าความเป็น กรด-ด่าง ของสีสกัดด้วยเครื่องวัดค่าพีเอช (pH meter)

การสกัดสีจากอัญชัน [4-5]

1. นำส่วนของกลีบดอกของอัญชัน ใส่ลงในเอทานอล 95% ในอัตราส่วน 1:1 [น้ำหนักพืช (กรัม) : ตัวทำละลาย (มิลลิลิตร)] จากนั้นคนตัวอย่างให้เข้ากันและทิ้งไว้เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นกรองสารละลายสีด้วยกระดาษกรอง นำสารละลายสีที่ได้เก็บไว้ในขวดกันแสงที่มีฝาปิดมิดชิด เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

2. ทำการสกัดสีจำนวน 3 ครั้ง และวัดค่าความเป็น กรด-ด่าง ของสีสกัดด้วยเครื่องวัดค่าพีเอช

การเตรียมตัวอย่างเนื้อเยื่อพืช

1. การเตรียมตัวอย่างเนื้อเยื่อลำต้น ทำได้โดยการใช้ใบมีดโกนเริ่มตัดลำต้นหมอน้อยโดยตัดจากปลายยอดลงมาประมาณ 0.5 เซนติเมตร (ซม.) ในส่วนของหญ้าขนทำการตัดเหนือโคนของข้อปล้องขึ้นไปประมาณ 0.5 ซม.

2. ทำการตัดตัวอย่างเนื้อเยื่อลำต้นด้วยวิธีตัดด้วยมือ (Free hand section) นำตัวอย่างเนื้อเยื่อที่ตัดได้ลอยในน้ำ ทำการเลือกตัวอย่างเนื้อเยื่อที่ตัดได้สมบูรณ์ มีลักษณะบางใสและลอยเหนือน้ำ เมื่อส่องภายใต้กล้องจุลทรรศน์ปรากฏชั้นเนื้อเยื่อเพียงหนึ่งชั้น ไปใช้ในการย้อมสีทดสอบในขั้นตอนถัดไป

การย้อมสีเนื้อเยื่อพืชสด

1. การเตรียมตัวอย่างเนื้อเยื่อลำต้น ทำได้โดยการใช้ใบมีดโกนเริ่มตัดลำต้นหมอน้อยโดยตัดจากปลายยอดลงมาประมาณ 0.5 เซนติเมตร (ซม.) ในส่วนของหญ้าขนทำการตัดเหนือโคนของข้อปล้องขึ้นไปประมาณ 0.5 ซม.

2. ทำการตัดตัวอย่างเนื้อเยื่อลำต้นด้วยวิธีตัดด้วยมือ (Free hand section) นำตัวอย่างเนื้อเยื่อที่ตัดได้ลอยในน้ำ ทำการเลือกตัวอย่างเนื้อเยื่อที่ตัดได้สมบูรณ์ มีลักษณะบางใสและลอยเหนือน้ำ เมื่อส่องภายใต้กล้องจุลทรรศน์ปรากฏชั้นเนื้อเยื่อเพียงหนึ่งชั้น ไปใช้ในการย้อมสีทดสอบในขั้นตอนถัดไป

ตารางที่ 1: ระยะเวลาการย้อมแบบย้อมสีเดียว

ชนิดสีย้อม	ระยะเวลาการย้อม	การล้าง
ซาฟรานินโอ	30 วินาที	น้ำกลั่น
ฟาสต์กรีน	15 วินาที	น้ำกลั่น
สีสกัดฝาง	20 วินาที	น้ำกลั่น
สีสกัดอัญชัน	30 วินาที	น้ำกลั่น

ตารางที่ 2: ระยะเวลาการย้อมแบบย้อมสีทับ

ชนิดสี	ระยะเวลาการย้อมสี	การล้าง	ระยะเวลาการย้อมสี	การล้าง
ซาฟรานินโอ/ฟาสต์กรีน	ซาฟรานิน 30 วินาที	น้ำกลั่น	ฟาสต์กรีน 30 วินาที	น้ำกลั่น
ฝาง/อัญชัน	ฝาง 20 นาที	น้ำกลั่น	อัญชัน 20 นาที	น้ำกลั่น

การย้อมสีเนื้อเยื่อเพื่อการทำสไลด์ถาวร

1. นำตัวอย่างชิ้นเนื้อเยื่อที่ตัดแล้วมาตรึงด้วยน้ำยาฟิกเซทีฟเอฟเอเอ (Formalin acetic alcohol, FAA) ล้างด้วยน้ำกลั่น และเข้าสู่กระบวนการกำจัดน้ำโดยใช้เอทานอล 10 – 95 % ซึ่งการย้อมสีจะทำการย้อมค้นในช่วงที่ตัวอย่างอยู่ในตัวทำละลายที่ใช้ในการละลายสีย้อมชนิดนั้น ๆ ดังรายละเอียดในตารางที่ 3

2. จากนั้นนำเนื้อเยื่อพืชมาผ่านกระบวนการทำใส และหยดสารเพอร์เมาท์ (Permount) ลงบนตัวอย่าง จากนั้นใช้กระจกปิดสไลด์ค่อย ๆ ปิดทับลงไปบริเวณตัวอย่าง โดยระวังไม่ให้มีฟองอากาศ

การให้คะแนนความเข้มการติดสีของเนื้อเยื่อ

เปรียบเทียบการย้อมติดสีระหว่างอย่างสไลด์ที่ได้จากการย้อมสีสกัดจากฝางและอัญชันกับสไลด์ที่ย้อมด้วยสีซาฟรานินโอ และสีฟาสต์กรีน โดยพิจารณาตำแหน่งการติดสีของเนื้อเยื่อพืช และระดับความเข้มของการติดสี ซึ่งมีเกณฑ์การพิจารณาระดับความเข้มของการติดสีดังนี้

- ไม่ติดสี + ติดสีอ่อน ++ ติดสีเข้มปานกลาง +++ ติดสีเข้มมาก

ตารางที่ 3: ขั้นตอนระหว่างกระบวนการกำจัดน้ำที่ทำการย้อมสี

สีย้อม	ขั้นตอนที่ทำการย้อม	ระยะเวลาย้อมสี	สารล้างสีส่วนเกิน
ซาฟรานินโอ	50 % เอทานอล	30 วินาที	50 % เอทานอล
ฟาสต์กรีน	95 % เอทานอล	15 วินาที	95 % เอทานอล
ฝาง	น้ำกลั่น	20 นาที	น้ำกลั่น
อัญชัน	95 % เอทานอล	30 นาที	95 % เอทานอล

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ค่าความเป็นกรด-ด่างของสีสกัด

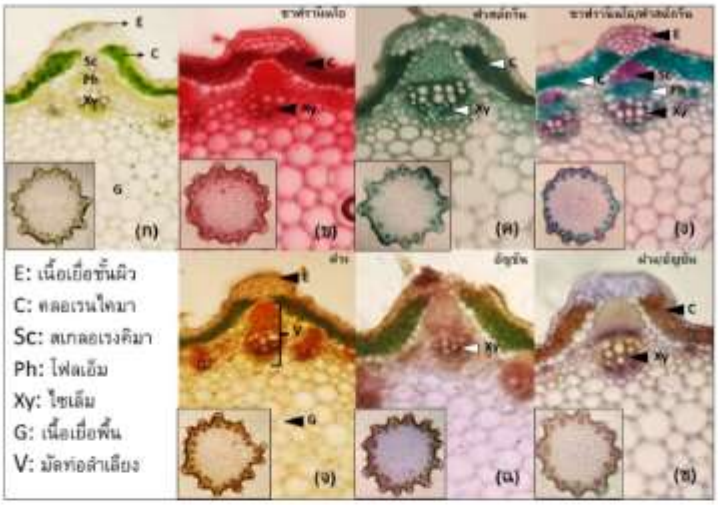
จากการวัดความเป็นกรด - ด่างพบว่าจากการสกัดจำนวน 3 ครั้ง สีสกัดจากฝางมีค่า pH อยู่ในช่วง 5.38 – 5.40 และสีสกัดจากอัญชันมีค่าความเป็นกรด - ด่างอยู่ในช่วง 7.03 – 7.19 (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4: ค่าความเป็นกรด - ด่าง ของสีสกัด

สีสกัดธรรมชาติ	สีสกัดครั้งที่ 1	สีสกัดครั้งที่ 2	สีสกัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
ฝาง	5.40	5.40	5.38	5.39 ± 0.01
อัญชัน	7.19	7.12	7.03	7.11 ± 0.08

ผลการย้อมสีเนื้อเยื่อลำต้นหมอน้อยตัวอย่างสดและสไลด์ถาวร

ในตัวอย่างลำต้นหมอน้อยสดที่ไม่ย้อมสี สามารถสังเกตเห็นส่วนของเนื้อเยื่อคลอเรนไคมา (Chlorenchyma) ได้ชัดเจน (ภาพ1ก) ซึ่งความชัดเจนของเนื้อเยื่อส่วนดังกล่าวจะลดลงไปเมื่อมีการเตรียมเนื้อเยื่อผ่านขั้นตอนกำจัดน้ำและทำใสในการทำสไลด์ถาวร (ภาพ 2ก) ในตัวอย่างสดที่ย้อมด้วยสีซาฟรานินหรือฟาสต์กรีนเกิดการติดสีในเนื้อเยื่อทุกบริเวณของตัวอย่างและมีการติดสีเข้มตรงกันในบริเวณคลอเรนไคมา และไซเลม (ภาพ 1ข-ค) ในขณะที่ผลการย้อมในสไลด์ถาวรด้วยสีซาฟรานินโอมีการติดสีในบริเวณที่จำเพาะมากขึ้นโดยติดสีชัดเจนเฉพาะบริเวณสเกลอเรงคิมา และไซเลม (ภาพ 2ข) การย้อมสีควบคู่ระหว่างสีซาฟรานินโอและฟาสต์กรีนในตัวอย่างสด และสไลด์ถาวร (ภาพ 1ง และ 2ง) ทำให้สามารถแยกแยะเนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ ได้ชัดเจนมากขึ้นโดยสีซาฟรานินโอติดชัดเจนบริเวณเนื้อเยื่อชั้นผิว สเกลอเรงคิมา และไซเลม ส่วนสีฟาสต์กรีนติดสีในบริเวณเนื้อเยื่ออื่น ๆ ที่เหลือ สำหรับการย้อมด้วยสีสกัดจากฝางหรืออัญชันเพียงอย่างเดียวในตัวอย่างสด สีฝางให้ผลการสีติดเนื้อเยื่อชัดเจนในบริเวณมัดท่อลำเลียง เนื้อเยื่อชั้นผิว และเนื้อเยื่อพื้น (ภาพ 1จ) ส่วนสีสกัดอัญชันติดสีในส่วนของไซเลม และเนื้อเยื่อพื้น (ภาพ 1ฉ) ในสไลด์ถาวรที่ย้อมด้วยสีสกัดจากฝางให้ผลการติดสีน้ำตาลอ่อนในบริเวณมัดท่อลำเลียง (ภาพ 2จ) ส่วนการย้อมสีจากอัญชันให้สีม่วงเข้มในบริเวณเนื้อเยื่อพื้น (ภาพ 2ฉ) การย้อมสีควบคู่ระหว่างสีสกัดจากฝางและอัญชันพบว่าสีทั้งสองชนิดสามารถใช้ย้อมควบคู่กันได้



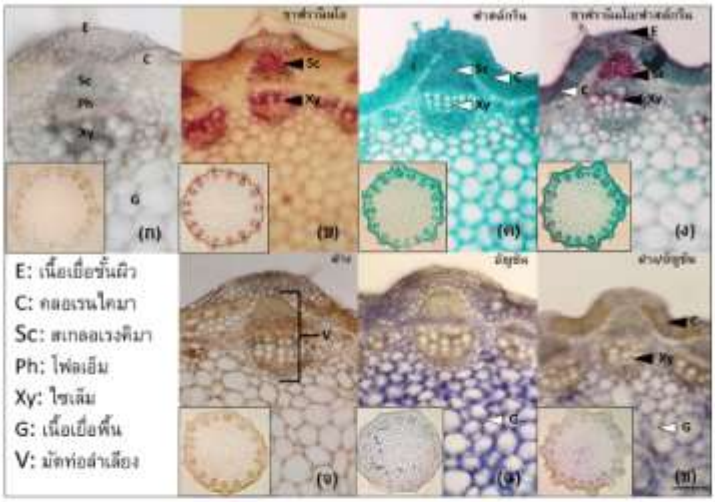
ภาพที่ 1: ผลการย้อมสีลำต้นหมอน้อยตัวอย่างสด (ก) ไม่ย้อมสี (ข) สีซาฟรานินโอ (ค) สีฟาสต์กรีน (ง) สีซาฟรานินโอควบคู่กับสีฟาสต์กรีน (จ) สีฝาง (ฉ) สีอัญชัน (ช) สีสกัดฝางควบคู่กับสีสกัดอัญชัน

หมายเหตุ: หัวลูกศรสีดำ/ขาว ในภาพ ข, ค, จ, ฉ แสดงบริเวณที่ติดสีชัดเจนด้วยสีย้อมชนิดต่าง ๆ ตามระบุในภาพ
หัวลูกศรสีดำในภาพ ง และ ช แสดงบริเวณที่ติดสีชัดเจนด้วยสีซาฟรานินโอ หรือ ฝาง ตามลำดับ
หัวลูกศรสีขาวในภาพ ง แสดงบริเวณที่ติดสีชัดเจนด้วยสีฟาสต์กรีน

ทั้งในการย้อมตัวอย่างสดและสไลด์ถาวร เนื่องจากเกิดการติดสีได้ในตำแหน่งที่ต่างกัน แต่สีที่ได้จากฝางมีความเข้มลดลงเมื่อเทียบกับการย้อมเพียงสีเดียว โดยสีสกัดฝางติดสีในบริเวณคลอเรนไคมา และไซเลม ในขณะที่สีสกัดจากอัญชันติดในเนื้อเยื่อบริเวณอื่น ๆ ที่เหลือทั้งหมด (ภาพ 1ช และ 2ช) ทั้งนี้ความชัดเจนจากการย้อมทับด้วยสีสกัดจากฝางให้ความชัดเจนของเนื้อเยื่อที่น้อยกว่าการย้อมด้วยสีซาฟรานินโอควบคู่กับสีฟาสต์กรีน

ผลการย้อมสีเนื้อเยื่อลำต้นหญ้าขนตัวอย่างสดและสไลด์ถาวร

ผลการทดลองการย้อมสีลำต้นหญ้าขน ในตัวอย่างที่ยังไม่ผ่านการย้อมสีสามารถสังเกตเห็นส่วนของเนื้อเยื่อชั้นผิว และมัดท่อลำเลียงได้บางส่วน (ภาพ 3ก และ 4ก) โดยผลการย้อมในตัวอย่างสดให้ผลการย้อมสีที่คล้ายกันในการย้อมสีชนิดเดียวซึ่งให้ผลการติดสีชัดเจนในส่วนมัดท่อลำเลียง โดยให้สีแดงอมชมพู เขียว สีน้ำตาล และสีม่วง จากการย้อมด้วยสีซาฟรานินโอ ฟาสต์กรีน สีสกัดฝาง และสีสกัดอัญชันตามลำดับ (ภาพ 3ข,ค,จ,ฉ และ 4ข,ค,จ,ฉ) ในการย้อมสีควบคู่ระหว่างสีสกัดจากฝางและอัญชันพบว่าการติดสีจางลงเมื่อเทียบกับการย้อมสีเดียวแต่ยังสามารถมองเห็นเนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ ที่แตกต่างกันได้ทั้งในตัวอย่างสด และสไลด์ถาวร โดยสีฝางติดสีในส่วนของเนื้อเยื่อสเกอเรงคิมาที่อยู่ล้อมรอบมัดท่อลำเลียง และสีอัญชันติดในบริเวณมัดท่อลำเลียง และเนื้อเยื่อพื้น อย่างไรก็ตามในการย้อมสีควบคู่ที่ได้ยังให้ความเข้มสีที่อ่อนกว่าการย้อมด้วยสีซาฟรานินโอควบคู่สีฟาสต์กรีน (ภาพที่ 3ช และ 4ช)



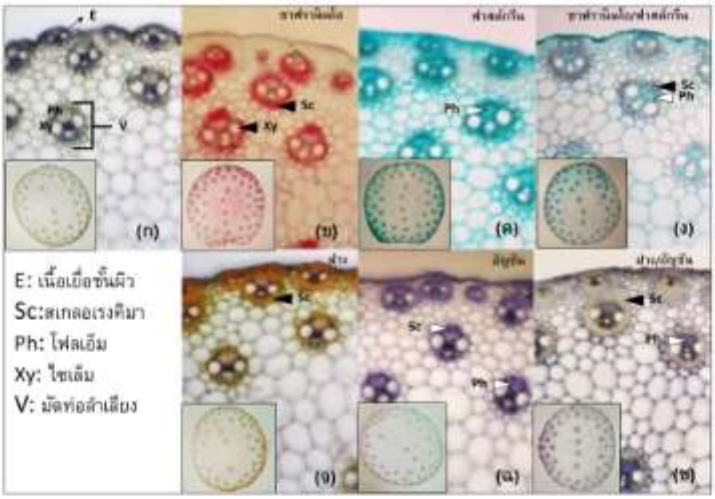
ภาพที่ 2: ผลการย้อมสีลำต้นหมอน้อยตัวอย่างสไลด์ถาวร (ก) ไม่ย้อมสี (ข) สีซาฟรานินโอ (ค) สีฟาสต์กรีน (ง) สีซาฟรานินโอควบคู่กับสีฟาสต์กรีน (จ) สีฝาง (ฉ) สีอัญชัน (ช) สีสกัดฝางควบคู่กับสีสกัดอัญชัน

หมายเหตุ: หัวลูกศรสีดำ/ขาว ในภาพ ข, ค, จ, ฉ แสดงบริเวณที่ติดสีชัดเจนด้วยสีย้อมชนิดต่าง ๆ ตามระบุในภาพ
หัวลูกศรสีดำในภาพ ง และ ช แสดงบริเวณที่ติดสีชัดเจนด้วยสีซาฟรานินโอ หรือ ฝาง ตามลำดับ
หัวลูกศรสีขาวในภาพ ง และ ช แสดงบริเวณที่ติดสีชัดเจนด้วยสีฟาสต์กรีน หรือ อัญชัน ตามลำดับ

ระดับความเข้มของเนื้อเยื่อในการย้อมติดสี

เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติการย้อมสีแบบควบคู่ระหว่างการย้อมด้วยสีซาฟรานินโอควบคู่กับฟาสต์กรีน กับการย้อมด้วยสีฝางควบคู่กับสีอัญชัน หากพิจารณาความเข้มของการติดสีด้วยการให้เครื่องหมาย + ในระดับต่าง ๆ (ตารางที่ 5) พบว่าการย้อมควบคู่ด้วยสีจากธรรมชาติให้การติดสีที่อ่อนกว่าการย้อมด้วยสีสังเคราะห์ทั้งในตัวอย่างสด และตัวอย่างสไลด์ถาวรถึงแม้จะย้อมในระยะเวลาที่นานกว่า (20-30 นาที) แต่หากพิจารณาถึงการติดสีเนื้อเยื่อแต่ละส่วนจากการไม่เกิดการติดสีในตำแหน่งเดียวกัน เช่น การย้อมเนื้อเยื่อหมอน้อยบริเวณคลอเรนไคมามีการติดสีฝางแต่ไม่ติดสีอัญชัน (++/-) จะเห็นได้ว่าการย้อมสีควบคู่ด้วยสีฝางและอัญชันในลำต้นหมอน้อยทั้งในตัวอย่างสด และสไลด์ถาวรให้ความแตกต่างของเนื้อเยื่อได้ดีกว่าการย้อมแบบควบคู่ในลำต้นหญ้าขน อย่างไรก็ตามการย้อมสีควบคู่จากสีจากธรรมชาติในตัวอย่างพืชทั้ง 2 ชนิดในการศึกษานี้ยังให้ความชัดเจนกว่าการย้อมด้วยสีสังเคราะห์ (ตารางที่ 5)

การย้อมสีโดยใช้สีย้อมเนื้อเยื่อพืชมาตรฐานที่นิยมใช้ในการย้อมควบคู่ในการย้อมเนื้อเยื่อพืชคือ สีซาฟรานินโอ และสีฟาสต์กรีน โดยสีซาฟรานินโอมีคุณสมบัติในการติดเนื้อเยื่อที่มีสารประกอบลิกนิน คิวทิน ซูเบอริน ซึ่งพบได้มากในบริเวณ ไฟเบอร์ สเคอรีดและเวสเซล และสีฟาสต์กรีน มีคุณสมบัติในการติดเนื้อเยื่อในส่วนของผนังเซลล์ที่มีเซลลูโลส และเพคติน ซึ่งพบได้มากบริเวณ เนื้อเยื่อชั้นผิว เนื้อเยื่อพื้น (พาเรนไคมา) และคอลเลงคิมา [6] ซึ่งผลจากการย้อมด้วยสีสกัดจากแก่นฝางเพียงชนิดเดียวก่อให้เกิดการติดสีเนื้อเยื่อในบริเวณที่คล้ายกันกับการย้อมด้วย สีซาฟรานินโอซึ่งมีความสอดคล้องกับรายงานการศึกษาก่อนหน้าที่พบว่าสีย้อมจากแก่นฝางจะย้อมติดส่วนผนังทุติยภูมิ [2, 7]



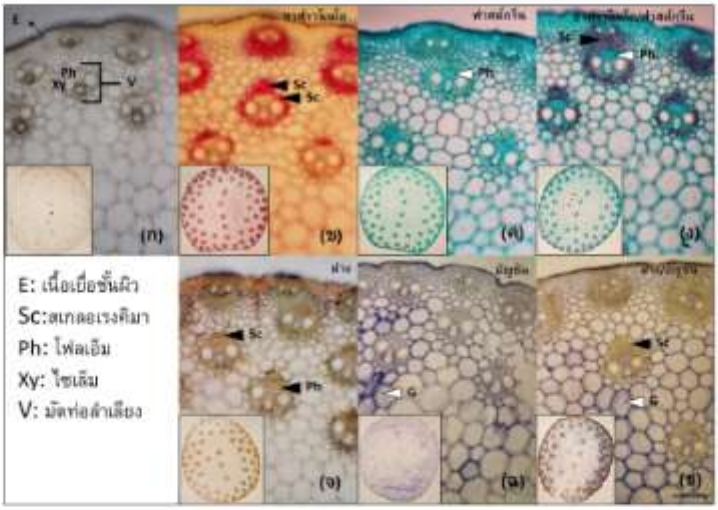
ภาพที่ 3: ผลการย้อมสีลำต้นหญ้าขนตัวอย่างสด (ก) ไม่ย้อมสี (ข) สีชาฟรานินโอ (ค) สีฟาสต์กรีน (ง) สีชาฟรานินโอควบคู่กับสีฟาสต์กรีน (จ) สีฝาง (ฉ) สีอัญชัน (ช) สีสกัดฝางควบคู่กับสีสกัดอัญชัน

หมายเหตุ: หัวลูกศรสีดำ/ขาว ในภาพ ข, ค, จ, ฉ แสดงบริเวณที่ติดสีชัดเจนด้วยสีย้อมชนิดต่าง ๆ ตามระบุในภาพ
หัวลูกศรสีดำในภาพ ง และ ช แสดงบริเวณที่ติดสีชัดเจนด้วยสีชาฟรานินโอ หรือ ฝาง ตามลำดับ
หัวลูกศรสีขาวในภาพ ง และ ช แสดงบริเวณที่ติดสีชัดเจนด้วยสีฟาสต์กรีน หรือ อัญชัน ตามลำดับ

ตารางที่ 5: ระดับการติดสีของตัวอย่างแต่ละชนิดในการย้อมสีแบบควบคู่

	ลำต้นหมอน้อย				ลำต้นหญ้าขน			
	ตัวอย่างสด		ตัวอย่างถาวร		ตัวอย่างสด		ตัวอย่างถาวร	
	ชาฟรานิน โอ/ ฟาสต์กรีน	ฝาง/ อัญชัน	ชาฟรานิน โอ/ ฟาสต์กรีน	ฝาง/ อัญชัน	ชาฟรานิน โอ/ ฟาสต์กรีน	ฝาง/ อัญชัน	ชาฟรานิน โอ/ ฟาสต์กรีน	ฝาง/ อัญชัน
เนื้อเยื่อชั้นผิว	+++/-	-/+	++/-	-/+	-/+++	+/++	-/+++	+/-
คอลเรนไคมา	++/-	++/-	-/+++	++/-	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
เนื้อเยื่อพื้น	+/+	-/+	+/++	-/++	-/+	-/+	-/++	-/++
โฟลเอม	-/++	+/-	+++/-	+/-	+/+	+/++	+++/+	++/+
ไซเลม	-/+++/++/-	++/-	++/+	+/-	+/+	+/++	+++/+	++/+

หมายเหตุ: สัญลักษณ์ + /- แสดงระดับการติดสีของเนื้อเยื่อพืชแต่ละบริเวณโดยระดับการติดสีประกอบด้วย – : ไม่ติดสี + : ติดสีอ่อน ++ : ติดสีปานกลาง +++ : ติดสีเข้มมาก และไม่พบ หมายถึงไม่สามารถระบุตำแหน่งเนื้อเยื่อส่วนดังกล่าวได้อย่างชัดเจนในตัวอย่าง



ภาพที่ 4: ผลการย้อมสีลำต้นหญ้าขนตัวอย่างสไลด์ถาวร (ก) ไม่ย้อมสี (ข) สีซาฟรานินโอ (ค) สีฟาสต์กรีน (ง) สีซาฟรานินโอควบคู่กับสีฟาสต์กรีน (จ) สีฝาง (ฉ) สีอัญชัน (ช) สีสกัดฝางควบคู่กับสีสกัดอัญชัน

หมายเหตุ: หัวลูกศรสีดำ/ขาว ในภาพ ข, ค, จ, ฉ แสดงบริเวณที่ติดสีชัดเจนด้วยสีย้อมชนิดต่าง ๆ ตามระบุในภาพ
หัวลูกศรสีดำในภาพ ง และ ช แสดงบริเวณที่ติดสีชัดเจนด้วยสีซาฟรานินโอ หรือ ฝาง ตามลำดับ
หัวลูกศรสีขาวในภาพ ง และ ช แสดงบริเวณที่ติดสีชัดเจนด้วยสีฟาสต์กรีน หรือ อัญชัน ตามลำดับ

จากการศึกษาก่อนหน้าโดยพิมพ์ชนก [4] พบว่าสีสกัดจากอัญชันด้วยเอทานอลเมื่อนำไปย้อมในลำต้นหมอน้อยเป็นเวลา 30 นาทีจะเกิดการติดสีเฉพาะส่วนของพาเรนไคมา ในขณะที่ผลจากการศึกษาครั้งนี้พบว่าสีสกัดจากอัญชันด้วยตัวทำละลายชนิดเดียวกันนอกจากจะย้อมติดในส่วนของพาเรนไคมาหรือเนื้อเยื่อพื้นแล้ว ยังย้อมติดในส่วนมัดท่อลำเลียงของพืชตัวอย่างทั้ง 2 ชนิดในการย้อมตัวอย่างสดอีกด้วย จากผลระดับความเข้มการติดสีของเนื้อเยื่อจากการย้อมด้วยสีฝางควบคู่กับสีอัญชัน ทั้งในตัวอย่างสด และสไลด์ถาวรที่พบว่ามีความเข้มการติดสีที่อ่อนกว่าสีสังเคราะห์ แต่สามารถใช้ในการย้อมควบคู่กันได้ สาเหตุที่คาดว่าส่งผลต่อคุณภาพการติดสีฝางและอัญชัน ได้แก่ ระยะเวลาในการย้อมสี และค่าความเป็นกรด - ด่าง โดยจากรายงานการศึกษาของ มานิต คิดอยู่ [2] ที่ศึกษาสีสกัดจากฝางในการย้อมตัวอย่างเนื้อเยื่อพืชที่เตรียมสด และสไลด์ถาวรพบว่าระยะเวลาการย้อมสีที่เหมาะสมต่างกัน โดยการย้อมสไลด์ชั่วคราวใช้เวลาเพียง 2 - 3 นาที แต่การย้อมสไลด์แบบถาวรย้อมใช้เวลานานมากกว่า (5 - 30 นาที) ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่าหากมีการใช้ระยะเวลาการย้อมที่นานมากขึ้นก็จะทำให้สีที่ได้มีความชัดเจนมากขึ้น และจากขั้นตอนในการย้อมสีควบคู่ในการศึกษาครั้งนี้ สีสกัดจากฝางมีค่าความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 5.39 แต่สีสกัดจากอัญชันที่ทำการย้อมในขั้นตอนถัดไปมีค่าความเป็นกรด – ด่างอยู่ในช่วง 7.03-7.19 สารสีในฝางคือสีบราซิลิน (Brazilin) เป็นสารที่ไม่มีสี ที่เมื่อสัมผัสกับอากาศจะถูกออกซิไดซ์เป็นสารบราซีลีน (Brazelein) ที่มีสีแดง สารสีทั้งสองชนิดมีคุณสมบัติคล้ายคลึงกันในด้านคุณสมบัติเคมีฟิสิกส์ คือเมื่ออยู่ในช่วงค่าความเป็นกรดต่ำกว่า 3.2 จะไม่มีประจุ และไม่ชอบน้ำ และเมื่ออยู่ในสภาวะที่ค่าความเป็นกรด - ด่างสูงกว่า 7.2 โมเลกุลจะมีประจุ โดยสีบราซีลีนมีกลไกในการจับติดขนสัตว์ด้วยพันธะไฮโดรเจน และพันธะไอออนิค ในขณะที่การจับกับเซลลูโลสใช้พันธะ แวนเดอร์ วาลส์ [8] ด้วยเหตุนี้คุณสมบัติของสารสีจากฝางในสภาวะค่า

ความเป็นกรด – ด่างที่เปลี่ยนแปลงไปในการย้อมสีแบบควบคู่จึงน่าจะมีผลอย่างมากต่อคุณสมบัติในการติดสี ทั้งนี้ในการศึกษานี้ศึกษาเฉพาะการย้อมสีควบคู่ที่ย้อมสีฝางก่อนการย้อมด้วยสีอัญชัน ดังนั้นการสลับลำดับการย้อมสี รวมถึงการใช้ตัวเปลี่ยนทำละลายที่ใช้ในการสกัดสีจึงเป็นส่วนที่มีความน่าสนใจในการศึกษาต่อไปเพราะอาจจะให้คุณสมบัติการย้อมที่แตกต่าง นอกจากนี้การใช้สีสกัดฝางร่วมกับสารมอร์แดนท์ เช่น $CuSO_4$ อาจจะเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการเพิ่มประสิทธิภาพในการติดสี [7] สำหรับปัจจัยอื่นที่อาจส่งมีผลทำให้สีสกัดจากฝางมีสีอ่อนลงในการย้อมสีแบบควบคู่ได้แก่กระบวนการกำจัดน้ำเพื่อทำสไลด์ถาวร ที่ประกอบด้วยกระบวนการตรึงเนื้อเยื่อ กระบวนการกำจัดน้ำ และการทำใส อาจส่งผลต่อระดับความเข้มของการติดสีซึ่งสอดคล้องกับ พงศ์พันธุ์ กองทอง [9] ที่กล่าวว่าคุณสมบัติการเป็นสีย้อมและการย้อมสีขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ ความแรงของสีย้อม อัตราการแตกตัวของไอออนของในเนื้อเยื่อและของสีย้อม รวมไปถึงค่าความเป็นกรด - ด่างของสารละลายสีย้อม และการย้อมสียังได้รับอิทธิพลมาจากสิ่งแวดล้อมอื่น เช่น สีย้อมที่ใช้เป็นชนิดเดียวหรือเป็นสีย้อมผสม สีย้อมอยู่ในสารละลายที่เป็นน้ำหรือแอลกอฮอล์ขณะที่ย้อม อุณหภูมิขณะที่ย้อมต่ำหรือสูง รวมไปถึงความเข้มข้นของสีย้อม เป็นต้น

สรุปผลการวิจัย

สีสกัดจากฝางและอัญชัน เมื่อนำมาย้อมเนื้อเยื่อพืชโดยการใช้เพียงสีเดียว มีประสิทธิภาพในการติดสีใกล้เคียงกันและมีการติดสีอยู่ในระดับที่ทำให้สามารถมองเห็นโครงสร้างส่วนต่าง ๆ ของพืชได้ชัดเจน และสีทั้ง 2 ชนิด สามารถนำมาใช้ย้อมควบคู่กันได้ทั้งในตัวอย่างสดและสไลด์ถาวร อย่างไรก็ตามพบว่าความเข้มของสีจากการย้อมด้วยสีสกัดจากฝางและอัญชันมีการติดสีที่ค่อนข้างอ่อนเมื่อเปรียบเทียบกับการย้อมด้วยสีซาฟรานีโอ และฟาสต์กรีน

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีจากการได้รับความอนุเคราะห์สถานที่ เครื่องมือวิทยาศาสตร์ในการศึกษา โดยโปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

เอกสารอ้างอิง

[1] มยุรี คุณิวัตน์ แพรวพรรณ ดวงไข สุชยา วิริยะการุณย์ และศิวพร หอมหวล. (2557). การสกัดและประยุกต์ใช้สีย้อมธรรมชาติจากพืชในท้องถิ่นสำหรับย้อมเนื้อเยื่อพืช. [โปสเตอร์นำเสนอ] การประชุมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีภาคตะวันออกเฉียงเหนือ, 12 กุมภาพันธ์ 2557, อุบลราชธานี

[2] มานิต คิดอยู่. (2552). สีย้อมธรรมชาติจากฝางสำหรับการศึกษาเซลล์และเนื้อเยื่อพืช. วารสารพฤกษศาสตร์ไทย, 1(2), 61-70.

[3] วันเพ็ญ แก้วพุก. (2558). การศึกษาสารสกัดสีธรรมชาติจากพืชเพื่อการย้อมสีโครโมโซม สำหรับห้องปฏิบัติการชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม. การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ครั้งที่ 7, 30 – 31 มีนาคม 2558, นครปฐม.

[4] พิมพ์ชนก สำเริงเวทย์ และวรพันธ์ อินตารักษา. (2555). การศึกษาสีย้อมเนื้อเยื่อตัดตามขวางของลำต้นหญ้าละอองที่สกัดจากพืชธรรมชาติที่หาได้ในท้องถิ่น. (โครงงานวิทยาศาสตร์). โรงเรียนจักรคำคณาทร. ลำพูน

[5] จิตาภา บุญพัทธ์ อิสรีย์ ปั้นก้อง และธีรารัตน์ แช่มชัยพร. (2562). การสกัดสีธรรมชาติจากพืชกลุ่มแอนโทไซยานินเพื่อใช้ในการย้อมสีโครโมโซมจากปลายรากหอม. งานประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ครั้งที่ 11, 11 - 12 กรกฎาคม 2562, นครปฐม

[6] นฤมล อัศวเกศมณี. (2549). การเก็บรักษาตัวอย่างพืชและสัตว์. สงขลา: คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

[7] พรรณวิภา แพงศรี และลัดดาวัลย์ กงพลี. (2564). การพัฒนาสีย้อมธรรมชาติจากพืชในกลุ่มแอนโทไซยานินเพื่อใช้สำหรับย้อมเนื้อเยื่อพืช. วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา, 5(1), 1-11.

[8] Dapson, R. W., & Bain, C. L. (2015). Brazilwood, sappanwood, brazilin and the red dye brazilein: from textile dyeing and folk medicine to biological staining and musical instruments. Biotechnic & Histochemistry, 90(6), 401-423.

[9] พงศ์พันธุ์ กองทอง. (2538). ไมโครเทคนิค. กรุงเทพมหานคร: ห้างหุ้นส่วนจำกัดแสงจันทร์การพิมพ์

BIODIVERSITAS
Volume 22, Number 4, April 2021
Pages: 1853-1862

ISSN: 1412-033X
E-ISSN: 2085-4722
DOI: 10.13057/biodiv/d220431

The diversity and abundance of phytoplankton and benthic diatoms in varying environmental conditions in Kok River, Chiang Rai, Thailand as bio-indicators of water quality

TIPPAWAN PRASERTSIN[1,♥], KRITTAWIT SUK-UENG[2], KITTIYA PHINYO[3], EKKACHAI YANA[4]

[1]Biological Science Program, Faculty of Science and Technology, Chiang Rai Rajabhat University. Chiang Rai 57100, Thailand.
Tel.:+66-85-459-4633, Fax.: +66-53-702758, [♥]email: prasertsintippawan@gmail.com
[2]Energy and Environment Program, Faculty of Science and Technology, Chiang Rai Rajabhat University. Chiang Rai 57100, Thailand
[3]Department of Biology, Faculty of Science, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand
[4]Environmental Science and Technology Program, Faculty of Science, Lampang Rajabhat University. Lampang 52100, Thailand

Manuscript received: 13 January 2021. Revision accepted: 21 March 2021.

Abstract. *Prasertsin T, Suk-ueng K, Phinyo K, Yana E. 2021. The diversity and abundance of phytoplankton and benthic diatoms in varying environmental conditions in Kok River, Chiang Rai, Thailand as bio-indicators of water quality. Biodiversitas 22: 1853-1862.* The study of living organisms was important information for bio-indicators which was utilized to assess the quality of the environment. In the river ecosystem, the algae with which one organism was interesting accordingly considered the relationship of 2 groups algae, including phytoplankton and benthic diatoms and the physical-chemical parameters of Kok River Chiang Rai, Thailand. Phytoplankton and benthic diatoms were collected from five sampling sites along the Kok River during January (cool dry), March (summer), and June (rainy season) 2018, and assessed as bio-indicators to monitor environmental factors that represent water quality across varying conditions and periods. Fifty-seven species of phytoplankton and thirty-nine species of benthic diatoms were found. The phytoplankton mainly belonged to the phylum Bacillariophyta (diatom group). Physical and chemical factors affecting the dominant phytoplankton and benthic diatom species were subjected to canonical correspondence analysis (CCA). Results showed that planktonic and benthic *Gomphonema lagenula* positively correlated with ammonium nitrogen, recording highest abundance during the rainy season. Abundance of *Achnanthidium straubianum*, a planktonic and benthic diatom, and *Navicula cincta* negatively correlated with river velocity and water conductivity, with lowest numbers during the rainy season. Water trophic status evaluated from the main parameters of the AARL-PC score indicated that during the cool dry and summer seasons all sampling sites were classified as mesotrophic, while during the rainy season they were classified as meso-eutrophic. The combination of phytoplankton and benthic diatom can be used as bio-indicators of water quality in the Kok River and other freshwater ecosystems.

Keywords: AARL-PC score, bioindicator, correlation, environmental factor, standing water

INTRODUCTION

Algae play a significant role in global ecology and ecosystem functioning as important oxygen-producing communities in aquatic environments. Based on habitats, algae can be divided into two groups, i.e. phytoplankton and benthic algae. Phytoplankton is autotrophic organism that lives near the water surface where there is sufficient light to support photosynthesis. Among the more important groups of phytoplankton are the diatoms, cyanobacteria, green algae, euglenoids and dinoflagellates. On the other hand, benthic algae are those attached to all kinds of substrata including rocks, mud, organic and inorganic particles, macrophytes and other living organisms (John et al. 2011).

Two different kinds of communities are usually recognized as microalgae and macroalgae (Lobo et al. 2016). A major group of benthic microalgae comprises the diatoms. Diatoms are abundant in marine and freshwater habitats which in all freshwater habitats including standing and running waters and planktonic and benthic habitats. They dominate both the biomass and biological diversity of the microscopic flora in many aquatic ecosystems. Diatoms inhabit a broad array of habitats but many have specific habitat requirements and have been used as freshwater environment bioassessment indicators to monitor long-term changes in ecological conditions (Blanco and Ector 2009).

Algae is sensitive to changes in their surroundings, as such total algal biomass and certain species are often used as indicators of water quality (Omar 2010). Algae have a long history of use as bio-indicators to determine water quality. The uses of phytoplankton as indicators of water quality were investigated by Peruma et al. (2009); Stepankova et al. (2012); Järvinen et al. (2012); Borics et al. (2014). In Thailand, ecological studies on water quality and its effects on the distribution and diversity of phytoplankton were conducted by Peerapornpisal et al. (2004); Prasertsin et al. (2018) while the applicability of benthic diatom indices to assess river water quality was investigated by Pekthong (2008); Suphan and Peerapornpisal (2010); Yana et al. (2013); Leelahakriengkrai and Peerapornpisal (2014); Nakkaew et al. (2015); Leelahakriengkrai and Kunpradid (2018). While such studies present the use algae as bio-indicators of water quality, each study focused on a particular group of algae, either the phytoplankton or the benthic diatoms. No studies in Thailand have integrated

both groups of algae used as bio-indicators.

The Kok River is the main river in Chiang Rai Province, Thailand and one of the tributaries of the Mekong. The characteristics of the river vary from lentic to fast-flowing stretches and this habitat diversity attracts many animals, plants and microorganisms that can be used as bio-indicators. This study aimed to examine the diversity, distribution and abundance of phytoplankton and benthic diatoms, and to investigate their relationships with environmental factors in Kok River. Our data present the first report in Thailand that combines phytoplankton and benthic diatom data as indicators of water quality in the Kok River.

MATERIALS AND METHODS

Study area and period

The Kok River is the main waterway in Chiang Rai Province as a tributary of the Mekong. From its source in Myanmar, the Kok River runs eastward through Chiang Rai and joins the Mekong at Bann Sobkok, Chiang San District. Total length of the river is 290 km, with 114 km running across Chiang Rai Province (Pekthong 2008). Five sampling sites along the Kok River were selected, based on the properties of the water body and environmental impact. Details and locations of each sampling site are shown in Table 1 and Figure 1. Phytoplankton, benthic diatoms and physicochemical water quality properties were determined during January (cool dry), March (summer) and June (rainy season) 2018.

Collection and identification of phytoplankton

Twenty liters of water samples were collected from each sampling site along the Kok River and filtered using a 10 µm mesh size plankton net. The samples were preserved by adding 0.7 mL of Lugol's solution to 100 mL of the sample (Eaton et al. 2005), observed under a light microscope and photographed using an Olympus Normaski Microscope. The phytoplankton specimens were identified based on relevant characteristics, such as color, cell-size, colony or filament, shape of the chloroplast, number and position of the flagella with or without the spine, as well as details of the granular characteristics of the cell wall (John et al. 2011; Prasertsin et al. 2014; Phinyo et al. 2017).

Table 1. Sampling sites locations and character of water types along the Kok River, Chiang Rai Province, Thailand

Sampling site	Location	Character of water type
Site 1 Huay Mark Liam	Doi Hang Sub-district, (19°57'49.4"N 99°40'40.1"E)	Fast-flowing
Site 2 Had Chiang Rai	Rop Wiang Sub-district, (19°55'03.8"N 99°47'37.2"E)	Fast-flowing
Site 3 Kok River bridge	Ban Rong Suea Ten, Rim Kok Sub-district, Mueang (19°55'18.4"N 99°50'45.6"E)	Almost still
Site 4 Chaloem Phrakiat1	Ban Kwae Wai, Rop Wiang Sub-district, (19°55'29.8"N 99°51'46.5"E)	Almost still
Site 5 Fai Chiang Rai	Ban PA Yang Mon, Rim Kok Sub-district, (19°55'31.4"N 99°53'49.9"E)	Slow-flowing

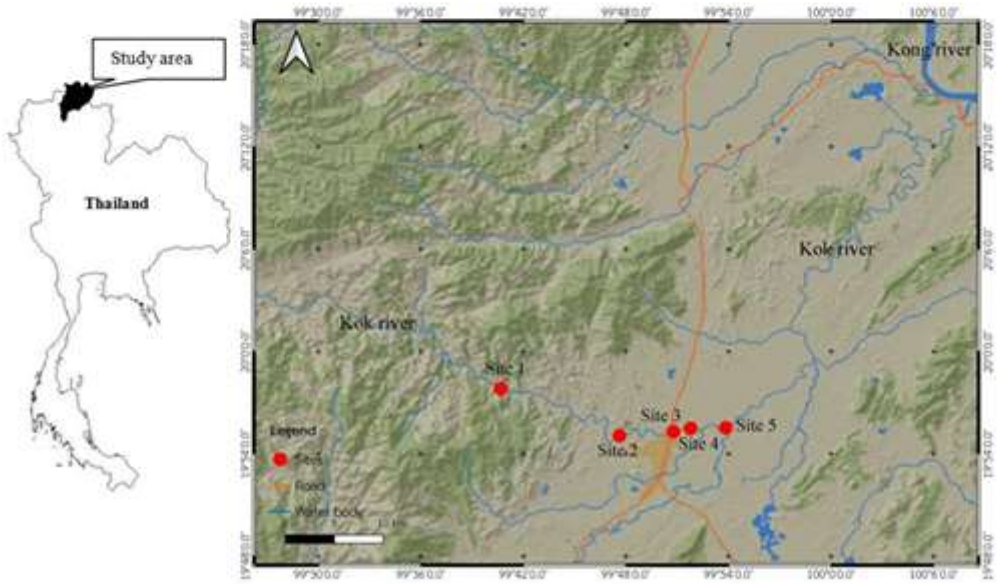


Figure 1. Map of the location of the study areas and sampling sites along the Kok River, Chiang Rai Province, Thailand

Cell enumeration of the phytoplankton species was assessed by the Lackey drop method (Phinyo et al. 2017). This is a simple method that is used to obtain results when studying the density of plankton populations. Dominance (Y) of a species was calculated by the following equation (Yang et al. 2016):

$$Y=\frac{ni.fi}{N}$$

Where:
ni = the abundance of species i
fi = the occurrence frequency of species i
N = the total abundance

The occurrence frequency of a species refers to the proportion of the number of stations reporting its occurrence to the total number of sampling stations. A dominant species was defined if Y was greater or equal to 0.02.

Collection and identification of benthic diatoms

Benthic diatom samples were collected by scratching the substrate surface of cobbles and gravel with a toothbrush. The samples were placed in plastic boxes and fixed with Lugol's solution on site. Diatom samples were then taken into the laboratory and cleaned following the concentrated acid digestion method. The collected samples were boiled in hot nitric acid for 15 min, followed by hydrogen peroxide for 15 min before rinsing with distilled water (Yana and Mayama 2015). For light microscopy (LM), cleaned samples were mounted in Naphrax (SPI Supplies, West Chester, USA). All diatom specimens in each slide were counted, identified and photographed using an Olympus Normaski Microscope with a ×100 oil immersion objective. Taxonomy and nomenclature were determined according to Lange-Bertalot (2001); Yana et al. (2013); Nakkaew et al. (2015)

Determination of physical and chemical properties of water

Determination of the relevant physical and chemical properties of the river water was conducted at each sampling site by measuring air temperature, water temperature, velocity, pH, conductivity and dissolved oxygen (DO). Water samples were collected in polyethylene bottles and kept in a cool box at 5-7°C for laboratory analyses of alkalinity, biochemical oxygen demand (BOD), nitrate nitrogen, ammonium nitrogen and soluble reactive phosphorus (SRP) (Eaton et al. 2005).

The trophic status of water was evaluated from the main parameters (i.e. conductivity, DO, BOD, ammonium nitrogen, nitrate nitrogen and soluble reactive phosphorus) by the Applied Algal Research Laboratory-Physical and Chemical score: AARL PC-score (Peerapornpisal et al. 2004).

Relationship between phytoplankton content and physical and chemical factors

Comparison between parameters in each season was estimated using ANOVA, followed by Tukey's post hoc test at $p<0.05$. Relationships between phytoplankton, benthic diatoms and physical and chemical factors were explored by canonical correspondence analysis (CCA) using MVSP (Multi-Variate Statistical Package for Windows ver. 3.22. The result was presented as a CCA plot.

RESULTS AND DISCUSSION

Distribution of phytoplankton and benthic diatoms in the Kok River

Four Phyla containing 57 species of phytoplankton were found in the Kok River. The most diverse Phylum was Chlorophyta (31 species), followed by Bacillariophyta (18 species), Cyanobacteria (7 species) and Euglenozoa (1 species) (Table 2). All phytoplankton species found in the Kok River were acknowledged as common species that are typically found in standing water throughout Thailand (Pollution Control Department 2010). Each species showed different distribution at the sampling sites. All species in the Phyla Chlorophyta, Cyanobacteria and Euglenozoa had the highest distribution in almost still and slowly flowing water (Sites 1, 2 and 3), while Phylum Bacillariophyta in planktonic form was found at all five sampling sites. Each species was recorded at a different percentage of relative abundance during each season. Relative abundance can be used to consider the dominant species (Yang et al. 2016). Dominant phytoplankton in the Kok River was from the Phylum Bacillariophyta (diatom group). These were found at all sampling sites and included *Achnanthidium straubianum* (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot, *Cymbella tugidula* Grunow, *Gomphonema lagenula* Kützing and *Navicula cincta* (Ehrenberg) Ralfs.

Thirty-nine species of benthic diatoms were found in the Kok River (Table 3 and Figure 2). Most were common species found in lotic ecosystems throughout Thailand (Pekthong 2008; Yana et al. 2013; Nakkaew et al. 2015; Leelahakriengkrai and Kunpradid 2018). The majority of benthic diatoms were pennate (97%), while the remaining 3% were centric diatoms. This finding concurred with Leelahakriengkrai and Peerapornpisal (2010) who noted that pennate diatoms dominated freshwater bodies, whereas centric diatoms were more abundant in marine ecosystems. *Achnanthidium straubianum* (Lange-Bertalot), *Cocconeis placentula* Ehrenberg, *Gomphonema lagenula* Kützing, *Planothidium frequentissimum* (Østrup) Lange-Bertalot, *Nitzschia inconspicua* Grunow, *Nitzschia palea* (Kützing) W.Smith and *Nitzschia supralitorea* Lange-Bertalot were the seven dominant species of benthic diatoms recorded in the Kok River. *Achnanthidium straubianum* (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot and *Gomphonema lagenula* Kützing were found in planktonic and benthic diatoms, agreeing with (Guiry and Guiry (2020), who reported that these two species occurred in all freshwater biospheres including standing and flowing waters and planktonic and benthic habitats. *Cocconeis placentula* Ehrenberg, *Cymbella tugidula* Grunow and *Nitzschia palea* (Kützing) W.Smith were the dominant species in the Kok River. This result concurred with Leelahakriengkrai and Peerapornpisal (2011) who indicated that these three species were the

dominant benthic diatoms in all the main rivers of Thailand. *Cocconeis placentula* Ehrenberg, *Cymbella tugidula* Grunow, *Nitzschia palea* (Kützing) W.Smith, *Planothidium lanceolatum* (Brébisson ex Kützing) Lange-Bertalot, *Navicula cryptotenella* Lange-Bertalot in Krammer & Lange-Bertalot, *Achnanthidium exiguum* (Grunow) Czarnecki, *Seminavis strigose* (Hustedt) Danieledis & Economou-Amilli in Danielidis & D.G.Mann, and *Navicula germainii* J.H.Wallace were most abundant species found in the Ping River Chiang Mai Province, Thailand (Leelahakriengkrai and Kunpradid 2018).

Water quality based on physical and chemical properties

Different values of physical and chemical parameters at each sampling site along the Kok River were recorded during the cool dry, summer and rainy seasons (Table 4). Air and water temperatures ranged between 22.00±0.00 and 31.00±0.00 °C and 20.67±0.29 and 27.00±0.00 °C, respectively. The highest value occurred during the summer season at site 4, while the lowest was recorded during the cool dry season at site 1. Water turbidity gave diverse readings, ranging between 16.73±0.47 and 537.00±35.59 NTU. Highest value occurred during the rainy season at site 2, while the lowest was recorded during the summer season at site 4. Turbidity was reported at less than 10 NTU in some clean and clear headwater streams. Differences in turbidity were recorded throughout the sampling period, with maximum turbidity value at every sampling site during the rainy season. Alkalinity in the Kok River ranged between 56.67±4.16 and 142.67±4.62 mg L^{-1}. The value of alkalinity in the cool dry season indicated low impact of effluents, while during the summer and rainy seasons the impact of effluents was higher. Natural water alkalinity ranges between 50 and 100 mg L^{-1} and is frequently less than 100 mg L^{-1} in clean resources. The pH in the Kok River ranged between 6.42±0.07 and 7.33±0.15. On average, all sampling sites were neutral throughout the summer and rainy seasons and slightly acid during the cool dry season. Water at all sampling sites water was livable for living organisms and suitable for human consumption as it did not exceed the quality standard (6-9) of surface water (Simachaya 2000; Evans et al. 2012). Overall conductivity was between 104.43±2.68 µS cm^{-1} and 133.13±0.95 µS cm^{-1}. All sampling sites were normal for general water resources, meaning that the water was livable for living organisms and suitable for human consumption as it did not exceed the quality standard (<300 µS cm^{-1}) of surface water. Conductivity is a quality parameter that is used to assess water status. The range for oligo-mesotrophic status is 50-100 µS cm^{-1}, with 100-250 µS cm^{-1} for mesotrophic (Shekha et al. 2017). Value of the dissolved oxygen (DO) was between 2.73±1.08 mg L^{-1} and 8.60±0.35 mg L^{-1}. The highest and lowest values were found during the cool dry season at sites 1 and 3 and at site 5 during the rainy season, respectively. All sampling sites met the standard of surface water quality for general water resources (2 mg L^{-1}) (Simachaya 2000). The BOD was between 1.87±1.50 and 11.53±1.29 mg L^{-1}. The highest value occurred during the rainy season at site 2, while the lowest was recorded in the cool dry season at site 1. Results showed that the standard of surface water was not exceeded (Simachaya 2000). Amounts of nutrients, such as nitrate nitrogen, ammonium nitrogen and soluble reactive phosphorus, were between 0.5±0.29 and 6.4±0.75 mg L^{-1}, 0.23±0.03 and 0.87±0.32 mg L^{-1}, and 0.35±0.07 and 4.21±1.32 mg L^{-1}, respectively. The highest value occurred during the rainy season, while the lowest was recorded in the cool dry season. The levels of nitrate nitrogen and ammonium nitrogen found at all sites did not exceed the values of Thailand's prescribed surface water quality standards (Simachaya 2000).

Table 2. Distribution and abundance (%) of phytoplankton in the Kok River at each sampling site during the three seasons

Taxonomic categories	Site distribution	Abundance (%)		
		Cool dry	Summer	Rainy
Phylum Cyanobacteria/Class Cyanophyceae /Order Synechococcales				
Family Merismopediaceae				
Aphanocapsa sp.	1, 2, 3	0.9	0.0	0.3
Family Coelosphaeriaceae				
Coelomoron pusillum (Van Goor) Komárek	1, 2, 3, 4, 5	0.2	0.8	2.1
Family Merismopediaceae				
Merismopedia punctata Meyen	3, 5	0.0	0.2	0.1
Family Leptolyngbyaceae				
Planktolyngbya contorta (Lemmermann) Anagnostidis & Komárek	1, 3, 5	0.0	0.0	0.1
Family Pseudanabaenaceae				
Pseudanabaena sp.	4	0.0	0.0	2.4
Order Nostocales/Family Aphanizomenonaceae				
Cylindrospermopsis raciborskii (Woloszyńska) Seenayya & Subba Raju	1, 3, 4	0.0	0.0	0.5
Phylum Chlorophyta/Class Chlorophyceae/Order Chlamydomonadales				
Family Chlamydomonadaceae				
Chlamydomonas gloeopara Rodhe & Skuja	3, 5	0.0	0.1	0.0
Family Goniaceae				
Gonium pectosale O.F.Müller	2, 3, 4, 5	1.1	0.0	0.0
Family Volvocaceae				
Eudorina elegans Ehrenberg	1, 3	0.3	0.3	0.5
Pandorina morum (O.F.Müller) Bory	1, 2, 3, 5	0.0	1.6	2.0

Order Sphaeropleales/Family Hydrodictyaceae				
Pediastrum duplex var. *subgranulosum* Raciborski	3, 4, 5	0.3	3.1	3.4
Pediastrum simplex var. *simplex* Meyen	3, 4, 5	1.2	1.2	0.0
Pediastrum tetras (Ehrenberg) Ralfs	3, 4, 5	2.2	0.1	0.5
Class Trebouxiophyceae/Order Chlorellales/Family Chlorellaceae				
Actinastrum hantzchii Lagerheim	3, 4, 5	0.0	1.7	0.9
Chlorella sp.	3, 4, 5	3.3	0.0	4.5
Dictyosphaerium granulatum Hindák	3, 4, 5	0.2	0.4	3.4
Dictyosphaerium tetrachotomum Printz	3, 4, 5	2.0	5.0	0.7
Micractinium quadrisetum (Lemmermann) G.M.Smith	3, 4, 5	0.5	1.1	2.0
Family Oocystaceae				
Crucigeniella crucifera (Wolle) Komárek	3, 4, 5	0.0	0.3	1.8
Nephrocytium limneticum (G.M.Smith) G.M.Smith	3, 5	0.0	0.0	0.6
Order Sphaeropleales/Family Neochloridaceae				
Golenkinia sp.	1, 2, 3, 4	0.6	0.0	1.6
Family Selenastraceae				
Ankistrodesmus bibraianus (Reinsch) Korshikov	3	0.0	0.4	0.0
Ankistrodesmus spiralis (W.B.Turner) Lemmermann	1, 3, 4, 5	0.0	0.9	0.0
Family Selenastraceae				
Kirchneriella lunaris (Kirchner) Möbius	1, 2, 3, 4, 5	0.9	2.2	0.6
Family Scenedesmaceae				
Coelastrum astroideum De Notaris	3, 4, 5	2.2	2.8	3.1
Coelastrum reticulatum (Dangeard) Senn	1, 2, 3, 4, 5	1.8	3.2	2.7
Coelastrum cf. *verrucosum* (Reinsch) Reinsch	3, 4, 5	0.0	0.7	0.1
Comasiella arcuata var. *platydisca* (G.M.Smith) E.Hegewald & M.Wolf	3, 4, 5	0.6	0.9	1.5
Dimorphococcus lunatus A.Braum	1, 5	1.0	0.2	0.4
Desmodesmus opoliensis (P.G.Richter) E.Hegewald	3, 4, 5	0.7	3.3	4.8
Tetradesmus acuminatus (Lagerheim) M.J.Wynne	3, 4, 5	1.8	2.0	2.0
Class Zygnematophyceae/Order Desmidiales/Family Closteriaceae				
Closterium parvulum Nägeli	1, 2, 3, 4, 5	1.2	1.1	0.9
Family Desmidiaceae				
Cosmarium contractum var. *contractum* Kirchner	2, 3	0.6	0.0	0.8
Cosmarium askeasyi Schmidle	5	0.0	0.1	0.2
Euastrum turneri W.West	5	0.0	0.1	0.0
Staurastrum cf. *longbrachiatum* (Borge) Gutwinski	2, 3, 4, 5	0.7	0.0	2.0
Phylum Euglenozoa/Class Euglenophyceae/Order Euglenida/Family Phacidae				
Phacus longicauda (Ehrenberg) Dujardin	4, 5	0.2	0.1	0.0
Phylum Bacillariophyta/Class Bacillariophyceae/Order Bacillariales/Family Bacillariaceae				
Nitzschia palea (Kützing) W.Smith	2, 4, 5	0.0	1.1	1.1
Nitzschia inconspicua Grunow	3, 4, 5	1.2	0.9	0.7
Order Cocconeidales Family Achnanthidiaceae				
Achnanthidium straubianum (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot	1, 2, 3, 4, 5	7.4	7.6	6.1
Family Cocconeidaceae				
Cocconeis pediculus Ehrenberg	3, 4	0.5	0.9	0.7
Order Cymbellales/Family Cymbellaceae				
Cymbella tugidula Grunow	1, 2, 3, 4, 5	6.9	6.6	6.5
Cymbella tumida (Brébisson) Van Heurck	1, 2, 3, 4, 5	5.2	3.4	3.3
Family Gomphonemataceae				
Gomphonema lagenula Kützing	1, 2, 3, 4, 5	6.8	10.4	12.5
Gomphonema pumilum (Grunow) E.Reichardt & Lange-Bertalot	1, 2, 3, 4, 5	1.2	2.6	1.1
Order Fragilariales/Family Fragilariaceae				
Synedra ulna (Nitzsch) Ehrenberg	1, 2, 3, 4, 5	5.5	2.2	3.7
Order Mastogloiales/Family Achnanthaceae				
Achnanthes inflata (Kützing) Grunow	2, 3, 4	0.9	0.0	0.0
Order Naviculales/Family Naviculaceae				
Gyrosigma scalproides (Rabenhorst) Cleve	1, 2, 3, 4, 5	3.0	3.4	3.3
Gyrosigma spenceri (Bailey ex Quekett) Griffith & Henfrey	1, 2, 3, 4, 5	1.2	2.2	1.1
Navicula cincta (Ehrenberg) Ralfs	1, 2, 3, 4, 5	12.7	10.1	5.3
Navicula germainii J.H.Wallace	1, 2, 3, 4, 5	5.3	3.8	2.8
Order Surirellales/Family Surirellaceae				
Surirella sp.	1, 2, 3, 4, 5	4.4	2.9	2.9
Order Thalassiophysales/Family Catenulaceae				
Amphora sp.	2, 5	0.9	0.7	0.0
Class Coscinodiscophyceae/Order Melosirales/Family Melosiraceae				
Melosira varians C.Agardh	1, 2, 3, 4, 5	3.0	3.4	4.2
Class Mediophyceae/Order Stephanodiscales/Family Stephanodiscaceae				
Cyclotella meneghiniana Kützing	1, 2, 3, 4, 5	3.7	3.9	3.9

Table 3. Distribution and abundance (%) of benthic diatoms in the Kok River at each sampling site during the three seasons

Taxonomic categories	Site distribution	Abundance (%)		
		Cool dry	Summer	Rainy
Phyla Bacillariophyta				
Order Bacillariales, Family Bacillariaceae				
Nitzschia amphibia Grunow	1, 3,4,5	1.1	0.3	0.9
Nitzschia inconspicua Grunow	1, 2, 3, 4, 5	6.2	6.1	3.8
Nitzschia intermedia Hantzsch	1, 2, 3, 4, 5	0.6	0.6	0.2
Nitzschia palea (Kützing) W.Smith	1, 2, 3, 4, 5	2.5	7.4	9.7
Nitzschia supralitorea Lange-Bertalot	1, 2, 3, 4, 5	7.2	4.0	6.0
Tryblionella jelineckii (Grunow) Mann	3	0.2	0.2	0.2
Order Cocconeidales, Family Achnanthidiaceae				
Achnanthidium pseudoconspicuum var. *yomensis* Yana & Mayama	1, 2, 3, 4, 5	1.4	2.1	0.9
Achnanthidium straubianum (Lange-Bertalot)	1, 2, 3, 4, 5	43.7	14.9	14.0
Planothidium frequentissimum (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot	1, 2, 3, 4, 5	5.4	7.0	4.7
Planothidium rostratum (Østrup) Lange-Bertalot	1, 2, 3, 4, 5	0.8	0.9	1.1
Order Cocconeidales, Family Cocconeidaceae				
Cocconeis placentula Ehrenberg	1, 2, 3, 4, 5	4.8	12.1	1.1
Order Cymbellales, Family Cymbellaceae				
Cymbella tugidula Grunow	1, 2, 3, 4, 5	0.8	2.8	2.4
Cymbella tumida (Brébisson) Van Heurck	1, 3, 4, 5	0.1	0.1	0.4
Order Cymbellales, Family Gomphonemataceae				
Gomphonema lagenula Kützing	1, 2, 3, 4, 5	3.7	5.8	13.3
Gomphonema pumilum var. *rigidum* E.Reichardt & Lange-Bertalot	1, 2, 3, 4, 5	0.7	4.0	1.0
Gomphonema subclavatum (Grunow) Grunow	3, 4, 5	0.0	0.2	0.1
Order Fragilariales, Family Fragilariaceae				
Fragilaria capucina Desmazières	1, 2, 3, 4, 5	0.1	2.7	0.1
Order Licmophorales, Family Ulnariaceae				
Ulnaria lanceolata (Kützing) Compère	1, 3, 4, 5	0.1	0.2	0.8
Order Naviculales, Family Diadesmidaceae				
Diadesmis confervacea Kützing	1, 2, 3, 4, 5	2.4	1.4	0.7
Luticola mutica (Kützing) D.G.Mann	1, 2, 3, 4, 5	1.3	1.6	7.2
Order Naviculales, Family Naviculales incertae sedis				
Mayamaea agrestis (Hustedt) Lange-Bertalot	1, 2, 3, 4, 5	0.5	0.5	8.1
Order Naviculales, Family Naviculaceae				
Navicula cincta (Ehrenberg) Ralfs	1, 2, 3, 4, 5	1.0	2.4	1.0
Navicula cryptotenella Lange-Bertalot	1, 3, 4, 5	0.0	0.5	0.1
Navicula germainii J.H.Wallace	1, 2, 3, 4, 5	1.4	3.5	1.6
Navicula simulata Manguin	1, 2, 3, 4, 5	2.0	1.9	1.7
Navicula sp.1	1, 2, 3, 4, 5	1.1	0.1	0.4
Navicula sp.2	1, 2, 3, 4, 5	2.3	0.7	1.0
Navicula sp.3	1, 2, 3, 4, 5	0.1	0.8	0.3
Naviculadicta nanogomphonema Lange-Bertalot & U.Rumrich	1, 2, 3, 4, 5	1.0	0.1	3.2
Seminavis strigosa (Hustedt) Danieledis & Economou-Amilli	1, 2, 3, 4, 5	1.1	6	1.1
Fallacia sp.1	3	0.3	0.1	0.1
Fallacia sp.2	3, 4, 5	0.3	0.0	0.3
Sellaphora lanceolata D.G.Mann & S.Droop	1, 2, 3, 4, 5	0.1	0.0	1.4
Sellaphora pupula (Kützing) Mereschkovsky	1, 2, 3, 4, 5	0.2	1.6	0.5
Sellaphora sp.1	1, 2, 3, 4, 5	1.7	0.5	5.7
Surirella fonticola Hustedt	2, 3,4	0.0	0.5	0.1
Amphora montana Krasske	1, 2, 3, 4, 5	1.8	0.3	3.6
Amphora pediculus (Kützing) Grunow	1, 2, 3, 4, 5	2.2	5.9	1.3
Cyclotella meneghiniana Kützing	2, 3, 4, 5	0.3	0.3	0.2

Note: Data are expressed as mean ± standard deviation (SD) of four replicates. Different letters (a, b and c) represent statistical comparisons between groups in each row using ANOVA and Tukey's post hoc test ($p<0.05$)

The trophic status of the Kok River water was classified as mesotrophic to meso-eutrophic. Results showed that all sampling sites during the cool dry and summer seasons were classified as mesotrophic, while during the rainy season all sites were classified as meso-eutrophic. This result concurred with Pekthong (2008) who indicated that water qualities in Kok River were mesotrophic status in most months, with the exception of the rainy season when water quality changed to meso-eutrophic status. The physical and chemical parameters among the sampling sites showed that conductivity, BOD, nitrate nitrogen, ammonium nitrogen and soluble reactive phosphorus had highest values in the rainy season and lowest values in the cool dry season.

Table 4. Physical and chemical parameters of water quality (average) in Kok River, Chiang Rai Province, Thailand

Parameters	Cool dry					Summer					Rainy				
	Site 1	Site 2	Site 3	Site 4	Site 5	Site 1	Site 2	Site 3	Site 4	Site 5	Site 1	Site 2	Site 3	Site 4	Site 5
Water temp. (°C)	22.00±0.00^{b}	22.70±0.58^{b}	22.67±0.29^{b}	20.67±0.29^{d}	22.17±0.29^{b}	27.00±0.00^{c}	26.00±0.00^{c}	26.17±0.29^{c}	26.00±0.00^{c}	26.33±0.58^{c}	26.03±0.25^{c}	25.97±0.06^{c}	25.17±0.15^{bc}	24.63±0.06^{bc}	26.00±0.58^{c}
Air temp. (°C)	22.00±0.00^{a}	25.33±0.58^{b}	23.87±1.76^{ab}	22.33±0.29^{a}	25.00±0.00^{b}	31.00±0.00^{c}	30.00±0.00^{c}	26.33±0.58^{b}	26.33±0.58^{b}	25.67±1.15^{b}	27.00±0.00^{bc}	30.00±0.00^{c}	28.00±0.00^{bc}	25.00±0.00^{b}	28.53±1.27^{bc}
Velocity (m s^{-1})	0.25±1.10^{ab}	0.30±1.50^{ab}	0.23±1.01^{ab}	0.36±0.57^{ab}	0.14±0.20^{a}	0.16±0.65^{a}	0.25±1.74^{ab}	0.15±0.29^{a}	0.29±1.90^{ab}	0.12±0.06^{a}	0.26±0.50^{ab}	0.28±2.48^{ab}	0.20±0.38^{a}	0.46±3.21^{b}	0.18±0.20^{a}
Turbidity (NTU)	31.10±2.93^{b}	26.77±1.91^{ab}	26.90±4.45^{ab}	24.67±3.99^{ab}	20.73±3.55^{a}	23.73±2.11^{ab}	32.23±3.93^{b}	18.27±1.05^{a}	16.73±0.47^{a}	17.73±0.91^{a}	196.67±3.06^{d}	537.00±35.59^{e}	176.00±33.18^{d}	122.67±5.86^{c}	103.00±4.58^{c}
pH	7.10±0.71^{a}	6.42±1.50^{a}	6.42±0.07^{a}	6.55±0.12a	6.43±0.10^{a}	7.33±0.15^{a}	7.27±0.15^{a}	7.23±0.15^{a}	7.23±0.06^{a}	7.17±0.31^{a}	7.23±0.21^{a}	6.97±0.15^{a}	7.10±0.10^{a}	7.20±0.10^{a}	7.03±0.15^{a}
Alkalinity (mg L^{-1})	56.67±4.16^{a}	67.30±1.15^{b}	68.67±3.06^{b}	80.00±5.29^{c}	72.00±3.46^{bc}	125.33±2.31^{c}	130.67±15.14^{cd}	133.33±18.04^{cd}	134.67±6.11^{cd}	142.67±4.62^{d}	140.00±2.00^{d}	121.33±1.15^{c}	132.00±5.29^{cd}	123.33±3.06^{c}	133.33±5.77^{cd}
Conductivity (µS cm^{-1}) *	107.70±0.30^{a}	104.77±6.88^{a}	104.57±1.78^{a}	104.43±2.68^{a}	109.27±4.48^{a}	123.10±0.95^{ab}	129.37±1.22^{ab}	126.40±0.62^{ab}	131.93±10.46^{b}	132.10±0.87^{b}	133.13±0.95^{b}	117.60±0.53^{ab}	112.03±1.70^{a}	117.47±14.01^{ab}	120.63±6.47^{ab}
DO (mg L^{-1}) *	8.60±0.00^{c}	8.30±0.27^{c}	8.60±0.35^{c}	7.27±0.31^{bc}	7.40±0.53^{bc}	6.87±0.31^{b}	6.67±0.23^{b}	6.27±0.42^{ab}	5.47±0.23^{a}	6.20±0.53^{ab}	3.27±0.06^{a}	3.20±0.00^{a}	3.10±0.20^{a}	3.03±0.21^{a}	2.73±1.08^{a}
BOD$_5$ (mg L^{-1})*	1.87±1.50^{b}	6.90±0.64^{b}	5.27±0.81^{ab}	4.53±1.14^{ab}	3.2±0.72^{ab}	5.20±1.20^{ab}	10.93±0.83^{c}	6.53±3.61^{b}	5.87±0.23^{ab}	6.80±2.43^{b}	6.93±1.21^{b}	11.53±1.29^{c}	10.73±1.03^{c}	11.40±1.97^{c}	10.13±4.31^{bc}
Nitrate nitrogen (mg L^{-1}) *	0.5±0.29^{a}	0.8±0.59^{a}	0.8±0.35^{a}	0.6±0.20^{a}	1.0±0.06^{a}	0.5±0.15^{a}	0.7±0.35^{a}	1.4±1.01^{a}	1.3±0.32^{a}	0.8±0.20^{a}	3.3±0.67^{a}	4.8±0.65^{ab}	4.1±0.74^{ab}	6.1±1.56^{b}	6.4±0.75^{b}
Ammonium nitrogen (mg L^{-1}) *	0.46±0.25^{ab}	0.84±0.24^{b}	0.30±0.03^{a}	0.23±0.03a	0.33±0.15^{a}	0.39±0.06^{a}	0.37±0.02^{a}	0.48±0.33^{a}	0.68±0.58^{ab}	0.35±0.03^{a}	0.35±0.09^{a}	0.87±0.32^{ab}	0.55±0.20^{ab}	0.63±0.16^{ab}	0.29±0.08^{a}
Soluble reactive phosphorus (mg L^{-1}) *	0.53±0.07^{a}	0.54±0.14^{a}	0.61±0.28^{a}	0.35±0.07^{a}	0.56±0.09^{a}	0.57±0.28^{a}	0.79±0.15^{a}	0.75±0.23^{a}	0.67±0.12^{a}	0.71±0.15^{a}	0.79±0.27^{a}	3.52±0.54^{b}	3.86±0.08^{b}	4.21±1.32^{b}	4.03±0.79^{b}
Trophic status	Mesotrophic	Mesotrophic	Mesotrophic	Mesotrophic	Mesotrophic	Mesotrophic	Mesotrophic	Mesotrophic	Mesotrophic	Mesotrophic	Meso - eutrophic	Meso - eutrophic	Meso - eutrophic	Meso - eutrophic	Meso - eutrophic

Note: * = used for assessment of AARL - PC Score

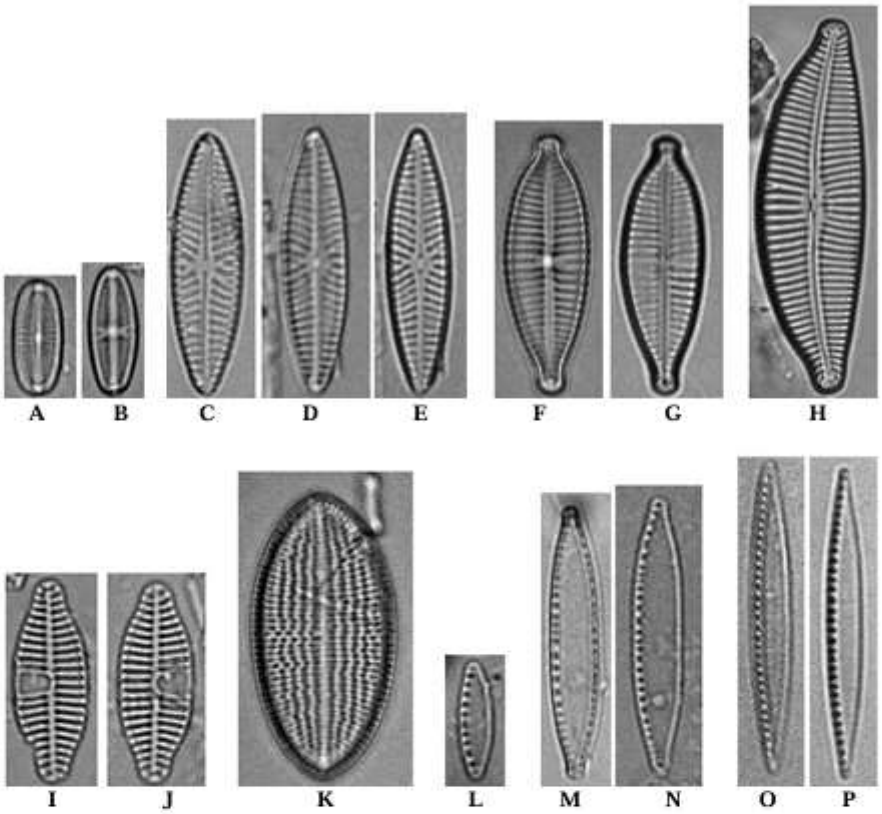


Figure 2. Light micrographs of dominant phytoplankton and benthic diatoms in the Kok River (scale bar = 10 µm). A-B. *Achnanthidium straubianum* (Lange-Bertalot)*▼, C-E. *Navicula cincta* (Ehrenberg) Ralfs*, F-G. *Gomphonema lagenula* Kützing*▼, H. *Cymbella tugidula* Grunow*, I-J. *Planothidium frequentissimum* (Østrup) Lange-Bertalot▼, K. *Cocconeis placentula* Ehrenberg▼, L. *Nitzschia inconspicua* Grunow▼, M-N. *Nitzschia palea* (Kützing) W.Smith▼, O-P. *Nitzschia supralitorea* Lange-Bertalot▼ Note: The symbol represent to living characteristic: * Phytoplankton, ▼ Benthic diatoms and*▼ Phytoplankton and benthic diatoms

The Kok River is one of the tributaries of the Mekong, and runs for 114 km across Chiang Rai Province through the general community, restaurants, fish ponds, and agricultural activities. These conditions impact various water quality parameters including nutrient loading (Xu et al. 2015; Withers et al. 2014). Frequent rainfall occurring during June resulted in discharge of nitrogen and phosphorus from the soil and discharge of agricultural fertilizers and wastewater from the community into the water body (Sharpley et al. 2013). Flushing of inorganic nitrogen from N-enriched upper soils horizons has been suggested as the primary mechanism for increasing N concentrations during rainfall events (Howden et al. 2011). This finding was similar to results reported by Liu et al. (2014), indicating that total nitrogen and nitrate nitrogen under heavy rainfall conditions were higher than measured under conditions of moderate rainfall. Pekthong (2008) found that during the rainy season months, the Kok River water was highly turbid, with high nitrate nitrogen and ammonium nitrogen concentrations.

Correlation between phytoplankton, benthic diatoms and water quality

Many variables influence the growth of freshwater algae. Environmental factors affect stream conditions and freshwater algal seasonality. Algae possess different physical and chemical requirements, whereby each species has a different set of favorable conditions that promote its growth and reproduction (Prasertsin and Peerapornpisal 2018). Algal communities are sensitive to changes in their environment (Li et al. 2018). As a result, algae total biomass and certain designated species are often used as indicators of water quality (Järvinen et al. 2012). In a lotic ecosystem, almost all algae live as benthic forms (Bere and Tundisi 2010).

The relationship between the dominant phytoplankton, benthic diatoms and the physical and chemical characteristics of the water body are shown by the results of the CCA plot (Figure 3).

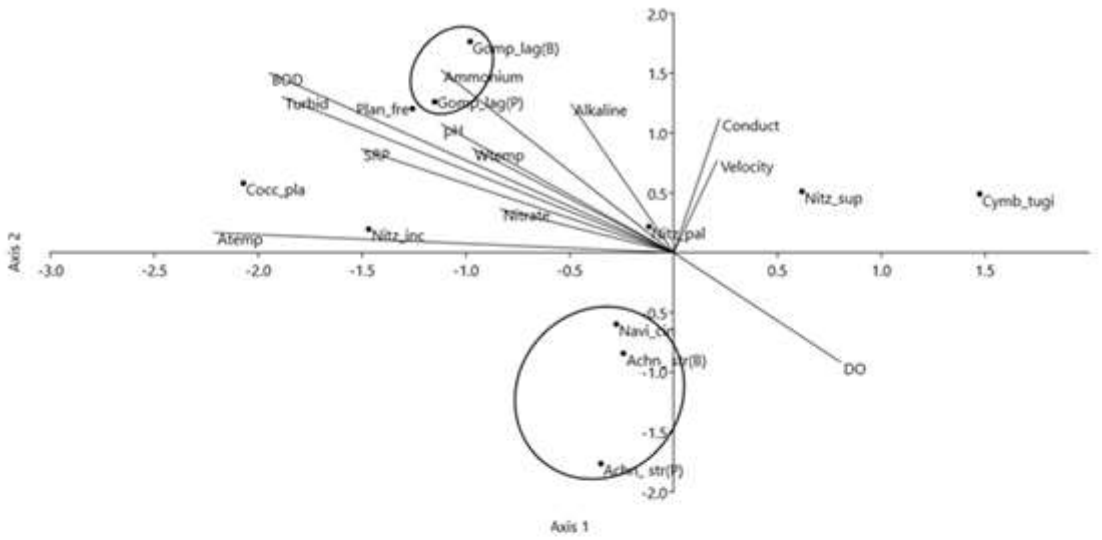


Figure 3. Canonical Correspondence Analysis (CCA) of the physical and chemical parameters and the phytoplankton and benthic diatoms. The results revealed a correlation between the physicochemical parameters and the dominant phytoplankton and benthic diatom in the Kok River, Chiang Rai province, Thailand (Eigenvalues percentage of axis 1 = 43.2, axis = 27.62

Gomphonema lagenula (Gomp_lag) in both planktonic and benthic forms showed a positive correlation with ammonium nitrogen. The highest percentage of abundance of this species was found during the rainy season, with the highest ammonium nitrogen. This result concurred with Leelahakriengkrai and Peerapornpisal (2010) who reported that the species occurred in moderate water quality. Moreover, *Achnanthidium straubianum* (Achn_str) in both planktonic and benthic forms and *Navicula cincta* (Navi_cin) showed a negative correlation between velocity and conductivity. The abundance of these species was the lowest during the rainy season with the highest water velocity and conductivity, similar to Ivanov (2018) who reported that these species occurred in moderate water quality.

Nitzschia palea (Nitz_pal) also showed a positive correlation with alkalinity, while *Planothidium frequentissimum* (Plan_fre) had a positive correlation with pH. *Nitzschia inconspicua* (Nitz_inc) had a positive correlation with air temperature (Atemp) but a negative correlation with DO (Fig. 3). Temperature was the most important factor controlling which phytoplankton taxa were present in freshwater lakes (Lv et al. 2014). Dominant planktonic and benthic diatoms, such as *Nitzschia palea*, *Gomphonema lagenula and Cocconeis placentula*, were good indicator species for moderate water quality. This result was similar to Leelahakriengkrai and Peerapornpisal (2010) findings who reported that these species occurred in moderate water quality.

In conclusion, phytoplankton and benthic diatoms can be found in a wide variety of water qualities that possess different physical and chemical requirements. Water temperature, turbidity, pH, alkalinity, velocity, conductivity, DO, BOD, ammonium nitrogen and soluble reactive phosphorus were the main factors that influenced the composition of phytoplankton and benthic diatoms in Kok River. The combination of phytoplankton and benthic diatom can be used as bio-indicators of water quality in the Kok River and other freshwater ecosystems.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors acknowledge the National Research Council of Thailand of 2018 for financial support and the Biology Program, Faculty of Science and Technology, Chiang Rai Rajabhat University, to provide laboratory facilities and material support. Finally, we would like to thank Mr. Peter Charge for proofreading the manuscript.

REFERENCES

Bere T, Tundisi JG. 2010. Biological monitoring of lotic ecosystems: The role of diatoms. Braz J Biol 70 (3): 493-502. DOI: 10.1590/S1519-69842010005000009

Blanco S, Ector L. 2009. Distribution, ecology and nuisance effects of the freshwater invasive diatom *Didymosphenia geminata* (Lyngbye) M. Schmidt: a literature review. Nova Hedwigia 88 (3-4): 347-422. DOI: 10.1127/0029-5035/2009/0088-0347

Borics G, Görgényi J, Grigorszky I, László-Nagy Z, Tóthmérész B, Krasznai E, Várbíró G. 2014. The role of phytoplankton diversity metrics in shallow lake and river quality assessment. Ecol Indic 45: 28-36. DOI: 10.1016/j.ecolind.2014.03.011

Eaton AD, Clesceri IS, Rice EW, Greenberg AE. 2005. Standard Method for Examination of Water and Wastewater. 21st ed Virginia. American Public Health Association (APHA), Washington DC.

Evans AEV, Hanjra MA, Jiang Y, Qadir M, Drechsel P. 2012. Water quality: Assessment of the current situation in Asia. Int J Water Resour Dev 28 (2): 195-216. DOI: 10.1080/07900627.2012.669520

Guiry MD, Guiry GM. 2020. AlgaeBase. Worldwide electronic publication, National University of Ireland, Galway. http://www.algaebase.org. Accessed August 4, 2020.

Howden NJK, Burt TP, Worrall F, Mathias SA, Whelan MJ. 2011. Nitrate pollution in intensively farmed regions: What are the prospects for sustaining high quality groundwater. Water Resour Res 47 (6): W00L02, DOI: 10.1029/2011WR010843.

Ivanov P. 2018. Two new diatom species from family Achnanthidiaceae in Bulgaria: *Achnanthidium druartii*, an invasive species in Europe and *Achnanthidium straubianum*, new to Bulgarian diatom flora. Phytol Balc 24 (2): 195-199.

Järvinen M, Drakare S, Free G, Lyche-solheim A, Phillips G, Skjelbred B, Mischke U, Ott I, Poikane S, Søndergaard M, Pasztaleniec A, Van wichelen J, Portielje R. 2012. Phytoplankton indicator taxa for reference conditions in Northern and Central European lowland lakes. Hydrobiologia 704 (1): 97-113. DOI: 10.1007/s10750-012-1315-6

John DM, Whitton BA, Brook AJ. 2011. The Freshwater Algal Flora of the British Isles. Cambridge University Press, Cambridge.

Lange-Bertalot H. 2001. Navicula sensu sticto, 10 genera separated from *Navicula* sensu lato, *Frustulia*. In: Lange-Bertalot H (ed) Diatoms of Europe. Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats Vol.2. Gantner Verlag ARG, Ruggell KG.

Leelahakriengkrai P, Peerapornpisal Y. 2010. Diversity of benthic diatoms and water quality of the Ping River, Northern Thailand. Environ Asia 3 (1): 82-94

Leelahakriengkrai P, Peerapornpisal Y. 2011. Diversity of benthic diatoms in six main rivers of Thailand. Int J Agric Biol 13 (3): 309-316.

Leelahakriengkrai P, Peerapornpisal Y. 2014. Evaluation of the trophic benthic diatom index in some main rivers of Thailand. Adv Environ Biol 8 (1): 248-254.

Leelahakriengkrai P, Kunpradid T. 2018. Benthic diatoms in the ping river and its tributaries in Mae Taeng District, Chiang Mai Province, Thailand. Biotropia 25 (3): 181-192.

Liu R, Wang J, Shi J, Chen Y, Sun C, Zhang P, Shen Z. 2014. Runoff characteristics and nutrient loss mechanism from plain farmland under simulated rainfall conditions. Sci Tot Environ 468: 1069-1077. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2013.09.035

Li D, Wu N., Tang S, Su G, Li X, Zhang Y, Wang G, Zhang J, Liu H, Hecker M, Giesy JP, Yu H. 2018. Factors associated with blooms of cyanobacteria in a large shallow lake, China. Environ Sci Eur 30 (1): 1-5. DOI: 10.1186/s12302-018-0152-2

Lobo EA, Heinrich CG, Schuch M, Wetzel CE, Ector L. 2016. Diatoms as Bioindicators in Rivers. In: Necchi O Jr (ed) River Algae. Springer Nature, Cham, Switzerland.

Lv H, Yang J, Liu L, Yu X,Yu Z, Chiang P. 2014. Temperature and nutrients are significant drivers of seasonal shift in phytoplankton community from a drinking water reservoir, subtropical China. Environ Sci Pollut Res Int 21 (9): 5917-5928. DOI: 10.1007/s11356-014-2534-3

Nakkaew S, Pekkoh J, Peerapornpisal Y. 2015. Diversity of benthic diatoms and relationship with some aspect of water properties in the Wang River, Thailand. Int J Appl Environ Sci 10 (1): 265-280.

Omar WMW. 2010. Perspectives on the use of algae as biological indicators for monitoring and protecting aquatic environments, with special reference to Malaysian freshwater ecosystems. Trop Life Sci Res 21 (2): 51-67.

Peerapornpisal Y, Chaiubol C, Pekkoh J, Kraibut H, Chorum M, Wannathong P, Ngearnpat N, Jusakul K, Thammathiwat A, Chuanunta J, Inthasotti T. 2004. Monitoring of water quality in Ang Kaew Reservoir of Chiang Mai University using phytoplankton as bioindicator from 1995-2002. Chiang Mai J Sci 31 (1): 85-94.

Pekthong T. 2008. The Developing of Trophic Diatom Index for Water Quality Monitoring in Kok River Chiang Rai Province. Mae Fah Luang University, Chiang Rai.

Perumal NV, Rajkumar M, Perumal P, Rajaseka KT. 2009. Seasonal variations of plankton diversity in the Kaduviyar estuary, Nagapattinam, Southeast coast of India. J Environ Biol 30 (6): 1035-1046.

Phinyo K, Pekkoh J, Pekkoh, Peerapornpisal Y. 2017. Distribution and ecological habitat of Scenedesmus and related genera in some freshwater resources of Northern and North-Eastern Thailand. Biodiversitas 18 (3): 1092-1099. DOI: 10.13057/biodiv/d180329

Pollution Control Department. 2010. Survey, Collection and Analysis of Water Samples and Living Organisms in the Standing Water, Final report, Vol. 2. Ministry of Natural Resources and Environment, Bangkok.

Prasertsin T, Pekkoh J, Pathom-aree W, Peerapornpisal Y. 2014. Diversity, new and rare taxa of *Pediastrum* spp. in some freshwater resources in Thailand. Chiang Mai J Sci 41 (5.1): 1065-1076.

Prasertsin T, Peerapornpisal Y. 2018. Distribution and isolation of microalgae for lipid production in selected freshwater reservoirs of Northern Thailand. Biodiversitas 19 (1): 343-350. DOI: 10.13057/biodiv/d190147

Sharpley A, Jarvie HP, Buda A, May L, Spears B, Kleinman P. 2013. Phosphorus legacy: Overcoming the effects of past management practices to mitigate future water quality impairment. J Environ Qual 42 (5): 1308-1326. DOI: 10.2134/jeq2013.03.0098

Shekha YA, Ali LAQ, Toma JJ. 2017. Assessment of water quality and trophic status of Duhok Lake Dam. Baghdad Sci J 14 (2): 335-342.

Simachaya W. 2000. Water Quality Management in Thailand. Paper for the Workshop on Environmentally Sound Technology on Water Quality Management: UNEP, Mekong River Commission, November 2000.

Stepankova J, Hasler P, Hladka M, Poulickova A. 2012. Diversity and ecology of desmids of peat bogs in the Jeseniky Mts: spatial distribution, remarkable finds. Fottea 12 (1): 111-126.

Suphan S, Peerapornpisal Y. 2010. Fifty-three new record species of benthic diatoms from Mekong River and its tributaries in Thailand. Chiang Mai J Sci 37 (2): 326-343.

Withers PJA, Neal C, Jarvie HP, Doody DG. 2014. Agriculture and eutrophication: Where do we go from here? Sustainability 6 (9): 5853-5875. DOI: 10.3390/su6095853

Xu H, Paerl HW, Qin B, Zhu G, Hall NS, Wu Y. 2015. Determining critical nutrient thresholds needed to control harmful blooms of cyanobacteria in eutrophic lake Taihu, China. Environ Sci Technol 49 (2): 1051-1059. DOI: 10.1021/es503744q

Yana E, Peerapornpisal Y, Mayama S. 2013. Diversity of benthic diatoms and correlation with water quality of Yom River, Thailand. Int J Appl Environ Sci 8 (15): 1935-48.

Yana E, Mayama S. 2015. Two new taxa of *Achnanthidium* and *Encyonema* (Bacillariophyceae) from the Yom River, Thailand, with special reference to the areolae occlusions implying ontogenetic relationship. Psychol Res 63 (4): 239-252. DOI: 10.1111/pre.12109

Yang M, Li X, Wang H, Zhang B. 2016. Characteristic of summer microbenthic community in Adjacent sea of Yangtze River Estuary. Stud Mar Sinica 51: 269-278.

Sains Malaysiana 53(5)(2024): 1093-1104
http://doi.org/10.17576/jsm-2024-5305-10

Morphological and Molecular Characterization of *Spirogyra* Species from Water Bodies in Chiang Rai Province, Thailand: Insights into Bioactivity and Antioxidant Potential

(Pencirian Morfologi dan Molekul Spesies *Spirogyra* daripada Jasad Air di Wilayah Chiang Rai, Thailand: Pandangan tentang Bioaktiviti dan Potensi Antioksidan)

KITTIYA PHINYO[1,2], KUHLAB SAEKU[3], WIPAWAN NUNTO[3], JEERAPORN PEKKOH[1] & TIPPAWAN PRASERTSIN[3,*]

[1]Biology Department, Faculty of Science, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand
[2]Office of Research Administration, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand
[3]Biological Science Program, Faculty of Science and Technology, Chiang Rai Rajabhat University, Chiang Rai 57100, Thailand

Received: 2 April 2023/Accepted: 18 March 2024

ABSTRACT

This study aimed to identify *Spirogyra* species collected from lentic (sampling site code CR01) and lotic (sampling site code CR02) water areas in Chiang Rai Province, Thailand. The diagnosis was proceeded by studying the morphological characteristics combined with molecular techniques with the chloroplast *rbc*L gene (ribulose bisphosphate carboxylase). Additionally, the bioactive properties of *Spirogyra* extracts were evaluated through antimicrobial and antioxidant assays. The extraction was performed with water and ethanol extraction. The results indicated that the morphological characteristics of *Spirogyra* CR01 resembled *Spirogyra neglecta*, but the data of *rbc*L gene for this species were not available in the database. Therefore, the *Spirogyra* CR01 sequence was added to the GenBank database, representing the report of *rbc*L gene of *Spirogyra neglecta* sequencing data. *Spirogyra* CR02 was robustly identified as *S. fluviatilis* through molecular analysis. The extracts from both *Spirogyra* samples showed that the ethanolic extract has more activity than the water extract. The antimicrobial ability of the ethanolic extract from *Spirogyra* CR02 was observed to inhibit the growth of *Bacillus cereus* and *Staphylococcus aureus*, while the ethanolic extract from *Spirogyra* CR01 only inhibited *B. cereus*. Moreover, the ethanolic extract of *Spirogyra* CR01 had statistically significant ($p<0.05$) antioxidant activity, with the highest value recorded at 114.92±2.38 mg GAE/g extract. Overall, this study provides new sequencing information on the *S. neglecta* and their potential for use *Spirogyra* in functional food, functional ingredients and cosmeceutical products.

Keywords: Antioxidant; bioactive compound; lentic water; lotic water; *rbc*L gene

ABSTRAK

Penyelidikan ini bertujuan untuk mengenal pasti spesies *Spirogyra* yang dikumpul dari kawasan perairan lentik (kod tapak persampelan CR01) dan lotik (kod tapak persampelan CR02) di Wilayah Chiang Rai, Thailand. Diagnosis diteruskan dengan mengkaji ciri morfologi yang digabungkan dengan teknik molekul dengan gen *rbc*L kloroplas (ribulose biphosphate carboxylase). Selain itu, sifat bioaktif ekstrak *Spirogyra* telah dinilai melalui ujian antimikrob dan antioksidan. Pengekstrakan dilakukan dengan pengekstrakan air dan etanol. Keputusan menunjukkan bahawa ciri morfologi *Spirogyra* CR01 menyerupai *Spirogyra neglecta*, tetapi data gen *rbc*L untuk spesies ini tidak tersedia dalam pangkalan data. Oleh itu, jujukan *Spirogyra* CR01 telah ditambahkan pada pangkalan data GenBank, mewakili laporan gen rbcL data penjujukan *Spirogyra neglecta*. *Spirogyra* CR02 telah dikenal pasti sebagai *S. fluviatilis* melalui analisis molekul. Ekstrak daripada kedua-dua sampel *Spirogyra* menunjukkan bahawa ekstrak etanol mempunyai lebih aktiviti daripada ekstrak air. Keupayaan antimikrob ekstrak etanol daripada *Spirogyra* CR02 diperhatikan untuk merencat pertumbuhan *Bacillus cereus* dan *Staphylococcus aureus*, manakala ekstrak etanol daripada *Spirogyra* CR01 hanya merencat *B. cereus*. Selain itu, ekstrak etanol *Spirogyra* CR01 mempunyai aktiviti antioksidan yang signifikan secara statistik ($p<0.05$), dengan nilai tertinggi direkodkan pada 114.92±2.38 mg ekstrak GAE/g. Secara keseluruhannya, kajian ini menyediakan maklumat penjujukan baharu tentang *S. neglecta* dan potensi mereka untuk menggunakan *Spirogyra* dalam makanan berfungsi, ramuan berfungsi dan produk kosmeseutikal.

Kata kunci: Air lentik; air lotik; antioksidan; gen *rbc*L; sebatian bioaktif

Introduction

Spirogyra spp. are freshwater macroalgae belonging to the Phylum Chlorophyta, Class Zygnematophyceae, Order Spirogyrales and Family Spirogyraceae (Guiry & Guiry 2020). *Spirogyra* spp. or Sarai Tao (Thai local name) are well-known edible macroalgae consumed as a traditional food by people in the north and northeast of Thailand. These algae have high nutritional value consisting of 12-24% protein, 43-62% carbohydrate and 15-21% fat (Tipnee, Ramaraj & Unparom 2015). *Spirogyra* are also known to possess bioactive compounds which showed antibacterial, antifungal, antioxidant, anticancer and antidiabetic properties in the rat model (Lailerd et al. 2009; Thumvijit et al. 2014, 2013a). The major groups of antioxidant compounds in macroalgae were phenolic compounds, polyphenols, sulfated polysaccharides, carotenoids, and vitamins (Thumvijit et al. 2013b). Yosboonruang et al. (2020) reported that *S. neglecta* extract contained phenolics and flavonoids as compounds that possess powerful antioxidant activity. For antimicrobial properties, Jaya Prakash Goud, Seshikala and Mharya (2007) recorded high inhibition activity against *S. aureus*. Besides, Dwaish et al. (2016) reported that antibacterial activity of *Spirogyra* sp. crude chloroform extracts ranged between 11 and 19 mm, with the highest in *S. aureus* at a concentration of 256 mg/mL and the lowest in *E. coli* at a concentration of 128 mg/mL. Over 400 species of *Spirogyra* have been identified (Guiry & Guiry 2020; John, Whitton & Brook 2011). *Spirogyra* species are commonly found in stagnant or slowly flowing natural freshwater habitats such as ponds, slow-moving streams, backwaters, roadside ditches and even in swift-flowing rivers (Chen et al. 2012; Guiry & Guiry 2020). Identification of a particular *Spirogyra* species requires microscopic examination of the spores (Thiamdao 2011). The vegetative cells of *Spirogyra* can be recognized by three characteristics: (i) type of cross walls (plane, replicate, semi-replicate or colligate), (ii) cell length and width and (iii) chloroplast numbers, while conjugation can also be included for species identification (Hainz, Wöber & Schagerl 2009; John, Whitton & Brook 2011; Takano et al. 2019). Few reports have been published on the diversity of *Spirogyra* in Thailand. Identification of related *Spirogyra* species based on morphological characteristics can be difficult, with molecular methods now used to evaluate genetic variations for accurate identification (Wongsawad & Peerapornpisal 2014). The ribulose bisphosphate carboxylase (*rbc*L) sequence method has been extensively used in studies of evolution, phylogeny, biogeography, population genetics and systematics because it can be readily copied and is not strikingly different for related species (Ji et al. 2008; Wongsawad & Peerapornpisal 2014). The sequence of the *rbc*L gene has been recorded in many studies as a marker, with great potential and benefit for identifying genetic variations in natural populations (Hamdam et al. 2013).

Chiang Rai Province, located in the northern part of Thailand, is surrounded by mountainous jungle topography. The area contains many important fresh waterbodies such as rivers, lakes, reservoirs, and ponds with *Spirogyra* spp., found in both lotic and lentic water. This study determined the morphological and molecular characteristics and biological activities of *Spirogyra* spp., in lotic and lentic water areas in Chiang Rai District, Chiang Rai Province. This research provides basic information for both academic and industrial sectors.

Materials and Methods

Study areas

Spirogyra spp. and water samples were collected from two sampling sites in the northern part of Thailand (Figure 1). Lentic water (CR01) was collected from paddy fields (19°56'09.8"N 99°51'52.4"E) and lotic water (CR02) was collected from the Kok River which is an important watershed for the surrounding agricultural resources and villages (19°55' 33.243"N 99°53'51.705"E), Mueang, Chiang Rai District, Chiang Rai Province. This study was conducted from April to June 2020.

Fresh specimens of *Spirogyra* spp. collected from each sampling site were examined by wet mounts under a compound light microscope (Zeiss Primostar, Germany) and photographed with a Invitrogen EVOS XL Core, USA. *Spirogyra* were identified based on relevant characteristics such as length, width, vegetative cell length/width ratio, number of spirals, number of chloroplasts and shape of pyrenoids. The zygospore of *Spirogyra* sp. was also investigated for shape, size and color (Hainz, Wöber & Schagerl 2009; John et al. 2011; Takano et al. 2019).

Specimens of *Spirogyra* spp. were collected manually and stored in plastic bags for transportation to the laboratory. *Spirogyra* sp. samples were washed with water to clean the dirt, then dried at 50 °C for 48 h in a hot air oven (POL-EKO SLW 115 STD, Poland) and grinded to a uniform powder using mortar and pestle and sieved with 100 mesh sieve.

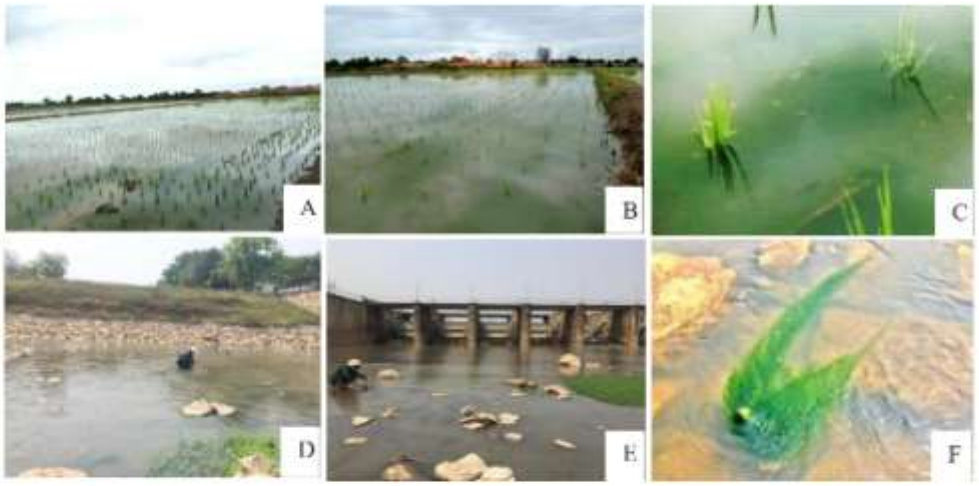


FIGURE 1. Sampling sites for CR01 and CR02
A-C = lentic water (paddy field: CR01), D-F = lotic water (Kok River: CR02)
Collection and identification of *Spirogyra* sp.

DNA EXTRACTION, DNA AMPLIFICATION AND SEQUENCING

Samples were collected and dried in silica gel. Genomic extraction started with breaking the cells using finely ground glass beads (acid-wash, 425-600 µm). Then, total DNA was extracted using a plant DNA extraction kit (Geneaid Biotech Ltd.). The extracted DNA was amplified at the part of the chloroplast *rbc*L gene sequence (ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase) with forward primer RH1 5'-ATGTCACCACAAACAGAAACTAAAGC-3' and reverse primer 1385R 5'-AATTCAAATTTAATTTCTTTCC-3' (Drummond et al. 2005). Polymerase chain reaction (PCR) was conducted. The total volume of each PCR reaction was 20 µL comprising 10 µL DNA Polymerase Master Mix RED (Ampliqon A/S), 0.6 µL $MgCl_2$, 0.5 µL for each primer at 10 µM, 2-3 µl DNA template and adding sterile deionized water to 20 µL. The PCR reaction conditions were an initial hold at 94 °C for 2 min, followed by 34 cycles starting with a denaturation step at 94 °C for 30 s, an annealing step at 50 °C for 30 s, an extension step at 72 °C for 1 min 30 s and a final extension step at 72 °C for 4 min. Finally, the PCR products were held at 4 °C. The amplified DNA was examined by agarose gel electrophoresis. PCR products were purified using DNA purification kits (Zymo Research Corporation). Single-pass DNA sequencing was conducted by 1st Base Company. Sequence chromatograms were edited and assembled into contigs with BioLign alignment and multiple contig version 4.0.6.2. Assembled sequences were compared to other taxa to confirm identification using the NIH BLAST system (http://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi). A phylogenetic tree was constructed using MEGA version 7.0.18.

PREPARATION OF ALGAL EXTRACTS

Extractions were carried out using the two solvents which were water and ethanol at 95% purity. The extracts were prepared by soaking 40 g of dry powdered algal materials in 2 L of solvent. The ethanolic and water extract was placed on a shaker at 160 rpm (Shel lab SSI 3-2, USA) at room temperature for 48 h. The material extracts were filtered to remove undissolved materials, solvents evaporated using a rotary evaporator (Heidolph Hei-VapValue, Germany) at 55 °C under reduced pressure, then dried by a lyophilizer, (Labconco 7753030, USA) weighed to determine the yield using the following equation:

$$\% \text{ yield} = \frac{\text{crude extract (g)} \times 100}{\text{dry weight (g)}}$$

DETERMINATION OF ANTIMICROBIAL EFFICACY

Bacterial strains: *Staphylococcus aureus* and *Bacillus cereus* as Gram positive species and *Escherichia coli*,

Salmonella Typhimurium and *Pseudomonas aeruginosa* as Gram negative species were obtained from the Thailand Institute of Scientific and Technological Research (TISTR).

ANTIMICROBIAL PROPERTIES

Antibacterial testing of the algal extracts was performed *in vitro* using the disc diffusion method in Petri dishes. Sterile disks 6 mm in diameter were impregnated with 20 µL of 100 mg/mL concentration of algal extract, deposited on the surface of the agar medium (Mueller-Hinton Agar) previously inoculated with bacterial strains and incubated at 37 °C for 18 h (Tuney et al. 2006). Diameters of the zones of inhibition were measured in millimeters. Ethanol at 95% purity without algal extract was used as the negative control and 10 µL of 1,000 µg/mL concentration of gentamicin was used as the positive control. All tests were performed in triplicate, with clear halos greater than 10 mm considered positive results (Jaya Prakash Goud, Seshikala & Mharya 2007).

DPPH RADICAL SCAVENGING ACTIVITY ASSAY

The DPPH radical scavenging ability of *Spirogyra* extracts was determined according to the modified method of Brand-Williams, Cuvelier and Berset (1995) and Chun-Hoong et al. (2010). Briefly, 0.5 mL of various concentrations (0.01, 0.02, 0.03…- 0.1 mg/mL) of *Spirogyra* extracts in methanol were added to 1.5 mL of 0.1 mM DPPH in methanol. The mixtures were incubated in the dark at room temperature for 20 min. Absorbance was measured at 517 nm by UV/Visible spectrophotometry (Biochrom libra S60, UK). The percentage of free radical inhibition provided by the extract was calculated using the following equation:

$$\% \text{ Inhibition} = [(A- (B-C)/A] \times 100 \qquad (2)$$

where A is the absorbance of the control (DPPH solution); B is the absorbance of the tested sample (plant extract with DPPH solution); and C is the absorbance of the blank sample (plant extract without DPPH solution).

The IC_{50} value is defined as the sample concentration required to scavenge 50%of DPPH radicals. The IC_{50} value was obtained from the linear regression of the dose-response curve of percentage inhibition versus concentration. The antioxidant activity of S*pirogyra* extracts was calculated as mg gallic acid equivalent per gram extract. Gallic acid was used as a standard to plot calibration curve ($y = 8962x + 4.5553$, $R^2 = 0.988$) at ten concentration levels (0.001 – 0.01 mg/mL). The DPPH radical scavenging activity was reported as milligrams of gallic acid equivalent antioxidant capacity per gram extract (mg GAE/g extract) using the following equation:

$$\text{Antioxidant activity (mg GAE/g extract)} = \frac{(IC_{50} \text{ gallic acid (mg/mL)}) \times 1{,}000}{(IC_{50} \text{ } Spirogyra \text{ extracts (mg/mL)})} \qquad (3)$$

STATISTICAL ANALYSIS

The results of three replicates were reported as a mean ± SD. Analysis of variance (ANOVA) was calculated using Duncan's new multiple range test (DMRT). A p-value < 0.05 was considered statistically significant. Statistical analyses were performed using SPSS version 17.0.

RESULTS AND DISCUSSION

MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS AND ECOLOGY OF *Spirogyra* spp.

Two species were identified based on their morphological differences. *Spirogyra* CR01 was found in lentic water (paddy field) and *Spirogyra* CR02 was found in lotic water (Kok River) (Table 1).

Spirogyra CR01

Filaments rather long, unbranched, fresh green, cells cylindrical with outer mucilaginous sheath, vegetative cells 40-50 µm in width, 170-200 µm in length, 4.0-4.2 L/W ratio, chloroplasts parietal and in the form of spiral bands or ribbon-like. Chloroplasts with numerous disc-shaped pyrenoids can reproduce both sexually (scalariform conjugation and lateral conjugation) and asexually (fragmentation) (Figure 2). Ecology: Standing water in the paddy field was 20 cm deep. Most short filamentous *Spirogyra* CR01 grew as clusters on the soil surface and as free-floating masses anchored to the substratum.

Spirogyra CR02

Filaments long, unbranched, fresh green, cells cylindrical, vegetative cells 50-58 µm in width, 220-250 µm in length, 4.4 - 4.5 L/W ratio, chloroplasts parietal and in the form of spiral bands or ribbon-like, chloroplasts with numerous disc-shaped pyrenoids, can reproduce both sexually and asexually (scalariform conjugation) and asexually (fragmentation) (Figure 3). Ecology: Slow-flowing water in the Kok River was 20-30 cm deep. The filamentous rhizoids were attached to stones by long strands growing toward the water surface.

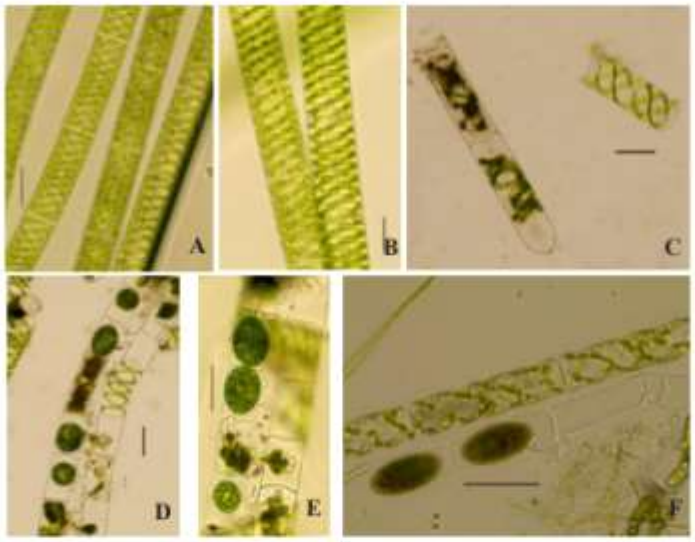


FIGURE 2. *Spirogyra* CR01 (scale bar = 50 µm)
A – B. Vegetative filament with plane septa, C. Asexual reproduction by fragmentation
D – E. Scalariform conjugation, and F. Lateral conjugation

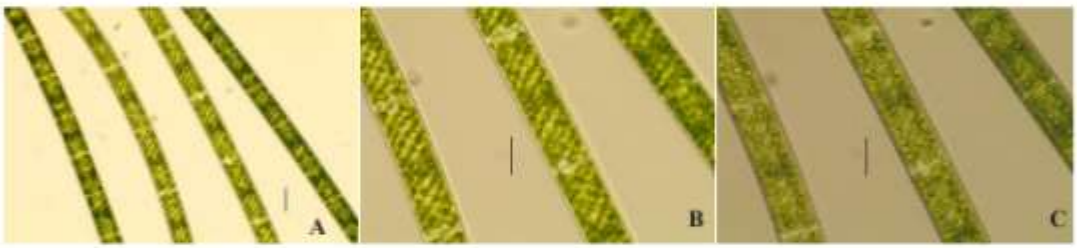


FIGURE 3. *Spirogyra* CR02 (scale bar = 50 µm)
A – C. Vegetative filaments with plane septa

TABLE 1. Morphological characteristics of *Spirogyra* CR01 and *Spirogyra* CR02, Chiang Rai Province, Thailand

Characteristic	*Spirogyra*	
	CR01	CR02
Vegetative cell width (µm)	40 - 50	50 - 58
Vegetative cell length (µm)	170 - 200	220 - 250
L/W ratio vegetative cell	4.0 - 4.2	4.4 - 4.5
Number of chloroplasts	3 - 4	3 - 5
Around the spiral of chloroplast	2.5 - 3.5	3.5 - 4.5
Shape of pyrenoid	Discoid	Discoid
Shape of zoospore	Ellipsoid	-
Zygospore width (µm)	50-65	-
Zygospore length (µm)	55-90	-
Color of zoospore	Dark brown	-
Species	*Spirogyra neglecta*	*Spirogyra fluviatilis*

- = not found

S. neglecta has been reported in dune pools and ditches in the Netherlands, where the physicochemical water quality was mesotrophic to eutrophic, with high amounts of calcium and bicarbonate in some sampled areas (Simons 1987; Simons & Van Beem 1990). *S. neglecta* of this study was found in paddy fields with stagnant or inert water, similar to the sampling sites of Simons (1987) and Simons and Van Beem (1990). Nozaki (2023) reported *S. neglecta* collected from spring water in the schoolyard of Sugiyama Jogakuen Elementary School in the urban area of Nagoya. Nozaki considers *S. neglecta* to be morphologically very close to *S. ternata* Ripart; the descriptions of these two species were compared using information on the relationship between the width and length of the vegetative cells and zygospores. Although the results indicate that the range of width and length of the vegetative cells and zygospores of *S. neglecta* are smaller than those of *S. ternata*, this information still cannot clearly separate the two species. Therefore, it is also suggested that these two species are synonymous. However, the sizes of vegetative cells and zygospores of *S. neglecta* CR01 were closely related to the *S. neglecta* specimens of Nozaki (2023). *S. fluviatilis* CR02, a sample from the Kok River, represents a running water environment. It exhibits similar characteristics to those of water resources reported by Stancheva et al. (2013), who identified *S. fluviatilis* in a California stream, as well as the sampling site documented by Townsend et al. (2008). Moreover, *S. fluviatilis* was found as the most common species that developed year-round in the rocky Baikal littoral and in one of the tributaries as well as in the Angara River (Timoshkin et al. 2015; Volkova, Bondarenko & Timoshkin 2018). Water flow rate affects the growth of *S. fluviatilis* was studied by Borchardt (1994). *S. fluviatilis* was cultivated under nitrogen or phosphorus limitation in laboratory streams at three flow velocities: 3, 12, and 30 $cm \cdot s^{-1}$. The results showed that the minimum nitrogen (N) and phosphorus (P) cell quotas increased with velocity, and the theoretical photosynthesis maxima for N and P both appeared greatest at 12 $cm \cdot s^{-1}$.

MOLECULAR IDENTIFICATION

Species identification of two *Spirogyra* samples was confirmed by molecular characteristics of the *rbc*L gene sequences with nucleotide length 1,200-1,300 base pairs. The phylogenetic relationship shown in Figure 4 was analyzed as maximum likelihood (ML) by the bootstrap test at 100% (1,000 replicates). The *Spirogyra* CR01 was indicated to nearly the cluster of genus *Spirogyra* and gave maximum percentage identity of 97.44%, while *Spirogyra* CR02 had a close relationship with 99.92% identity to *S. fluviatilis* Hilse.

The morphological characteristics of *Spirogyra* CR01 from paddy fields, indicated *S. neglecta* (Hassall) Kützing configured according to Kadlubowska (1984), John, Whitton & Brook (2011) and Thiamdao (2011). The molecular study of nucleotide sequencing of *Spirogyra* CR01 can identify the genera level. There was no nucleotide database of the *rbc*L gene sequence of *S. neglecta* in the NCBI genetics library. The nucleotides were deposited in the NCBI GenBank database as accession number OP479862. The morphological characteristics of *Spirogyra* CR02 lacked significant structures to identify processes like conjugation and zygospores. However, molecular studies supported the identity as *S. fluviatilis* with corresponding morphological features. Nucleotide sequencing of *Spirogyra* CR02 was very similar to *S. fluviatilis* strains RSS016, RSS033 and RSS040 collected from California streams (Stancheva et al. 2013). Gene sequencing data of *Spirogyra* CR02 were deposited in the NCBI GenBank database as accession number OP479863.

Comprehensive morphological identification of *Spirogyra* spp. requires information on many features such as number of chloroplasts per cell, end wall type of adjacent cells, detailed characteristics of sexual reproduction and female gametangia, size and shape of zygospores and ornamentation of mature zygospore walls (Kim 2015), while vital structures for diagnosing species such as conjugation and zygospores are not always present. Therefore, *Spirogyra* samples that do not present reproduction aspects are induced under laboratory culture conditions to form conjugation and zygospores but these are not always certain to appear. The *Spirogyra* CR02 was unable to form reproductive structures and was therefore not morphologically identified. Nucleotides databases are also important for identification. The position of the ribulose bisphosphate carboxylase large subunit (*rbc*L gene) is a useful target marker for species identification and phylogenetic analysis of *Spirogyra* species. The *Spirogyra* CR02 was identified by comparing the sequence with samples in the GenBank database following Stancheva et al. (2013), Takano et al. (2019) and Takano et al. (2022) compared databases containing complete morphological and molecular biological data. *Spirogyra* CR01 was identified as *S. neglecta* using comprehensive morphological characteristics. However, this species had no rbcL gene sequence data in the database.

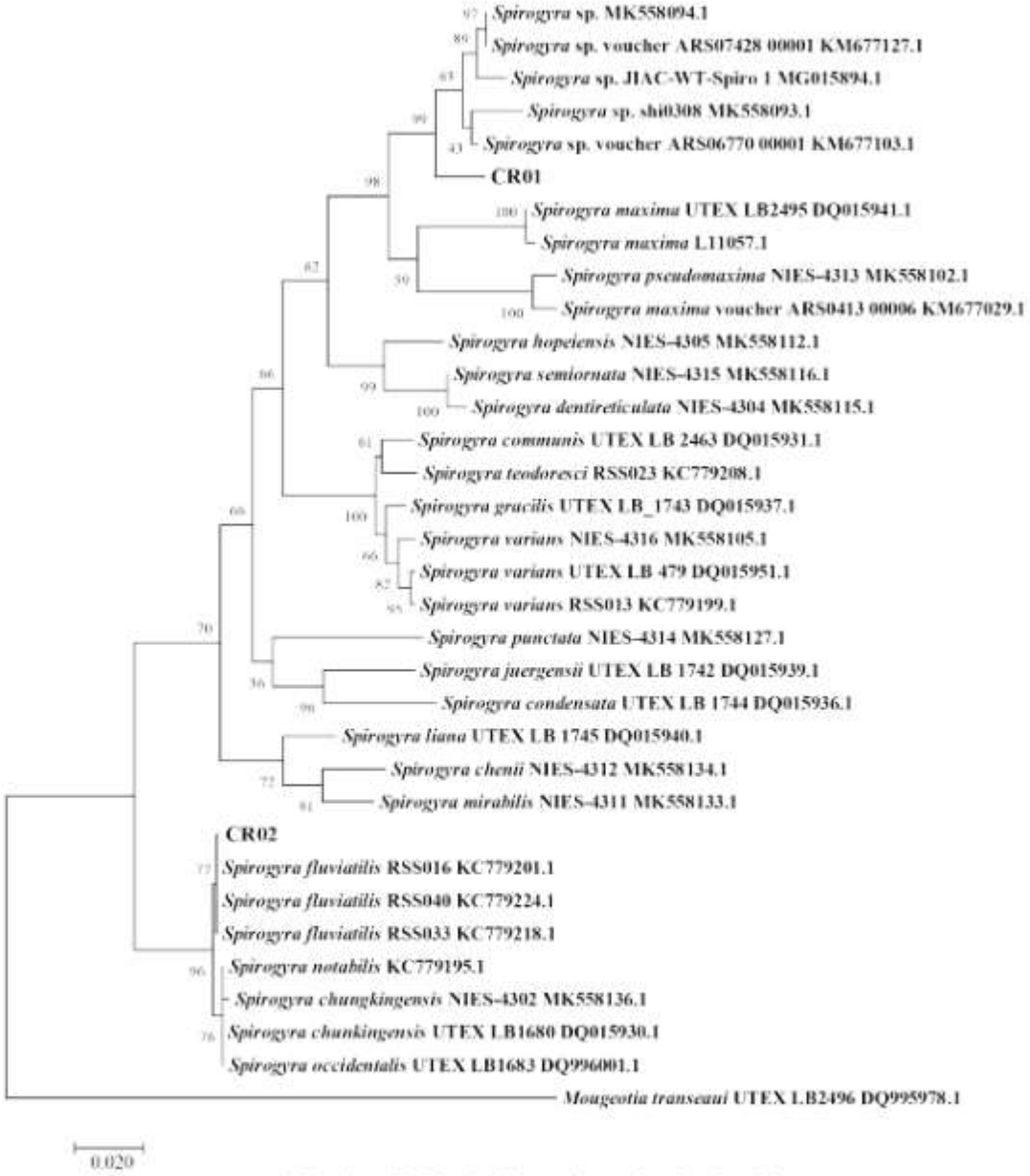


FIGURE 4. Maximum likelihood phylogenetic tree based on the *rbc*L gene sequences. Numbers above branches are bootstrap values

EXTRACTION YIELDS

Extraction yield (%) of *Spirogyra* sp. in water and ethanol were determined and presented in Table 2. The extraction yield of *Spirogyra* sp. CR01 and *Spirogyra* sp. CR02 range from 7.18 ± 0.53 to 15.39 ± 1.25 and 2.28 ± 1.80 to 9.05 ± 1.14, respectively. ANOVA results indicated that the effect of algal species and solvent polarity were significantly different ($p < 0.05$). The results obtained in

the present study are consistent with Delfanian, Kenari and Sahari (2015) who recorded the extraction yield is strongly dependent on the solvent polarity which water has great ability to extract polar compounds because its polarity is higher than other solvents. Moreover, Jerez-Martel et al. (2021) reported that *Spirogyra* sp. in water extract (13.2) yielded a higher percentage of extract than methanolic extract (12.8).

ANTIMICROBIAL PROPERTIES

The antimicrobial activities of the aqueous and ethanolic extracts were determined by the inhibition zone diameter. Only the ethanolic extract showed inhibition against *B. cereus* and *S. aureus*, as shown in Table 3. The ethanolic extract of *Spirogyra* CR02 showed high activity against *B. cereus* (13.22 mm) and *S. aureus* (13.22 mm) compared with the ethanolic extract of *Spirogyra* CR01 against *B. cereus* (7.33 mm) with no effect on *S. aureus*. Our results concurred with Jaya Prakash Goud, Seshikala and Mharya (2007) who recorded high inhibition activity against *S. aureus*. Alshididi and Jawad (2015) reported inhibition activity against *S. aureus* with inhibition zone of 13.7 mm at concentrations of 20 mg/mL, while Dwaish et al. (2016) reported that antibacterial activity of *Spirogyra* spp. crude chloroform extracts ranged between 11 and 19 mm, with the highest in *S. aureus* at a concentration of 256 mg/mL (19±0.3 mm) and the lowest in *E. coli* at a concentration of 128 mg/mL (11±0.1 mm). This result was different from Chowdhury et al. (2015) who reported that *Spirogyra crassa* showed very poor antibacterial activity, while its antifungal activity was moderate, with zone of inhibition against Gram positive *S. aureus* at 8.3 mm, Gram negative *Sal.* Typhi at 11.7 mm and the fungus *Candida albicans* at 13 mm.

However, this study found that the extract did not show any inhibition against *E. coli, P. aeruginosa* and *Sal.* Typhimurium. The two extracts showed low activity when compared with gentamicin. The aqueous extract of both *Spirogyra* CR01 and *Spirogyra* CR02 did not show inhibition against all tested bacterial strains, while the ethanolic extract showed inhibition activity against Gram positive bacteria but not against Gram negative bacteria. Previous reports showed that Gram positive bacteria were more effectively controlled by algal extracts compared to Gram negative bacteria (Tuney et al. 2006) because the cell wall structure of Gram negative bacteria is more complex than Gram positive bacteria (Vlachos, Critchley & Holy 1997). Another unique characteristic of Gram negative bacteria is the presence of lipopolysaccharide (LPS) molecules on the outer membrane. LPS is a large glycolipid complex that protects bacteria from harmful substances in their environment (Bailey 2020). Results from this study showed that ethanolic extracts performed better than aqueous extracts. Ethanol solvent was effective in extracting phytochemicals, saponins, tannins, steroids, phlobatannins, alkaloids, anthraquinones, flavonoids and phenolics groups, which have strong antibacterial properties. At the same time, water extracts were extract substances in the group of polysaccharides and carotenoid pigments, which had low effectiveness in antibacterial properties, concurring with Al-Garadi et al. (2022) who reported that extraction in more polar solvents (water extract) resulted in a high yield but low flavonoid and phenolic content compared with that in non-polar solvents. Ahmed et al. (2022) reported that the highest antibacterial activity against tested bacteria was observed in n-hexane, chloroform and ethanol extracts. In comparison, the ethyl acetate, n-butanol and water extracts showed low antibacterial activity. Antibacterial activity depends on the algal species, the efficiency of the extraction method and the resistance of the tested bacteria, Environmental factors, as seasonal variations, also play a key role in intra-specific variability in the production of secondary metabolites (Alshididi & Jawad 2015).

TABLE 2. Extraction yields in water and ethanol expressed as a percentage by weight of freeze-dried biomass

Spirogyra sp.	Extract	Yield (%)
CR01	water	15.39 ± 1.25^{a}
	ethanol	7.18 ± 0.53^{c}
CR02	water	9.05 ± 1.14^{b}
	ethanol	2.28 ± 1.80^{d}

Data are mean ± standard deviation (SD) of triplicate measurements. [a–d]Mean values followed by different letters in columns are significantly different ($p < 0.05$)

TABLE 3. Antimicrobial activity of water and ethanol extracts of *Spirogyra* CR01 and *Spirogyra* CR02

Spirogyra	Extracts	Growth inhibition zone diameter (mm)				
		B. cereus	*S. aureus*	*E. coli*	*P. aeruginosa*	*Sal.* Typhimurium
CR01	Water	-	-	-	-	-
	Ethanol	7.33 ± 0.33^{c}	-	-	-	-
CR02	Water	-	-	-	-	-
	Ethanol	13.22 ± 0.69^{b}	13.22 ± 0.91^{b}			
Gentamicin		23.78 ± 0.69^{a}	24.22 ± 0.51^{a}	21.56 ± 1.39	12.00 ± 1.20	20.22 ± 1.68
Negative control (ethanol 95%)		0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00

Data are mean ± standard deviation (SD) of triplicate measurements. [a-c]Mean values of *S. aureus* and *B. cereus* followed by different letters in the same column are significantly different ($p<0.05$)

DPPH RADICAL SCAVENGING ASSAY

Two *Spirogyra* spp. in paddy fields (CR01) and the Kok River (CR02) were extracted using water and ethanol at 95% purity. The aqueous and ethanolic extracts of both *Spirogyra* spp. were tested for their antioxidant activities by DPPH analysis. Results of DPPH radical scavenging activity indicated the concentration of the sample required to scavenge 50% of DPPH radicals (Inhibitory concentration; IC_{50}) expressed as the gallic acid equivalent antioxidant capacity per gram extract (mg GAE/g extract). A lower IC_{50} value indicates higher antioxidant activity. As shown in Table 4, gallic acid which was used as the standard compound, gave the lowest IC_{50} value of 0.0069 mg/mL. Among the two *Spirogyra* spp., the ethanolic extract of *Spirogyra* CR01 had the lowest IC_{50} value (0.06 mg/mL), followed by the aqueous extract of *Spirogyra* CR01 (0.10 mg/mL), while the ethanolic extract of *Spirogyra* CR02 gave 0.35 mg/mL. The highest IC_{50} value was recorded in the aqueous extract of *Spirogyra* CR02 (1.17 mg/mL). Significantly ($p<0.05$) highest antioxidant activity (114.92 mg GAE/g extract) was recorded in the ethanolic extract of *Spirogyra* CR01 followed by the aqueous extract of *Spirogyra* CR01 (59.15 mg GAE/g extract) while *Spirogyra* CR02 recorded significantly lower ($p<0.05$) radical scavenging activities of 20.03 mg GAE/g extract in the ethanolic extract and 3.68 mg GAE/g extract in the aqueous extract.

Peerapornpisal et al. (2010) recorded higher phenolic groups in an aqueous extract of *Spirogyra neglecta* than *Cladophora glomerata* and *Nostochopsis lobatus*, using gallic acid as the standard compound. *S. neglecta* had the lowest IC_{50} value compared with *C. glomerata* and *N. lobatus* indicating the highest antioxidant activity. The major groups of antioxidant compounds in macroalgae were phenolic compounds, polyphenols, sulfated polysaccharides, carotenoids and vitamins (Rattanabhorn, Amornlerdpison & Chimsook 2003; Thumvijit et al. 2013b). Yosboonruang et al. (2020) reported that *S. neglecta* extract contained phenolics and flavonoids as compounds that possess powerful antioxidant activity, while Duangjai et al. (2016) reported that *S. neglecta* extract exhibited high antioxidant capacity with components including gallic acid, eriodictyol, isoquercetin, kaempferol, quercetin, hydroquinin, rutin, catechin, and tannic acid. In this study, ethanolic extract of *Spirogyra* CR01 showed the greatest antioxidant activity. Chairerk, Pongyeela and Chungsiriporn (2021) reported that most solvents used for extracting antioxidant compounds are comprised of mixtures of organic solvents including ethanol, methanol, and acetone. Ethanol has long been known as a suitable nontoxic solvent for extracting antioxidant compounds from plant materials (Do et al. 2014). The presence of various antioxidant compounds with different chemical characteristics and polarities may or may not be soluble in a particular solvent (Turkmen, Sari & Velioglu 2006). Ethanol has been known as a good solvent for polyphenol extraction and is safe for human consumption, whereas aqueous acetone is good for extraction of higher molecular weight flavanols (Dai & Mumper 2010). The

hot water was used to extract compounds from algae, it resulted in substances with large molecules, such as polysaccharides or carotenoid pigments, which had low free radical scavenging abilities (Jiao et al. 2011). However, extraction yield and antioxidant activity depend on the extraction method and also on the species of algae and the solvent used for extraction.

TABLE 4. DPPH radical scavenging activity of water and ethanol extracts of *Spirogyra* CR01 and *Spirogyra* CR02

Spirogyra	Extracts	IC_{50} (mg/mL)	DPPH radical scavenging activity (mg GAE/g extract)
CR01	water	0.10±0.023^{c}	59.15±1.05^{b}
	ethanol	0.06±0.002^{d}	114.92±2.38^{a}
CR02	water	1.17±0.007^{a}	3.68±0.00^{d}
	ethanol	0.35±0.005^{b}	20.03±0.14^{c}
Gallic acid	-	0.0069±0.000^{e}	-

Data are mean ± standard deviation (SD) of triplicate measurements. $^{a-e}$Mean values followed by different letters in columns are significantly different ($p<0.05$)

CONCLUSIONS

In the classification of *Spirogyra* from lotic and lentic water sources, it was observed that both samples exhibited different morphological characteristics, including cell size and chloroplasts, indicating distinct species. Diagnosing at the species level necessitates an examination of reproductive cell characteristics. Consequently, this research can only provide identification based on the morphological characteristics of the *Spirogyra* CR01. The presence of reproductive cells allows for the identification of *S. neglecta* (Hassall) Kûtzing. Through molecular studies, a more precise diagnosis at the species level can be achieved, identifying *Spirogyra* CR02 as *S. fluviatilis* Hilse. Notably, the ethanol extract of *Spirogyra* yielded superior results compared to the water extract, both in terms of its ability to inhibit certain pathogens and its antioxidant activity. It was observed that the ethanol extract from *S. fluviatilis* (*Spirogyra* CR02) was effective in inhibiting the growth of two Gram-positive pathogens, namely *B. cereus* and *S. aureus*. On the other hand, the ethanol extract from *S. neglecta* (*Spirogyra* CR01) was found to inhibit the growth of only *B. cereus*. Specifically, the ethanol extract from *S. neglecta* exhibited higher antioxidant activity than the extract from *S. fluviatilis*.

The study of *Spirogyra* species provides valuable information on their distribution and growth habits, as well as their potential as sources of bioactive compounds. A comprehensive understanding of the properties of these bioactive compounds can lead to sustainable utilization and the development of new food supplements and medical treatments. Therefore, further research on *Spirogyra* species is warranted to unlock their full potential as a valuable resource for human well-being and environmental sustainability.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors acknowledge Chiang Rai Rajabhat University for financial support (Grant No. B26304022) and the Biological Science Program, Faculty of Science and Technology, Chiang Rai Rajabhat University for providing laboratory facilities and material support. We are very grateful to Assist. Prof. Dr. Sorrachat Thiamdao who helped confirm the species diagnosis using the morphological characteristics. Finally, we would like to thank Mr. Peter Humphrey Charge for proofreading the manuscript.

REFERENCES

Ahmed, N., Karobari, M.I., Yousaf, A., Mohamed, R.N., Arshad, S., Basheer, S.N., Peeran, S.W., Noorani, T.Y., Assiry, A.A., Alharbi, A.S. & Yean, C.Y. 2022. The antimicrobial efficacy against selective oral microbes, antioxidant activity and preliminary phytochemical screening of *Zingiber officinale*. *Infection and Drug Resistance* 15: 2773-2785.

Al-Garadi, M.A., Qaid, M.M., Alqhtani, A.H., Alhajj, M.S., Al-abdullatif, A.A. & Al-Mufarrej, S.I. 2022. *In vitro* antimicrobial efficacy assessment of ethanolic and aqueous extracts of Cinnamon (*Cinnamomum verum*) bark against selected microbes. *Brazilian Journal of Poultry Science* 25(1): 001-016.

Alshididi, S.S. & Jawad, L.M. 2015. Antagonistic activity of *Spirogyra micropunctata* against some multidrug resistant human pathogenic bacteria. *Iraqi Journal of Science* 56(3): 2494-2498.

Bailey, R. 2020. Gram positive vs. Gram negative bacteria. ThoughtCo. https://www.thoughtco.com/gram-positive-gram-negative-bacteria-4174239 Accessed 17 February 2021.

Borchardt, M.A. 1994. Effects of flowing water on nitrogen and phosphorus limited photosynthesis and optimum N: P ratios by *Spirogyra fluviatilis* (Charophyceae). *Journal of Phycology* 30(3): 418-430.

Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E. & Berset, C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Science and Technology* 28(1): 25-30.

Chairerk, N., Pongyeela, P. & Chungsiriporn, J. 2021. The studies also suggested that ethanol is the most suitable nontoxic solvent for extracting the compounds. *Applied Science and Engineering* 14(1): 52-59.

Chen, C., Barfuss, M.H.J., Prōschold, T. & Schagerl, M. 2012. Hidden genetic diversity in the green alga *Spirogyra* (Zygnematophyceae, Streptophyta). *BMC Evolutionary Biology* 12: 77.

Chowdhury, M.M.H., Kubra, K., Hossain, M.B., Mustafa, M.G., Jainab, T., Karim, M.R. & Mehedy, M.E. 2015. Screening of antibacterial and antifungal activity of freshwater and marine algae as a prominent natural antibiotic available in Bangladesh. *International Journal of Pharmacology* 11(7): 828-833.

Chun-Hoong Ho, Noryati Ismail, Shaida-Fariza Sulaiman & Rosma Ahmad. 2001. *In vitro* antibacterial and antioxidant activities of *Orthosiphon stamineus* Benth. *Food Chemistry* 122(4): 1168-1172.

Dai, J. & Mumper, R.J. 2010. Plant phenolics: Extraction, analysis and their antioxidant and anticancer properties. *Molecules* 15: 7313-7352.

Delfanian, M., Kenari, R.E. & Sahari, M.A. 2015. Influence of extraction techniques on antioxidant properties and bioactive compounds of loquat fruit (*Eriobotrya japonica* Lindl.) skin and pulp extracts. *Food Science & Nutrition* 3(3): 179-187.

Do, Q.D., Angkawijaya, A.E., Tran-Nguyen, P.L., Huynh, L.H., Soetaredjo, F.E., Ismadji, S. & Ju, Y.H. 2014. Effect of extraction solvent on total phenol content, total flavonoid content, and antioxidant activity of *Limnophila aromatica*. *Journal of Food and Drug Analysis* 22(3): 296-302.

Drummond, C.S., Hall, J., Karol, K.G., Delwiche, C.F. & McCourt, R.M. 2005. Phylogeny of *Spirogyra* and *Sirogonium* (Zygnematophyceae) based on *rbc*L sequence data. *Journal of Phycology* 41(5): 1055-1064.

Duangjai, A., Limpeanchob, N., Trisat, K. & Amornlerdpison, D. 2016. *Spirogyra neglecta* inhibits the absorption and synthesis of cholesterol *in vitro*. *Integrative Medicine Research* 5: 301-308.

Dwaish, A.S., Yousif, D.Y.M. & Lefta, S.N. 2016. Use of *Spirogyra* sp. extract against multidrug resistant bacterial pathogens. *International Journal of Advanced Research* 4(7): 575-579.

Guiry, M.D. & Guiry, G.M. 2020. AlgaeBase. World-wide electronic publication. National University of Ireland, Galway. https://www.algaebase.org Accessed 11 November 2020.

Hainz, R., Wöber, C. & Schagerl, M. 2009. The relationship between *Spirogyra* (Zygnematophyceae, Streptophyta) filament type groups and environmental conditions in Central Europe. *Aquatic Botany* 91(3): 173-180.

Hamdam, N., Samad, A.A., Hidyat, T. & Salleh, F.M. 2013. Phylogenetic analysis of eight Malaysian pineapple cultivars using a chloroplast marker (*rcb*L gene). *Jurnal Teknologi* 64: 29-33.

Jaya Prakash Goud, M., Seshikala, D. & Mharya, A.S.C. 2007. Antibacterial activity and biomolecular composition of certain fresh water micro-algae from river Godavari (India). *Science World Journal* 2(3): 19-23.

Jiao, G., Yu, G., Zhang, J. & Ewart, H.S. 2011. Chemical structures and bio activities of sulfated polysaccharide from marine algae. *Marine Drugs* 9: 196-223.

Ji, S-G., Huo, K., Wang, J. & Pan, S-L. 2008. A molecular phylogenetic study of Huperziaceae based on chloroplast *rbc*L and *psb*A-*trn*H sequences. *Journal of Systematics and Evolution* 46(2): 213-219.

John, D.M., Whitton, B.A. & Brook, A.J. 2011. *The Freshwater Algal Flora of the British Isles*. Cambridge: The United Kingdom at the University Press.

Kadlubowska, J.Z. 1984. *Süßwasserflora von Mitteleuropa. Band 16: Chlorophyta VIII-Conjugatophyceae I (Zygnemales)*. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag.

Kim, J.H. 2015. New records of the genus *Spirogyra* (Zygnemataceae, Conjugatophyceae) in Korea. *Journal of Ecology and Environment* 38(4): 611-618.

Lailerd, N., Pongchaidecha, A., Amornlerdpison, D. & Peerapornpisal, Y. 2009. Beneficial effects of *Spirogyra neclecta* extract on glycemic and lipidemic status in streptozotocin-induced diabetic rats fed a diet enriched in fat. *Annals of Nutrition and Metabolism* 55(S1): 709.

Jerez-Martel, I., García-Poza, S., Rodríguez-Martel, G., Rico, M., Afonso-Olivares, C. & Gómez-Pinchetti, J.L. 2021. Phenolic profile and antioxidant activity of crude extracts from microalgae and cyanobacteria strains. *Advances in Food Science* 2017: 2924508.

Nozaki, K. 2023. Morphological characteristics of *Spirogyra neglecta* (Zygnemataceae) collected from spring water in the urban area of Nagoya City, Aichi, Japan. *Rikunomizu (Limnology in Tokai Region of Japan)* 97: 35-43.

Peerapornpisal, Y., Amornlerdpison, D., Jamjai, U., Taesotikul, T., Pongpaibul, Y., Nualchareon, M. & Kanjanapothi, D. 2010. Antioxidant and anti-inflammatory activities of brown marine alga, *Padina minor* Yamada. *Chiang Mai Journal of Science* 37(3): 507-516. [in Thai]

Rattanabhorn, J., Amornlerdpison, D. & Chimsook, T. 2013. Phytochemical screening, antioxidant activity and total phenolic content of *Spirogyra* spp. *Advanced Materials Research* 699: 693-697.

Simons, J. 1987. Spirogyra species and accompanying algae from dune waters in the Netherlands. *Acta Bot. Neerl.* 36(1): 13-31.

Simons, J. & Van Beem, A.P. 1990. *Spirogyra* species and accompanying algae from pools and ditches in The Netherlands. *Aquatic Botany* 37(3): 247-269.

Stancheva, R., Hall, J.D., McCourt, R.M. & Sheath, R.G. 2013. Identity and phylogenetic placement of *S pirogyra* species (Zygnematophyceae, Charophyta) from California streams and elsewhere(1). *Journal of Phycology* 49(3): 588-607.

Takano, T., Ikegaya, H., Ikeda, K., Nozaki, H. & Sakayama, H. 2022. Morphology, taxonomy and phylogenetic positions of two Spirogyra species (Zygnematophyceae, Streptophyta) with replicate and semi-replicate transverse walls from Japan. *Phycologia* 61(4): 425-435.

Takano, T., Higuchi, S., Ikegaya, H., Matsuzaki, R., Kawachi, M., Takahashi, F. & Nozaki, H. 2019. Identifcation of 13 *Spirogyra* species (Zygnemataceae) by traits of sexual reproduction induced under laboratory culture conditions. *Scientific Reports* 9: 7458. DOI: 10.1038/s41598-019-43454-6

Timoshkin, O.A., Bondarenko, N.A., Volkova, Y.A., Tomberg, I.V., Vishnyakov, V.S. & Malnik, V.V. 2015. Mass development of green filamentous algae of the genera *Spirogyra* and *Stigeoclonium* (Chlorophyta) in the littoral zone of the Southern part of Lake Baikal. *Hydrobiological Journal* 51(1): 13-23.

Thiamdao, S. 2011. Diversity of edible freshwater macroalgae in Thailand during 2007-2008. PhD. Thesis in Biology, Chiang Mai University, Chiang Mai (Unpublished).

Thumvijit, T., Taya, S., Punvittayagul, C., Peerapornpisal, Y. & Wongpoomchai, R. 2014. Cancer chemopreventive effect of *Spirogyra neglecta* (Hassall) Kützing on diethylni trosamine-induced hepatocarcinogenesis in rats. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention* 15(4): 1611-1616.

Thumvijit, T., Thuschana, W., Amornlerdpison, D., Peerapornpisal, Y. & Wongpoomchai, R. 2013a. Evaluation of hepatic antioxidant capacities of *Spirogyra neglecta* (Hassall) Kützing in rats. *Interdisciplinary Toxicology* 6(3): 152-156.

Thumvijit, T., Inboot, W., Peerapornpisal, Y., Amornlerdpison, D. & Wongpoomchai, R. 2013b. The antimutagenic and antioxidant properties of *Spirogyra neglecta* (Hassall) Kützing. *Journal of Medicinal Plants Research* 7(34): 2494-2500.

Tipnee, S., Ramaraj, R. & Unparom, Y. 2015. Nutritional evaluation of edible freshwater green macroalga Spirogyra varians. *Emergent Life Sciences Research* 1(2): 1-7.

Townsend, S.A., Schult, J.H., Douglas, M.M. & Skinner, S. 2008. Does the Redfield ratio infer nutrient limitation in the macroalga *Spirogyra fluviatilis*. *Freshwater Biology* 53: 509-520.

Tuney, I., Cadirci, B.H., Unal, D. & Sukatar, A. 2006. Antimicrobial activities of the extracts of marine algae from the Coast of Urla (Izmir, Turkey). *Turkish Journal of Biology* 30(3): 10.

Turkmen, N., Sari, F. & Velioglu, Y.S. 2006. Effects of extraction solvents on concentration and antioxidant activity of black and black mate tea polyphenols determined by ferrous tartrate and Folin - Ciocalteu methods. *Food Chemistry* 99: 835-841.

Vlachos, V., Critchley, A.T. & Holy, A.V. 1997. Antimicrobial activity of extracts from selected southern African marine macroalgae. *South African Journal of Science* 93: 328-332.

Volkova, E.A., Bondarenko, N.A. & Timoshkin, O.A.Y. 2018. Morphotaxonomy, distribution and abundance of *Spirogyra* (Zygnematophyceae, charophyta) in lake baikal, East Siberia. *Phycologia* 57(3): 298-308.

Wongsawad, P. & Peerapornpisal, Y. 2014. Molecular identification and phylogenetic relationship of green algae, *Spirogyra ellipsospora* (Chlorophyta) using ISSR and *rbc*L markers. *Saudi Journal of Biological Sciences* 21(5): 505-510.

Yosboonruang, A., Duangjai, A., Amormlerdpison, D. & Viyoach, J. 2020. Screening for biological activities of *Spirogyra neglecta* water extract. *Walailak Journal of Science and Technology* 17(4): 359-368.

*Corresponding author; email: prasertsintippawan@gmail.com

Sains Malaysiana 52(9)(2023): 2471-2483
http://doi.org/10.17576/jsm-2023-5209-01

First Evidence of Microplastics Ingestion by Freshwater Fishes from Nong Luang Wetland, Chiang Rai, Thailand

(Bukti Pertama Ketidakhadaman Mikroplastik oleh Ikan Air Tawar dari Tanah Bencah Nong Luang, Chiang Rai, Thailand)

KITTICHAI CHANTIMA*, KRITTAWIT SUK-UENG, PARIDCHAYA INTEP & SARITPORN VITTAYAPADUNG

Environmental Science and Technology Program, Faculty of Science and Technology, Chiang Rai Rajabhat University, 57100 Chiang Rai, Thailand

Received: 1 March 2023/Accepted: 10 August 2023

ABSTRACT

Microplastic (MP) ingestion has been reported in several marine species but knowledge regarding MPs in freshwater species is limited, with only a few studies on the occurrence of MPs in freshwater fish, particularly in Thai freshwater ecosystems. The aim of this study was to assess the occurrence of MPs for the first time in the gastrointestinal tracts (GITs) of freshwater fishes from the Nong Luang Wetland, Chiang Rai, Thailand. A total of 100 fish specimens representing 15 species from 8 families were examined. Basic fish measurements as total length and total weight were used to calculate Fulton's condition index (F). The GITs were subsequently removed and MPs were extracted by visual inspection and digestion solution. Qualitative attributes such as color and MP types (fibers, rod-shaped and fragments) were also recorded. Results showed relatively low MP prevalence at 21.0%, with 25 MP particles removed from the GITs of specimens representing 7 species. The number of ingested MP particles ranged between 1 and 4 per fish, with an average of 1.19±0.68. MP particles were categorized as fibers (92.0%), rod-shaped (4.0%) and fragments (4.0%) with blue fibers the most prevalent. No significant correlations were observed between the number of MP particles and the body length, weight, and F value of fish. These findings provide the first evidence of MP contamination in fishes from a Thai wetland as a baseline for future studies and risk assessments on the biota of many aquatic systems spread across the country.

Keywords: Blue fibre; fishing gear; freshwater fish; microplastic; wetland

ABSTRACT

Penghadaman mikroplastik (MP) telah dilaporkan dalam beberapa spesies marin tetapi pengetahuan mengenai MP dalam spesies air tawar adalah terhad dengan hanya beberapa kajian mengenai kejadian MP dalam ikan air tawar, khususnya dalam ekosistem air tawar Thailand. Matlamat kajian ini adalah untuk menilai kejadian MP buat kali pertama dalam saluran gastrousus (GIT) ikan air tawar dari Tanah Bencah Nong Luang, Chiang Rai, Thailand. Sebanyak 100 spesimen ikan mewakili 15 spesies daripada 8 famili telah diperiksa. Ukuran asas ikan sebagai jumlah panjang dan jumlah berat digunakan untuk menghitung indeks keadaan Fulton (F). GIT kemudiannya dikeluarkan dan MP telah diekstrak melalui pemeriksaan visual dan penyelesaian pencernaan. Atribut kualitatif seperti warna dan jenis MP (gentian, berbentuk batang dan serpihan) turut direkodkan. Keputusan menunjukkan kelaziman MP yang agak rendah pada 21.0% dengan 25 zarah MP dikeluarkan daripada GIT spesimen yang mewakili 7 spesies. Bilangan zarah MP yang dihadam adalah antara 1 dan 4 setiap ikan, dengan purata 1.19±0.68. Zarah MP dikategorikan sebagai gentian (92.0%), berbentuk batang (4.0%) dan serpihan (4.0%) dengan gentian biru yang paling lazim. Tiada korelasi yang ketara diperhatikan antara bilangan zarah MP dan panjang badan, berat dan nilai F ikan. Hasil ini memberikan bukti pertama pencemaran MP dalam ikan dari tanah bencah Thailand sebagai garis asas untuk kajian masa hadapan dan penilaian risiko ke atas biota kebanyakan sistem akuatik di seluruh negara.

Kata kunci: Gentian biru; ikan air tawar; mikroplastik; peralatan menangkap ikan; tanah bencah

INTRODUCTION

Due to high production levels and improper waste management, plastics are now increasingly discarded into the aquatic environment. Accumulation of plastic debris caused by anthropogenic activities is polluting aquatic ecosystems but few studies have addressed this

aspect. Plastics generate remarkable societal benefits, with outstanding features of light weight, durability and versatility at low production cost (Andrady & Neal 2009; Hammer, Kraak & Parsons 2012; McDevitt et al. 2017). Plastic particles less than 5 mm in diameter are termed microplastics (MPs). These comprise a heterogeneous group of particles differing in size, shape, chemical composition and specific density that originate from diverse sources. MPs can be categorized into primary MPs and secondary MPs. Primary MPs are commonly defined as micro-sized particles released into the environment as resin pellets (raw material for the production of plastic products) or as personal healthcare product ingredients (e.g., peelings and shower gels), while secondary MPs emanate from fragmentation of large plastic materials by biodegradation, photodegradation, thermooxidative degradation, thermal degradation or hydrolysis (Duis & Coors 2016; Thompson et al. 2009; Wagner et al. 2014).

MP wastes pollute a wide range of natural terrestrial, freshwater and marine habitats (UNEP 2018). MPs enter aquatic environments by many pathways and cause physical and toxicological effects on organisms at different trophic levels (Anbumani & Kakkar 2018; Horton et al. 2017; Law & Thompson 2014). MPs are difficult to identify and readily ingested by aquatic organisms because of their microscopic size. They can absorb and transport more organic matter than large plastic particles because of their greater relative surface area (Bakir, Rowland & Thompson 2013, 2012). Anbumani and Kakkar (2018) and Ha and Yeo (2018) presented a generic overview on the exposure and toxicity of MPs, and determined growth impairment, behavioral impairment, reproductive impairment, feeding impairment, reduced survival and increased mortality in aquatic organisms. The toxicity profile of MPs in short-term exposure does not have a major biological effect but numerous studies have identified toxicity from long-term exposure (Anbumani & Kakkar 2018; Foley et al. 2018; Ha & Yeo 2018; Li, Liu & Chen 2018; Wagner et al. 2014).

Recent research on MPs has focused on marine and coastal environments rather than freshwater waterbodies, and these ecosystems require detailed investigation (Li, Liu & Chen 2018; Wagner et al. 2014; Yu et al. 2018). Several studies have reported on the ingestion of MPs by marine species; however, information for freshwater species, especially freshwater fish is scarce. The first evidence on the occurrence and detection of MPs in freshwater fishes was reported by Campbell, Williamson and Hall (2017) and Silva-Cavalcanti et al. (2017), with most previous studies concentrated in Europe, North America and East Asian regions (Ajith et al. 2020). Few studies have been conducted in Southeast Asia, particularly in Thailand, with only a few studies on the occurrence of MPs in freshwater fish (Kasamesiri & Thaimuangphol 2020; Kasamesiri et al. 2021). Kasamesiri and Thaimuangphol (2020) reported on MP ingestion by freshwater fish in the Chi River as the first observations on Thai river ecosystem biota. Recent studies conducted in Thai reservoir (Ubolratana reservoir) also showed that the freshwater fish had ingested MPs (Kasamesiri et al. 2021).

MPs have been studied worldwide in terrestrial and freshwater ecosystems, particularly in wastewater and other water bodies (Elkhatib & Oyanedel-Craver 2020; Rochman 2018). However, only a few studies have focused on the occurrence of MPs in freshwater systems such as lakes, rivers and wetlands (Horton et al. 2017; Kumar, Sharma & Bandyopadhyay 2021). Wetlands provide many ecosystem services, and also provide for human livelihoods, including aesthetic and recreational values (Mitsch, Bernal & Hernandez 2015; Scholte et al. 2016). Wetlands also act as a reservoir (i.e., both sink and source) of MPs (Kumar, Sharma & Bandyopadhyay 2021). This study was conducted in the Nong Luang Wetland, Chiang Rai Province, Northern Thailand. This small-scale wetland in the Chiang Saen Valley is surrounded by low mountains and hills. The Nong Luang Wetland has been designated as wetland of international importance. It is located near the Nong Bong Kai wetland, designated as a Ramsar site in 2001 (TISTR 2011). Many people live in and around this wetland and depend on the wetland's resources for their livelihoods. Nong Luang Wetland is a well-renowned area with developed agriculture, aquaculture, and animal husbandry (Masa 2015; ONEP 2004; Panboon, Soc-been & Sukkasem 2017). Wetland investigations based on fishes have limited impacts on the understanding of pollutant effects on fish populations but provide valuable information about resident biota. Freshwater biota research is lacking in Thailand, and this investigation was conducted to determine baseline pollution levels of MPs in the gastrointestinal tracts (GITs) of fishes from the Nong Luang Wetland. Study findings will fill the current knowledge gap as the first scientific record of the occurrence of MPs in the GITs of freshwater fish captured in Nong Lung wetland, Chiang Rai Province, Northern Thailand.

Materials and Methods

Study Area

This study was conducted in the Nong Luang Wetland, a small-scale wetland area in the Chiang Saen Valley of

Chiang Rai Province, Northern Thailand surrounded by low mountains and hills. Nong Luang Wetland covers an area of 14.71 km^2 and has been designated as a wetland of international importance (TISTR 2011). This wetland stores rainfall and water runoff from the highlands and consists of marshes and swamps. Many major tributaries as the Mae Lao River, Huai Sak Stream, Rong Ber Stream and Cham Tong Stream drain to this wetland and exit through the narrow northern channel to the Kok and Mekong Rivers, respectively (Masa 2015). The Nong Luang Wetland area encompasses the Wiang Chai and Don Sila Sub-districts of Wiang Chai District, as well as areas in the Huai Sak Sub-district of Mueang Chiang Rai District in Chiang Rai District in Chiang Rai Province (19°50'55.1"N, 99°56'32.6" E; Figure 1), located near the Nong Bong Kai wetland (designated as a Ramsar site in 2001). This area forms part of an ecologically connected network comprising wildlife, water birds and migratory birds (ONEP 2004). Many people living in and around this wetland depend on the wetland's natural resources for their livelihoods.

SAMPLE COLLECTION

Before sampling, all tools and containers were cleaned with filtered pure water. Fifteen species of fish as 100 individuals (Table 1) were collected from local markets situated nearby Nong Luang Wetland. Sources of plastic pollution included fishing activities, aquaculture, agriculture and sewage from residential areas. All the fishes were caught by local fisherman during the rainy season (August-September 2020). Criteria for choosing different species included their importance in the fishing activities of the area and also their diverse feeding features and habitats. Samples were transported in iceboxes to the laboratory and stored at -20 °C before examination. Plastic material was avoided throughout the whole sampling process.

SAMPLE PROCEDURE AND MICROPLASTIC IDENTIFICATION

In the laboratory, freshwater fishes were identified to species level, then weighed and measured for body length to an accuracy of 0.01 g and 0.1 cm, respectively. Body length was measured from the tip of the snout to the end of the caudal fin. Fulton's condition index (F) was calculated for each fish using the formula:

$$F = 100 \times W/L^3$$

where W is the weight in grams and L is the length in cm (Nash, Valencia & Geffen 2006).

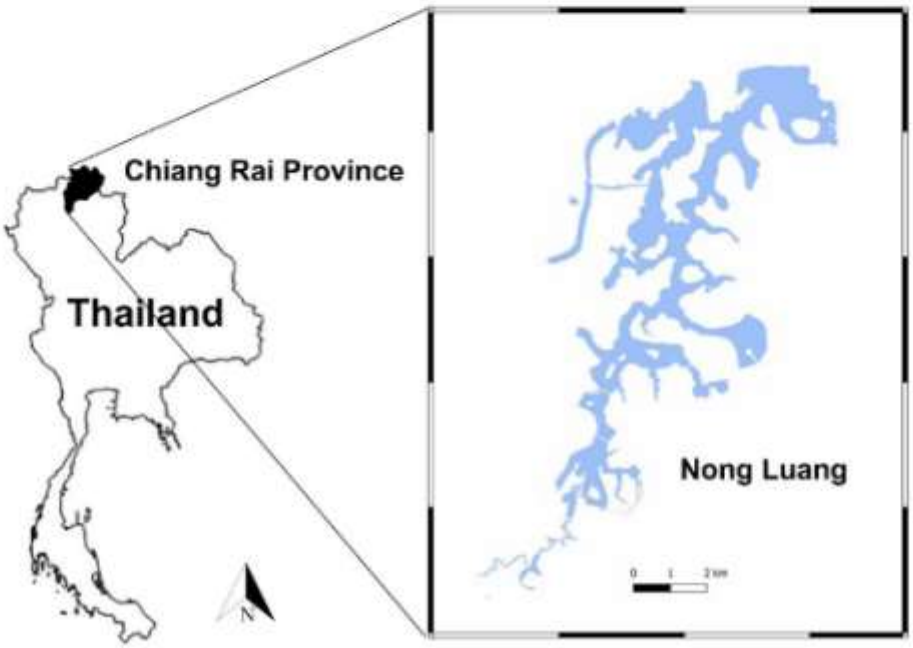


FIGURE 1. Geographic position of Nong Luang Wetland (Chiang Rai Province, Thailand)

Lab coats and disposable latex gloves were worn to prevent sample contamination with MPs from other sources. All laboratory materials (Petri dishes, scalpels, scissors and tweezers) used during the sample processing were also cleaned with filtered purified water before use following previous methods (Bessa et al. 2018; Calderon et al. 2019; Yuan et al. 2019). The samples were analyzed in a laboratory with restricted access to prevent airborne contamination during the entire sampling procedure (visual inspection and digestion of solutions).

Fish samples were cut open with a scalpel and the gastrointestinal tracts (GITs) were immediately placed in clean glassware to minimize the risk of contamination. The hydrogen peroxide (H_2O_2) solution digestion method was conducted as previously described (Jabeen et al. 2017; Pazos et al. 2017) with some modifications. Briefly, each dissected GIT was placed in an Erlenmeyer flask and digested using 30 mL of 30% H_2O_2 (Merck, Germany). The volume of liquid did not exceed 50% of the total volume of the flask. The flasks were then covered with tinfoil and placed in an incubator at 65 °C for 24 h. Three blanks with only 30% H_2O_2 were run for each batch of 20 samples to correct for potential airborne MP deposition in the laboratory (no contamination was found in the blanks during MP extraction). After 24 h of digestion, saturated NaCl solution (density 1.20 g cm^{-3}) was filtered and added into the flasks to separate the MPs by floatation. The mixtures were manually stirred for 2 min and allowed to settle for 12 h at room temperature. The supernatant was then pipetted and filtered through 8 µm Whatman paper.

The filter paper was stored in a glass Petri dish and subsequently observed under a stereomicroscope (Nikon SMZ-2B, Japan). Suspected MPs were photographed and analyzed following previously established criteria (Hidalgo-Ruz et al. 2012; Lusher, McHugh & Thompson 2013; Nor & Obbard 2014). Particles were classified as MP-like if they had the following characteristics: (i) no cellular or organic structures visible, (ii) fibers equally thick throughout the length, (iii) homogeneously colored, (iv) if fibrous, all fibers had 3-dimensional bending and (v) particles were shiny and not matte. The MPs were categorized as fibers, rod-shaped and fragments according to Tanaka and Takada (2016). The number, shape and color of the MPs were recorded.

DATA ANALYSIS

The frequency percentage of MP occurrence within the GITs was calculated using the formula:

$$FO\% = (Ni/N) \times 100$$

where FO% is the frequency of occurrence of MP particles; Ni is the number of GITs containing MPs and N is the total number of GITs examined (Pegado et al. 2018).

Spearman correlation analysis was used to assess possible relations between the number of MPs and body length, weight and Fulton's fish condition index. Statistical tests were only conducted on specimens with MP particles in the GIT and performed using SPSS 28.0.1.0. Statistical tests were considered significant at P value < 0.05.

ETHICS APPROVAL

Fieldwork, including collection of fishes in the field and specimen preparation in the laboratory, were managed according to the guidelines approved by the Institute of Animals for Scientific Purposes Development (IAD), National Research Council of Thailand, and the relevant document (no. U1-03137-2559) was approved by the committee. The guidelines for animal care and use of animals for research, testing, biological production and teaching in the kingdom of Thailand were used according to the Animals for Scientific Purposes Act 2015. This study complied with all the relevant national regulations and institutional policies for the humane care and use of animals.

RESULTS

A total of 100 fish specimens were collected and classified into 8 families, 11 genera, 15 species and four feeding habits as carnivore, detritivore, omnivore and zooplanktivore (Table 1). Body length averaged 12.1±3.97 (6.0-24.0) cm, with average body weight 46.96±31.90 (8.96-163.35) g. Fulton's condition index ranged from 1.25 to 5.06 (average 2.73).

Numbers of MPs in fish GITs were analyzed and are listed in Table 2. Overall, 21.0% (21/100) fish retained MPs, with 25 MPs removed from the 7 fish species *Trichopodus microlepis*, *Oreochromis niloticus*, *Cyclocheilichthys armatus*, *Gymnostomus siamensis*, *Labiobarbus siamensis*, *Oxyeleotris marmorata*, and *Pristolepis fasciatus* that each contained at least one MP. The percentage of occurrence of fish species with MPs ranged from 15.79 to 100, while MPs/fish ranged from 1.0 to 2.0. Among the 7 different species, *L. siamensis* recorded the highest MP prevalence (FO% = 100) followed by *C. armatus* (FO% = 50.0), *G. siamensis* (FO% = 28.57), *P. fasciatus* (FO% = 27.27), *Or. niloticus* and *Ox. marmorata* (FO% = 25.00) and *T. microlepis* (FO% = 15.79). No fish was found with more than four MPs in the GIT tract. Proportions of fish with different amounts of MPs in the GIT are shown in Figure 2(A).

TABLE 1. Information regarding the fish species collected from the Nong Luang Wetland

Family	Fish species	Habitat	Feeding habit	n[a]	Weight (g)	Length (cm)	F[b]
					Mean±SD	Mean±SD	
Osphronemidae	*Trichopodus microlepis*	Pelagic-benthic	Zooplanktivore	19	17.36±5.33	8.4±1.05	2.93
	Trichopodus tricopterus	Pelagic-benthic	Zooplanktivore	2	12.50±3.54	8.6±0.71	1.97
Clariidae	*Clarias batrachus*	Benthic	Carnivore	1	126.00	20.9	1.38
Cichlidae	*Oreochromis niloticus*	Pelagic-benthic	Omnivore	12	30.25±5.65	8.9±0.37	4.29
	Cyclocheilichthys lagleri	Pelagic-benthic	Zooplanktivore	2	43.00±11.31	10.0±0.42	4.30
	Cyclocheilichthys armatus	Pelagic-benthic	Zooplanktivore	2	39.5±0.71	12.3±1.20	2.12
	Cyclocheilichthys repasson	Pelagic-benthic	Omnivore	1	29.00	10.9	2.24
Cyprinidae	*Gymnostomus siamensis*	Midwater	Omnivore	7	63.85±12.62	13.2±0.77	2.78
	Gymnostomus lineatus	Midwater	Omnivore	1	28.00	9.8	2.97
	Labiobarbus siamensis	Benthic	Detritivore	1	35.00	12.3	1.88
	Mystacoleucus obtusirostris	Midwater-benthic	Omnivore	1	25.00	9.6	2.83
Bagridae	*Mystus albolineatus*	Benthic	Carnivore	2	60.00±7.07	14.8±0.25	1.85
Butidae	*Oxyeleotris marmorata*	Benthic	Carnivore	32	72.84±64.35	13.3±3.44	3.10
Pristolepididae	*Pristolepis fasciatus*	Benthic	Omnivore	11	24.00±22.62	7.8±1.82	5.06
Notopteridae	*Notopterus notopterus*	Pelagic-benthic	Carnivore	6	98.17±65.18	19.9±4.11	1.25
Total				100	46.96±31.90	12.1±3.97	2.73

[a] Total number of fishes, [b] Fulton's condition index

Most fish contained one MP, and only one species of fish (*Ox. marmorata*) contained three or more MPs in the GIT. MPs ingested by the fish samples varied from 1 to 4 particles per fish, with an average of 1.19±0.68. Correlation analysis showed no significant association ($P > 0.05$) between the number of MPs and the body length, weight and Fulton's condition index.

The most common MP morphotype was fiber, followed by rod-shaped and fragment, accounting for 92.0%, 4.0% and 4.0% of the total, respectively (Table 2 and Figure 3). The proportion of MP types varied with fish species although fibers were dominant in all species. The percentage of fiber reached 100% in most of the fishes (Figure 2(B)), except for *T. microlepis* and *P. fasciatus* where fibers accounted for 66.7% of recovere MPs. Rod-shaped MPs were only found in *P. fasciatus* accounting for 33.3% of the total number of items i this species, while MP fragments were only found in *T. microlepis* at 33.3%.

Colored MPs accounted for 85% of the tota recorded in the Nong Luang Wetland. Five MP color were found in the GITs as black, green, red, blue an transparent. Color distribution of ingested MPs wa generally uniform across all fish species analyzed, wit blue as the most prominent (39%) followed by red (23%) black (15%) and transparent (15%), while green was les frequent (8%). The variety of colored MPs was highe in Ox. marmorata (Figure 2(C)).

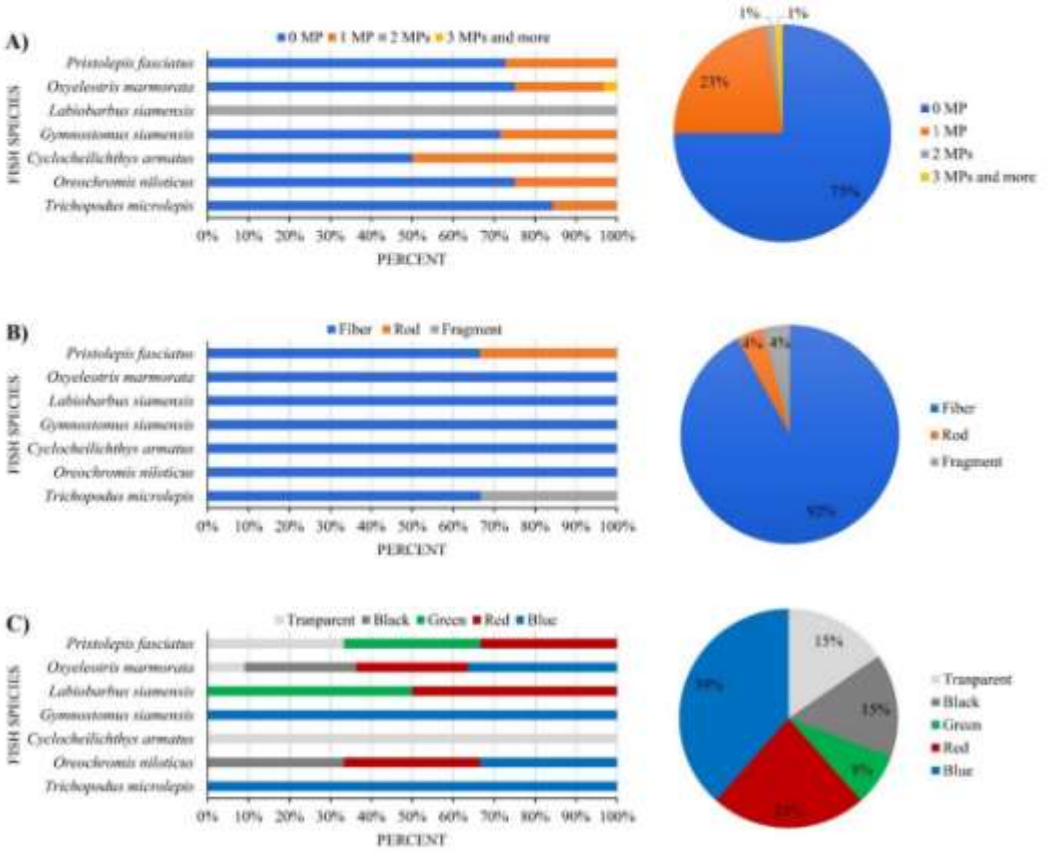


FIGURE 2. Composition of microplastics by number (A), type (B) and, color (C) in the gastrointestinal tract of fishes from Nong Luang Wetland

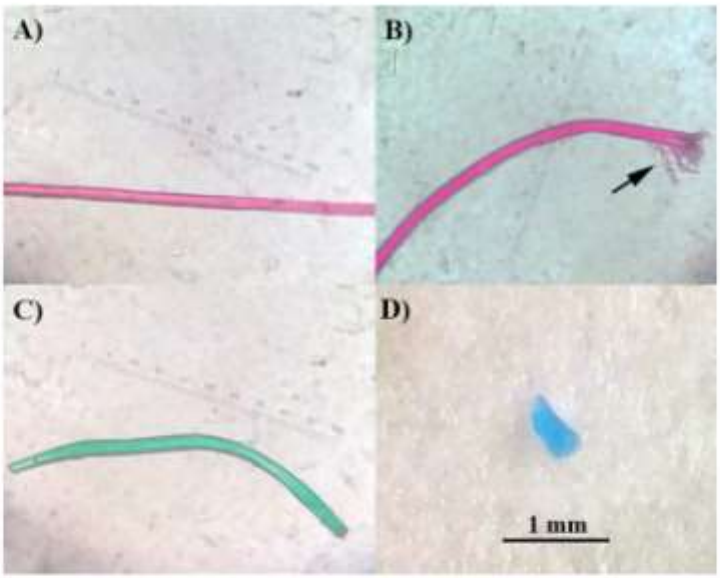


FIGURE 3. Examples of microplastics found in the gastrointestinal tract of fish: A-B) fibers are isolated from filter paper exhibiting fraying (arrows), C) rod-shape, and D) fragment. (A-C, compound microscope, 10x magnification; scale bar represents 2.5 mm)

DISCUSSION

Nong Luang Wetland plays an important role as an ecologically connected network comprising wildlife and supports the livelihoods of the local people. The area has been designated as a wetland of international importance. This study contributed new knowledge as baseline data on the ingestion of MPs by freshwater fish in the Nong Luang Wetland by providing an initial snapshot of MP pollution levels as the first evidence of MP ingestion by freshwater fishes in a Thai wetland area. Investigations of MP ingestion by freshwater fishes are limited compared to similar studies of marine fishes. Recent studies conducted in Thai river and reservoir systems showed that the fishes have MPs in their GITs (72.9% and 96.4%, respectively) (Kasamesiri & Thaimuangphol 2020; Kasamesiri et al. 2021). Here, 21.0% of fish were found with MPs, while the number of MPs recovered per fish varied from 1 to 4 (overall average of 1.19±0.68 particles per fish), indicating a relatively low prevalence of MPs in freshwater fishes from this wetland. Comparisons of MP abundances recorded in the literature must allow for diverse sampling, sample preparation, extraction, purification, identification and quantification methodologies (Hidalgo-Ruz et al. 2012; Li, Liu & Chen 2018; Mai et al. 2018; Wang & Wang 2018). Previous studies using similar units for quantifying MPs in freshwater fish compared with our results indicated that the Nong Luang Wetland contained fewer MPs than the Taihu Lake, China (95.7%) (Jabeen et al. 2017), freshwater fish (*Hoplosternum littorale*) in the Pajeú River, Brazil (83.0%) (Silva-Cavalcanti et al. 2017) and in the Widawa River, Poland (53.9-54.5%) (Kuśmierek & Popiołek 2020), with comparable results to freshwater fishes of Southwestern Germany (18.8%) (Roch et al. 2019) and the common noxious fish (*Gambusia holbrooki*) in Australian urban wetlands (19.4%) (Su et al. 2019). In our study, the percentage occurrence of MPs in each species ranged between 15.79% and 100%, with the highest in *L. siamensis*. However, it was difficult to conclude a general trend of MPs in fish due to the small number of samples. Further evaluations require a larger sample size. Low intensity of MPs was detected at 1 to 4 particles per fish, concurring with Roch et al. (2019) who found low intensity of ingested MPs ranging between 1 and 4 particles per fish in Southwestern Germany. Similar results were also recorded in other freshwater systems (Jabeen et al. 2017; Kasamesiri & Thaimuangphol 2020; Silva-Cavalcanti et al. 2017).

TABLE 2. Amount and type composition of microplastics in the gastrointestinal tract of fish species from Nong Luang Wetland

Family	Fish species	FO%	MP/ all fish	MP/ fish with MP	Fiber (%)	Rod-shape (%)	Fragment (%)
Osphronemidae	*Trichopodus microlepis*	15.79	0.16	1.00	66.7	0	33.3
	Trichopodus tricopterus	0	0	0	0	0	0
Clariidae	*Clarias batrachus*	0	0	0	0	0	0
Cichlidae	*Oreochromis niloticus*	25.00	0.25	1.00	100	0	0
	Cyclocheilichthys lagleri	0	0	0	0	0	0
	Cyclocheilichthys armatus	50.00	0.50	1.0	100	0	0
	Cyclocheilichthys repassan	0	0	0	0	0	0
Cyprinidae	*Gymnostomus siamensis*	28.57	0.29	1.00	100	0	0
	Gymnostomus lineatus	0	0	0	0	0	0
	Labiobarbus siamensis	100.00	2.00	2.00	100	0	0
	Mystacoleucus obtusirostris	0	0	0	0	0	0
Bagridae	*Mystus albolineatus*	0	0	0	0	0	0
Butidae	*Oxyeleotris marmorata*	25.00	0.34	1.38	100	0	0
Pristolepididae	*Pristolepis fasciatus*	27.27	0.27	1.00	66.7	33.3	0
Notopteridae	*Notopterus notopterus*	0	0	0	0	0	0
Total		21.0	0.25	1.19	92.0	4.0	4.0

Nong Luang Wetland is a well-renowned area with developed agriculture, aquaculture and animal husbandry (Masa 2015; ONEP 2004; Panboon, Soebeen & Sukkasem 2017). The MPs observed in this study indicated that key environmental pressures from anthropogenic activities are now influencing MP distribution (Kumar, Sharma & Bandyopadhyay 2021; Vendel et al. 2017). Global studies showed that effluent discharge and urbanization increased the accumulation of MPs within environments and resident organisms (Du et al. 2020; Duis & Coors 2016; Li, Liu & Chen 2018; Wagner et al. 2014). Communities living around the Nong Luang Wetland have no wastewater treatment plant. Wastewater originating from the surrounding rural non-point sources discharges into river networks and wetlands without treatment, contributing plastics as MPs in the aquatic environment (Yuan et al. 2019). Thus, sewage wastewater discharges were considered as one source of contamination. MPs in wetlands are transported by surface runoff and associated with diffuse urban pollution sources, while recreational activities in urban wetlands increase the risk of MP pollution via unmanaged waste disposal and recreational fishing (Su et al. 2019).

Aquacultural activities also increase MP pollution. Poor waste management practices such as illegal waste accumulation and waste burning were observed in the wetland. MP concentrations in freshwater wetlands vary with space and time (Rodrigues et al. 2018; Stanton et al. 2020). Eriksen et al. (2013) concluded that the abundance of MPs in wetlands depended upon various vital factors including investigated locations, approaches, and human interference, while Meng, Kelly and Wright (2020) considered that flow regimes, freshwater topography and extent of biofouling determined microplastic transport at spatial scales, together with anthropogenic activities.

In our study, the correlation between the number of ingested MPs, fish length and fish weight was positive but weak, with no significant correlation observed between fish length and weight and number of MPs in GITs. Correlations between these attributes depend on fish species and feeding habits, fish trophic level, sample size and MP characteristics (Mai et al. 2018; Yuan et al. 2019). Our small sample size negatively impacted meaningful factor correlations and this aspect requires further evaluation with larger sample sizes and individuals from different size classes according to the scientific literature in freshwater habitats (Mai et al. 2018; Possatto et al. 2011). Previous studies confirmed that factors determining the levels of MPs ingested by fish are still not well understood; however, even small amounts of MP ingestion seriously impact fish health (Anbumani & Kakkar 2018; Du et al. 2020; Li, Liu & Chen 2018; Wagner et al. 2014).

Three MP morphotypes were presented in fish GITs as fiber, rod-shaped and fragment, concurring with previous studies (Jabeen et al. 2017; Kasamesiri & Thaimuangphol 2020; Kasamesiri et al. 2021; Pazos et al. 2017; Sun et al. 2019). Fibers were the dominant category of MPs ingested by fish from the Nong Luang Wetland at 92.0% of the total occurrence, similar to results in most field studies of MP ingestion in freshwater fishes (Andrade et al. 2019; Campbell, Williamson & Hall 2017; Collard et al. 2018; Horton et al. 2018; Jabeen et al. 2017; Kasamesiri & Thaimuangphol 2020; Kasamesiri et al. 2021; McGoran, Clark & Morritt 2017; McNeish et al. 2018; Silva-Cavalcanti et al. 2017; Sun et al. 2019). The dominance of fibers as the MP type originated from the peeling of plastic fishing gear, fish cages or nylon ropes and other equipment used in aquaculture (Cole et al. 2011; Kasamesiri & Thaimuangphol 2020; Kasamesiri et al. 2021; Welden & Cowie 2017). Domestic sewage containing fibers from laundry was also an important source of fibers (Browne et al. 2011). Lusher, McHugh and Thompson (2013) concluded that rayon made up over half of the polymers identified, with possible sources as clothing, furnishing, hygiene products and nappies as indirect input through sewage. In the same vein, Wagner et al. (2014) suggested that urban areas near water bodies are potential sources of MPs, while Jabeen et al. (2017) considered freshwater systems and estuaries (transitional systems) as potentially more prone to fiber contamination than the marine environment because these systems are closely located to potential fiber point source discharges.

Fibers observed in fish GITs in the Nong Luang Wetland varied in color, with the highest variety found in *Ox. marmorata*. Blue fibers were the most abundant followed by red, black, transparent and green. Previous studies also reported blue as the most abundant fiber color (Bessa et al. 2018; Kasamesiri & Thaimuangphol 2020; Kasamesiri et al. 2021; Lucas-Solis et al. 2021; Lusher, McHugh & Thompson 2013). The Nong Luang Wetland is an important fishery resource with abundant fishing activities. Local fisherman usually use transparent or black gillnets to catch fish, while blue fiber fish cages are used in aquaculture, with blue plastic materials used in fishing gear (nets, traps and lines) as sources of blue fibers ingested by fishes in this wetland. Blue fibers are also commonly found in freshwater systems affected by sewage spillage (Leads & Weinstein 2019). In our study, MP type and color

played no relevant role, implying passive uptake. The distribution of MPs and color varied between habitats and feeding habits, with no evidence of active uptake. More detailed research is required to evaluate potential uptake pathways. Some previous studies hypothesized that the color of MPs and resemblance of MPs to food may contribute to the likelihood of MP ingestion in fishes as a result of visual confusion between prey (Alomar et al. 2017). Ory et al. (2017), Savoca et al. (2017), and Selleslagh and Amara (2015) highlighted that various fish species consider everything as potential prey, including MPs being mistaken as a food source.

In conclusion, our study sheds light on the occurrence of various microplastic morphotypes in fish GITs from the Nong Luang Wetland, with fibers being the most dominant type. While color variations were observed in the fibers, they did not significantly influence the uptake process. We recognize the limitations of our study, particularly the absence of microFTIR analysis, and propose future research to employ advanced analytical techniques, such as microFTIR, to enhance the accuracy and reliability of microplastic identification (Lin, Chiu & Kuo 2023, 2022).

Conclusions

This is the first report detailing MP ingestion by freshwater fishes from a wetland in Thailand. Results showed that MP pollution was relatively low compared to other investigated areas. MPs were ingested by freshwater fishes, indicating that this emerging pollutant is ubiquitous in the Nong Luang Wetland. The main MP type as fiber was found in the GITs of 7 fish species. Color compositions of MPs ingested by fish were diverse, with blue being the most abundant. MP types indicated their origin as mainly from fishing gear, such as nets and synthetic fibers from clothing. Wetlands provide for human livelihoods, and MP ingestion by biota that negatively impacts food webs must be investigated to maintain both structures and functions of wetland ecosystems. More attention must be paid to wetland pollution and other biological toxic hazards impacting aquatic animals and humans. The Thai Government should improve waste management facilities and monitor aquacultural activities in wetland areas. Data presented here provide a meaningful reference as the baseline pollution level for future MP research in the Nong Luang Wetland.

Acknowledgements

This study was financially supported by Chiang Rai Rajabhat University (Grant No. B26404267). The authors acknowledge the Environmental Science and Technology Program and Biological Science Program, Faculty of Science and Technology, Chiang Rai Rajabhat University for providing the research facilities. We would like to thank Mr. Peter Charge for English proofreading.

References

Ajith, N., Arumugam, S., Parthasarathy, S., Manupoori, S. & Janakiraman, S. 2020. Global distribution of microplastics and its impact on marine environment - A review. *Environmental Science and Pollution Research* 27(21): 25970-25986.

Alomar, C., Sureda, A., Capo, X., Guijarro, B., Tejada, S. & Deudero, S. 2017. Microplastic ingestion by *Mullus surmuletus* Linnaeus, 1758 fish and its potential for causing oxidative stress. *Environmental Research* 159: 135-142.

Anbumani, S. & Kakkar, P. 2018. Ecotoxicological effects of microplastics on biota: A review. *Environmental Science and Pollution Research* 25(15): 14373-14396.

Andrade, M.C., Winemiller, K.O., Barbosa, P.S., Fortunati, A., Chelazzi, D., Cincinelli, A. & Giarrizzo, T. 2019. First account of plastic pollution impacting freshwater fishes in the Amazon: Ingestion of plastic debris by piranhas and other serrasalmids with diverse feeding habits. *Environmental Pollution* 244: 766-773.

Andrady, A.L. & Neal, M.A. 2009. Applications and societal benefits of plastics. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 364(1526): 1977-1984.

Bakir, A., Rowland, S.J. & Thompson, R.C. 2013. Enhanced desorption of persistent organic pollutants from microplastics under simulated physiological conditions. *Environmental Pollution* 185: 16-23.

Bakir, A., Rowland, S.J. & Thompson, R.C. 2012. Competitive sorption of persistent organic pollutants onto microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin* 64(12): 2782-2789.

Bessa, F., Barría, P., Neto, J.M., Frias, J.P., Otero, V., Sobral, P. & Marques, J.C. 2018. Occurrence of microplastics in commercial fish from a natural estuarine environment. *Marine Pollution Bulletin* 128: 575-584.

Browne, M.A., Crump, P., Niven, S.J., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T. & Thompson, R.C. 2011. Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: Sources and sinks. *Environmental Science and Technology* 45(21): 9175-9179.

Calderon, E.A., Hansen, P., Rodríguez, A., Blettler, M.C.M., Syberg, K. & Khan, F.R. 2019. Microplastics in the digestive tracts of four fish species from the Ciénaga Grande de Santa Marta estuary in Colombia. *Water, Air, and Soil Pollution* 230(257): 1-9.

Campbell, S.H., Williamson, P.R. & Hall, B.D. 2017. Microplastics in the gastrointestinal tracts of fish and the water from an urban prairie creek. *FACETS* 2: 395-409.

Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C. & Galloway, T.S. 2011. Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Marine Pollution Bulletin* 62(12): 2588-2597.

Collard, F., Gasperi, J., Gilbert, B., Eppe, G., Azimi, S., Rocher, V. & Tassin, B. 2018. Anthropogenic particles in the stomach contents and liver of the freshwater fish *Squalius cephalus*. *Science of the Total Environment* 643: 1257-1264.

Du, J., Xu, S., Zhou, Q., Li, H., Fu, L., Tang, J., Wang, Y., Peng, X., Xu, Y. & Du, X. 2020. A review of microplastics in the aquatic environmental: Distribution, transport, ecotoxicology, and toxicological mechanisms. *Environmental Science and Pollution Research* 27(11): 11494-11505.

Duis, K. & Coors, A. 2016. Microplastics in the aquatic and terrestrial environment: Sources (with a specific focus on personal care products), fate and effects. *Environmental Sciences Europe* 28(1): 2.

Elkhatib, D. & Oyanedel-Craver, V. 2020. A critical review of extraction and identification methods of microplastics in wastewater and drinking water. *Environmental Science and Technology* 54(12): 7037-7049.

Eriksen, M., Mason, S., Wilson, S., Box, C., Zellers, A., Edwards, W., Farley, H. & Amato, S. 2013. Microplastic pollution in the surface waters of the Laurentian Great Lakes. *Marine Pollution Bulletin* 77(1-2): 177-182.

Foley, C.J., Feiner, Z.S., Malinich, T.D. & Höök, T.O. 2018. A meta-analysis of the effects of exposure to microplastics on fish and aquatic invertebrates. *Science of the Total Environment* 631-632: 550-559.

Ha, J. & Yeo, M.K. 2018. The environmental effects of microplastics on aquatic ecosystems. *Molecular and Cellular Toxicology* 14: 353-359.

Hammer, J., Kraak, M.H.S. & Parsons, J.R. 2012. Plastics in the marine environment: The dark side of a modern gift. In *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, edited by Whitacre, D.M. New York: Springer. pp. 1-44.

Hidalgo-Ruz, V., Gutow, L., Thompson, R.C. & Thiel, M. 2012. Microplastics in the marine environment: A review of the methods used for identification and quantification. *Science of the Total Environment* 46(6): 3060-3075.

Horton, A.A., Walton, A., Spurgeon, D.J., Lahive, E. & Svendsen, C. 2017. Microplastics in freshwater and terrestrial environments: Evaluating the current understanding to identify the knowledge gaps and future research priorities. *Science of the Total Environment* 586: 127-141.

Horton, A.A., Jürgens, M.D., Lahive, E., van Bodegom, P.M. & Vijver, M.G. 2018. The influence of exposure and physiology on microplastic ingestion by the freshwater fish *Rutilus rutilus* (roach) in the River Thames, UK. *Environmental Pollution* 236: 188-194.

Jabeen, K., Su, L., Li, J., Yang, D., Tong, C. & Mu, J. 2017. Microplastics and mesoplastics in fish from coastal and fresh waters of China. *Environmental Pollution* 221: 141-149.

Kasamesiri, P. & Thaimuangphol, W. 2020. Microplastic ingestion by freshwater fish in the Chi River, Thailand. *International Journal of GEOMATE* 18(67): 114-119.

Kasamesiri, P., Meksumpun, C., Meksumpun, S. & Ruengsorn, C. 2021. Assessment on microplastics contamination in freshwater fish: A case study of the Ubolratana Reservoir, Thailand. *International Journal of GEOMATE* 20(77): 62-68.

Kumar, R., Sharma, P. & Bandyopadhyay, S. 2021. Evidence of microplastics in wetlands: Extraction and quantification in freshwater and coastal ecosystems. *Journal of Water Process Engineering* 40: 101966.

Kuśmierek, N. & Popiołek, M. 2020. Microplastics in freshwater fish from Central European lowland river (Widawa R., SW Poland). *Environmental Science and Pollution Research* 27(10): 11438-11442.

Law, K.L. & Thompson, R.C. 2014. Microplastics in the seas. *Science* 345(6193): 144-145.

Leads, R.R. & Weinstein, J.E. 2019. Occurrence of tire wear particles and other microplastics within the tributaries of the Charleston Harbor Estuary, South Carolina, USA. *Marine Pollution Bulletin* 145: 569-582.

Li, J., Liu, H. & Chen, J.P. 2018. Microplastics in freshwater systems: A review on occurrence, environmental effects, and methods for microplastics detection. *Water Research* 137: 362-374.

Lin, C-T., Chiu, M-C. & Kuo, M-H. 2023. Seasonality can override the effects of anthropogenic activities on microplastic presence in invertebrate deposit feeders in an urban river system. *Journal of Hazard Materials* 443(Pt B): 130272.

Lin, C-T., Chiu, M-C. & Kuo, M-H. 2022. A mini-review of strategies for quantifying anthropogenic activities in microplastic studies in aquatic environments. *Polymers* 14(1): 198.

Lucas-Solis, O., Moulatlet, G.M., Guamangallo, J., Yacelga, N., Villegas, L., Galarza, E., Rosero, B., Zurita, B., Sabando, L., Cabrera, M., Gimiliani, G.T. & Capparelli, M.V. 2021. Preliminary assessment of plastic litter and microplastic contamination in freshwater depositional areas: The case study of Puerto Misahualli, Ecuadorian Amazonia. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 107(1): 45-51.

Lusher, A.L., McHugh, M. & Thompson, R.C. 2013. Occurrence of microplastics in the gastrointestinal tract of pelagic and demersal fish from the English Channel. *Marine Pollution Bulletin* 67(1-2): 94-99.

Mai, L., Bao, L., Shi, L., Wong, C.S. & Zeng, E.Y. 2018. A review of methods for measuring microplastics in aquatic environments. *Environmental Science and Pollution Research* 25(12): 11319-11332.

Masa, W. 2015. Biodiversity of aquatic animals management in Nong Luang under the geosocial-based, Bann Samanmit, Donsila Sub-district, Wiang Chai District, Chiang Rai Province. M.Sc. Thesis, Maejo University (Unpublished).

McDevitt, J.P., Criddle, C.S., Morse, M., Hale, R.C., Bott, C.B. & Rochman, C.M. 2017. Addressing the issue of microplastics in the wake of the microbead-free waters act - A new standard can facilitate improved policy. *Environmental Science and Technology* 51(12): 6611-6617.

McGoran, A.R., Clark, P.F. & Morritt, D. 2017. Presence of microplastic in the digestive tracts of European flounder, *Platichthys flesus*, and European smelt, *Osmerus eperlanus*, from the River Thames. *Environmental Pollution* 220(Part A): 744-751.

McNeish, R.E., Kim, L.H., Barrett, H.A., Mason, S.A., Kelly, J.J. & Hoellein, T.J. 2018. Microplastic in riverine fish is connected to species traits. *Scientific Reports* 8(1): 11639.

Meng, Y., Kelly, F.J. & Wright, S.L. 2020. Advances and challenges of microplastic pollution in freshwater ecosystems: A UK perspective. *Environmental Pollution* 256: 113445.

Mitsch, W.J., Bernal, B. & Hernandez, M.E. 2015. Ecosystem services of wetlands. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services and Management* 11(1): 1-4.

Nash, R., Valencia, A.H. & Geffen, A. 2006. The origin of Fulton's condition factor: Setting the record straight. *Fisheries* 31: 236-238.

Nor, N.H.M. & Obbard, J.P. 2014. Microplastics in Singapore's coastal mangrove ecosystems. *Marine Pollution Bulletin* 79(1-2): 278-283.

ONEP. 2004. *Nong Bong Kai Strategic Wetland Management Plan*. Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning, Bangkok, Thailand.

Ory, N.C., Sobral, P., Ferreira, J.L. & Thiel, M. 2017. *Amberstripe scad, Decapterus muroadsi* (Carangidae) fish ingest blue microplastics resembling their copepod prey along the coast of Rapa Nui (Easter Island) in the South Pacific subtropical gyre. *Science of the Total Environment* 586: 430-437.

Panboon, K., Soe-been, S. & Sukkasem, T. 2017. *Diversity Fish Community and Gillnets Efficiency of Nong Luang swamp, Chiang Rai Province*. Inland Fisheries Research and Development Division, Department of Fisheries, Ministry of Agriculture and Cooperatives, Thailand.

Pazos, R.S., Maiztegui, T., Colautti, D.C., Paracampo, A.H. & Gómeza, N. 2017. Microplastics in gut contents of coastal freshwater fish from Río de la Plata Estuary. *Marine Pollution Bulletin* 122(1-2): 85-90.

Pegado, T.S.S., Schmid, K., Winemiller, K.O., Chelazzi, D., Cincinelli, A., Dei, L. & Giarrizzo, T. 2018. First evidence of microplastic ingestion by fishes from the Amazon River Estuary. *Marine Pollution Bulletin* 133: 814-821.

Possatto, F.E., Barletta, M., Costa, M.F., do Sul, J.A.I. & Dantas, D.V. 2011. Plastic debris ingestion by marine catfish: An unexpected fisheries impact. *Marine Pollution Bulletin* 62(5): 1098-1102.

Roch, S., Walter, T., Ittner, L.D., Friedrich, C. & Brinker, A. 2019. A systematic study of the microplastic burden in freshwater fishes of south-western Germany - Are we searching at the right scale? *Science of the Total Environment* 689: 1001-1011.

Rochman, C.M. 2018. Microplastics research-from sink to source. *Science* 360(6384): 28-29.

Rodrigues, M., Abrantes, N., Gonçalves, F., Nogueira, H., Marques, J. & Gonçalves, A. 2018. Spatial and temporal distribution of microplastics in water and sediments of a freshwater system (Antuã River, Portugal). *Science of the Total Environment* 633: 1549-1559.

Savoca, M.S., Tyson, C.W., McGill, M. & Slager, C.J. 2017. Odours from marine plastic debris induce food search behaviors in a forage fish. *Proceedings of Royal Society of Behaviors* 284(1860): 20171000.

Scholte, S.S.K., Todorova, M., van Teeffelen, A.J.A. & Verburg, P.H. 2016. Public support for wetland restoration: What is the link with ecosystem service values? *Wetlands* 36: 467-481.

Selleslagh, J. & Amara, R. 2015. Are estuarine fish opportunistic feeders? The case of a low anthropized nursery ground (the Canche estuary, France). *Estuary and Coasts* 38: 252-267.

Silva-Cavalcanti, J.S., Silva, J.D.B., França, E.J., Araújo, M.C.B. & Gusmão, F. 2017. Microplastics ingestion by a common tropical freshwater fishing resource. *Environmental Pollution* 221: 218-226.

Stanton, T., Johnson, M., Nathanail, P., MacNaughtan, W. & Gomes, R.L. 2020. Freshwater microplastic concentrations vary through both space and time. *Environmental Pollution* 263(Part B): 114481.

Su, L., Nan, B., Hassell, K.L., Craig, N.J. & Pettigrove, V. 2019. Microplastics biomonitoring in Australian urban wetlands using a common noxious fish (*Gambusia holbrooki*). *Chemosphere* 228: 65-74.

Sun, X., Li, Q., Shi, Y., Zhao, Y., Zheng, S., Liang, J., Liu, T. & Tian, Z. 2019. Characteristics and retention of microplastics in the digestive tracts of fish from the Yellow Sea. *Environmental Pollution* 249: 878-885.

Tanaka, K. & Takada, H. 2016. Microplastic fragments and microbeads in digestive tracts of planktivorous fish from urban coastal waters. *Scientific Reports* 6: 34351.

TISTR. 2011. *The Status of Wetlands in Thailand: Inland Wetlands*. Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning, Bangkok, Thailand.

Thompson, R.C., Moore, C.J., vom Saal, F.S. & Swan, S.H. 2009. Plastics, the environment and human health: Current consensus and future trends. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 364(1526): 2153-2166.

UNEP. 2018. *Single-Use Plastics: A Roadmap for Sustainability (rev. 2)*.

Vendel, A.L., Bessa, F., Alves, V.E.N., Amorim, A.L.A., Patrício, J. & Palma, A.R.T. 2017. Widespread microplastic ingestion by fish assemblages in tropical estuaries subjected to anthropogenic pressures. *Marine Pollution Bulletin* 117(1-2): 448-455.

Wang, W.F. & Wang, J. 2018. Investigation of microplastics in aquatic environments: An overview of the methods used, from field sampling to laboratory analysis. *TrAC Trends in Analytical Chemistry* 108: 195-202.

Wagner, M., Scherer, C., Alvarez-Muñoz, D., Brennholt, N., Bourrain, X., Buchinger, S., Fries, E., Grosbois, C., Klasmeier, J., Marti, T., Rodriguez-Mozaz, S., Urbatzka, R., Vethaak, A.D., Winther-Nielsen, M. & Reifferscheid, G. 2014. Microplastics in freshwater ecosystems: What we know and what we need to know. *Environmental Sciences Europe* 26(1): 12.

Welden, N.A. & Cowie, P.R. 2017. Degradation of common polymer ropes in a sublittoral marine environment. *Marine Pollution Bulletin* 118(1-2): 248-253.

Yu, Y., Zhou, D., Li, Z. & Zhu, C. 2018. Advancement and challenges of microplastic pollution in the aquatic environment: a review. *Water, Air, and Soil Pollution* 229(140): 1-18.

Yuan, W., Liu, X., Wang, W., Di, M. & Wang, J. 2019. Microplastic abundance, distribution and composition in water, sediments, and wild fish from Poyang Lake, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 170: 80-187.

*Corresponding author; email: kittichai.cha@crru.ac.th

วารสารวิชาการการพัฒนาท้องถิ่น วิทยาลัยชุมชนพังงา | 1
ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 (มกราคม - เมษายน 2567)

ยุทธศาสตร์การพัฒนาภูมิภาค

Regional Development Strategy

วิกรม บุญนุ่น[1] ลัทธพล มุ่งไธสง[2] อารี บินประทาน[3]

Vikrom Boonnun[1] Latthaphon Mungthaisong[2] Aree Binprathan[3]

Received : 17 April 2024 , Revised : 22 April 2024 , Accepted : 27 April 2024

บทคัดย่อ

คำว่า ยุทธศาสตร์การพัฒนา มาจากคำว่า ยุทธศาสตร์ อันหมายถึง ความสามารถในการนำพาสารัตถะไปสู่เป้าหมายที่วางไว้ ส่วนคำว่า การพัฒนา หมายถึง การทำให้ดีขึ้น เพราะฉะนั้น เมื่อนำมาผสมกัน จึงหมายถึง ความสามารถในการนำพาสิ่งนั้นๆ หรือความสำคัญนั้นๆ(สารัตถะ)ไปสู่สิ่งที่ดีขึ้น ส่วนยุทธศาสตร์การพัฒนาภูมิภาค หมายถึง กระบวนการของการพัฒนาเชิงพื้นของผู้ที่เกี่ยวข้องและการใช้สาระของยุทธศาสตร์ กับคำว่า ภูมิภาค เป็นกระบวนการนำยุทธศาสตร์การพัฒนาอนุภูมิภาคลุ่มน้ำโขง หรือยุทธศาสตร์การพัฒนาพื้นที่ภาคใต้ หรือยุทธศาสตร์การพัฒนาเขตเศรษฐกิจพิเศษพื้นที่ต่างๆ หรือกรอบความร่วมมือเชิงพื้นที่ หรือระเบียงเศรษฐกิจพิเศษ หรือเป็นประเด็นการพัฒนาพื้นที่นั้นๆเพื่อนำไปสู่ชการพัฒนาความเป็นอยู่ของประชาชน สังคม ชุมชน และประเทศชาติให้ดีขึ้น เป็นต้น ฉะนั้น การให้ความสำคัญกับยุทธศาสตร์เชิงพื้นที่โดยการนิยามคำว่า ภูมิภาค เข้าไปถือเป็นสาระที่น่าสนใจ

ดังนั้น เมื่อมีการให้ความสำคัญกับยุทธศาสตร์การพัฒนาภูมิภาค สิ่งที่สำคัญมากคือการนำศาสตร์ทางด้านยุทธศาสตร์การพัฒนาภูมิภาคสู่การปฏิบัติเพื่อให้เกิดการพัฒนาให้เห็นเป็นรูปธรรม เพราะฉะนั้น ยุทธศาสตร์การพัฒนาภูมิภาคจึงกลายเป็น ความสามารถของนักยุทธศาสตร์เพื่อการขับเคลื่อน องค์การ สิ่งสำคัญ ตลอดจนประเทศ ไปสู่เป้าหมายที่วางไว้ ตลอดจนลักษณะของยุทธศาสตร์การพัฒนาภูมิภาค คือ เป็นสิ่งที่องค์การต้องดำเนินกิจกรรมที่มีคุณภาพและสื่อให้เห็นถึงความได้เปรียบในการแข่งขัน ชี้ให้เห็นถึงความเป็นเลิศเมื่อมีการดำเนินการ มีการระบุถึงแรงบันดาลใจของผู้ปฏิบัติและขององค์การว่าจะนำไปสู่เป้าหมายใด

คำสำคัญ : ยุทธศาสตร์การพัฒนาภูมิภาค, การพัฒนาเชิงพื้นที่, ยุทธศาสตร์การพัฒนา

Abstract

The word 'development strategy' comes from the word 'strategy' meaning the ability to bring substance to the intended goal and 'development' which means better. Therefore, 'development strategy' means the ability to bring such a thing or the importance (substance) to be in a better position. The term 'regional development strategy' refers to the process of the basic development of those involved and the use of the substance of the strategy with the term 'regional development strategy' such as the Mekong Subregion development strategy, southern area development strategy, various special economic zone development strategies, spatial cooperation frameworks, special economic corridors, or specific area development issues towards the development of the well-being of people, society, communities, and the nation for the better. Therefore, giving importance to spatial strategy by defining the word 'region' is an interesting issue.

Therefore, when giving importance to regional development strategies, the important thing is to put knowledge of regional development strategies into practice to achieve concrete development. Regional development strategy therefore becomes the ability of the strategist to move the organization, issues, and the country towards the set goals. The nature of the regional development strategy requires the organization to implement quality activities that demonstrate competitive advantage, demonstrate excellence when implemented, and identify aspirations of the practitioner in achieving its goals.

Keyword: Regional Development Strategy, Area-based Development, Development Strategy

บทนำ

ยุทธศาสตร์การพัฒนา หรือ Strategy Development เป็นคำศัพท์ที่มีการนำมาใช้ในประเทศไทยตั้งแต่สมัย แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมฉบับที่ 8 ปี พ.ศ.2540-2544 โดยมีเนื้อหาสาระที่เกี่ยวข้องกับการนำยุทธศาสตร์ไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาประเทศไทย นอกจากนั้น ยังมีการกล่าวถึงและกลายเป็นไวรัลของสังคมไทยโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในวงการราชการและเอกชน นอกจากนั้น สิ่งที่สำคัญคือ การนำยุทธศาสตร์การพัฒนาไปใช้มิเพียงแต่ในกลุ่มของการพัฒนาองค์การเท่านั้น แต่ยังหมายรวมถึง การพัฒนาเชิงพื้นที่ ดังนั้น จึงมีการกล่าวถึงคำศัพท์อีกคำนึงขึ้นมาคือ ยุทธศาสตร์การพัฒนาภูมิภาค

ยุทธศาสตร์การพัฒนาภูมิภาค นอกจากจะเป็นศาสตร์สมัยใหม่ที่มีความต่อเนื่องมาจากศาสตร์ของยุทธศาสตร์การพัฒนาซึ่งเป็นศาสตร์การบริหารการพัฒนาแบบคลาสสิค อันเป็นการมุ่งเน้นสาระที่เกี่ยวข้องกับการบริหารการพัฒนาเชิงพื้นที่ทั้งในหน่วยงานภาครัฐและเอกชนแล้วนั้น ยังหมายรวมถึงการจัดการความรู้ตั้งแต่ยุครุ่งเรืองของมหาวิทยาลัยราชภัฏยุคตอนต้น(พ.ศ.2546:ผู้เขียน) โดยในสมัยนั้นหลักสูตรยุทธศาสตร์การพัฒนาเป็นหลักสูตรกลางของมหาวิทยาลัยราชภัฏทั่วประเทศ ส่งผลต่อองค์ความรู้สมัยใหม่ในยุคนั้นให้กับข้าราชการ นักพัฒนา ตลอดจนนักวิชาการมากมาย

ภายหลังจากยุครุ่งเรือง มหาวิทยาลัยราชภัฏทั่วประเทศเริ่มตระหนักรู้ถึงสภาพปัญหาเดียวกันนั่นคือ สภาวะตกต่ำของจำนวนนักศึกษา ทั้งในระดับปริญญาตรี โท เอก กลายเป็นแรงผลักดันให้หลักสูตรของราชภัฏจะต้องมีการปรับตัวให้เร็วยิ่งขึ้น ทั้งในส่วนของการเขียนหลักสูตรใหม่และหลักสูตรเดิมที่มีอยู่ โดยหนึ่งในนั้นคือหลักสูตรยุทธศาสตร์การพัฒนา ซึ่งในหลายมหาวิทยาลัยราชภัฏเริ่มเปลี่ยนหลักสูตรยุทธศาสตร์การพัฒนาจากยุคคลาสสิคมาเป็นยุคสมัยใหม่ เป็นการให้ความสำคัญกับการบริหารเชิงพื้นที่มากยิ่งขึ้น จากชื่อยุทธศาสตร์การพัฒนา กลายเป็นยุทธศาสตร์การพัฒนาภูมิภาคในปัจจุบัน

กลับมาที่คำว่า “ยุทธศาสตร์การพัฒนาภูมิภาค” เมื่อกล่าวถึงคำ ๆ นี้ ในปัจจุบัน มิใช่สาระของระบบการเมืองการปกครองมากนัก แต่เป็นกระบวนการของการพัฒนาเชิงพื้นของผู้ที่เกี่ยวข้องและการใช้สาระของยุทธศาสตร์ กับคำว่า ภูมิภาค เป็นกระบวนการนำ เช่น ยุทธศาสตร์การพัฒนาอนุภูมิภาคลุ่มน้ำโขง ยุทธศาสตร์การพัฒนาพื้นที่ภาคใต้ ยุทธศาสตร์การพัฒนาเขตเศรษฐกิจพิเศษพื้นที่ต่างๆ หรือกรอบความร่วมมือเชิงพื้นที่เป็นต้น ฉะนั้น การให้ความสำคัญกับยุทธศาสตร์เชิงพื้นที่โดยการนิยามคำว่า ภูมิภาค เข้าไปถือเป็นสาระที่น่าสนใจ

ดังนั้น เมื่อมีการให้ความสำคัญกับยุทธศาสตร์การพัฒนาภูมิภาค สิ่งที่สำคัญมากคือการนำศาสตร์ทางด้านยุทธศาสตร์การพัฒนาภูมิภาคสู่การปฏิบัติเพื่อให้เกิดการพัฒนาให้เห็นเป็นรูปธรรม

แต่จะอย่างไรก็ตาม ศาสตร์ทางด้านยุทธศาสตร์การพัฒนาภูมิภาค ถึงจะไม่ใช่ศาสตร์ใหม่ แต่ก็ยังเป็นศาสตร์ที่ยังไม่มีผู้รู้อย่างถ่องแท้มากมายนัก ดังกรณีของผลการดำเนินกิจกรรมของหน่วยงานภาครัฐที่ไม่เกิดมรรคผลมากมายดังกรณีปัจจุบัน ขณะเดียวกัน ยุทธศาสตร์การพัฒนาภูมิภาค มิใช่ศาสตร์ที่มีความเหมือนกับศาสตร์ทางด้านกลยุทธ์องค์การดังกรณีของ Porter, Michael หรือนักวิชาการท่านอื่นๆของโลกใบนี้ที่มีการกล่าวถึงอยู่ตลอดเวลาโดยเป็นการให้ความสำคัญกับความสามารถทางด้านต้นทุน และหรือการเป็นผู้นำหรือการสร้างความแตกต่างของผลิตภัณฑ์เพียงอย่างเดียวเท่านั้น แต่ยุทธศาสตร์การพัฒนาภูมิภาค เป็นภาระความหมายที่เกี่ยวข้องกับวิสัยทัศน์ของผู้นำ ผู้บริหารในพื้นที่ ซึ่งมีมิติความรับผิดชอบที่กว้างใหญ่กว่าองค์การ เพราะฉะนั้น การทำความเข้าใจกับยุทธศาสตร์การพัฒนาภูมิภาค ตลอดจนความหมาย ความสำคัญและลักษณะจะช่วยส่งเสริมให้ผู้ที่เกี่ยวข้องอยู่ภายใต้ฐานแห่งความเข้าใจและความรู้ความสามารถในการนำไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิผล เช่นเดียวกับยุทธศาสตร์การเผยแพร่องค์ความรู้ของ วารสารวิชาการการพัฒนาท้องถิ่น วิทยาลัยชุมชนพังงา ซึ่งเป็นนิมิตรหมายอันดีในปีนี้ที่มีวารสารวิชาการมีคุณภาพได้ถือกำเนิดขึ้น จากความตั้งใจอันดีของผู้บริหาร นักวิชาการของวิทยาลัยชุมชนพังงา ตลอดจนเครือข่ายที่เกี่ยวข้องได้ร่วมกันผลักดันให้เกิดขึ้น ส่งผลต่อประโยชน์ต่อการเผยแพร่บทความวิชาการ ว่าด้วย ยุทธศาสตร์การพัฒนาภูมิภาคะความหมาย ความสำคัญ และลักษณะให้เป็นคุณูปการต่อชุมชนวิชาการ ชุมชน สังคม สิ่งแวดล้อม และต่อประเทศชาติต่อไปตราบชั่วกาลนาน

ความหมาย

ก่อนที่จะกล่าวถึงความหมายของคำว่า "ยุทธศาสตร์การพัฒนาภูมิภาค" ผู้เขียนขอกล่าวถึงนัยความหมายของคำว่า "ยุทธศาสตร์การพัฒนา" เพื่อให้ผู้อ่านได้เข้าใจและเข้าถึงสารของยุทธศาสตร์การพัฒนาให้ได้อย่างถ่องแท้

คำว่า "ยุทธศาสตร์การพัฒนา" มาจากคำว่า ยุทธศาสตร์ อันหมายถึง ความสามารถในการนำพาสารัตถะไปสู่เป้าหมายที่วางไว้ ส่วนคำว่า "พัฒนา" หมายถึง การทำให้ดีขึ้น เพราะฉะนั้น เมื่อนำมาผสมกันทั้ง 2 คำ จึงหมายถึง ความสามารถในการนำพาสิ่งนั้นๆ หรือความสำคัญนั้นๆ(สารัตถะ)ไปสู่สิ่งที่ดีขึ้น และเมื่อกล่าวถึงคำว่า ยุทธศาสตร์ อันมาจากภาษาอังกฤษว่า Strategy หลายๆองค์การ หลายๆปัจเจกมักจะสามารถนำไปใช้ในทางที่ไม่ดีก็ได้เช่นเดียวกัน เช่น ยุทธศาสตร์การรบ การสงคราม การแข่งขันเพื่อการเอาชนะคะคานกับคู่แข่ง แต่เมื่อนำมาใช้กับคำว่าการพัฒนา สิ่งๆนั้น จะกลายเป็นการนำไปสู่สิ่งที่ดีกว่า ซึ่งคำว่า "สิ่งที่ดีกว่า" คือนัยของความดีงาม มิใช่ความชั่วร้าย

ดังต่อไปนี้ นอกจากนิยามของผู้เขียนแล้ว จะขอนำเสนอความหมายของยุทธศาสตร์ดังนิยามของผู้รู้ตลอดจนนักวิชาการดังนี้

Henry Mintzberg and James Brian Quinn (1991) กล่าวถึงนิยามของยุทธศาสตร์ว่า คือความสามารถในการดำเนินการของนักยุทธศาสตร์ในการขับเคลื่อนองค์การไปสู่ความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้น

American Dictionary (2023) กล่าว ถึงความหมายของ ยุทธศาสตร์ว่า หมายถึง ทักษะในการจัดทำแผนระยะยาวหรือเพื่อให้บรรลุบางสิ่งบางอย่างหรือเพื่อให้บรรลุเป้าหมายที่ได้วางเอาไว้

Azaddin, Salem, Khalifa(2019); Charles, Okigbo (2014) กล่าวว่า ยุทธศาสตร์เป็นศิลปะในการวางแผนและการดำเนินการเพื่อให้องค์การบรรลุถึงวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ ในส่วนของ Brent Davies and Barbara J. Davies(2004) ได้กล่าว ว่า เป็นการเปลี่ยนวิสัยทัศน์และจุดมุ่งหมายทางศีลธรรมสู่การปฏิบัติ เพื่อสร้างทิศทางและความสามารถขององค์การไปสู่วัตถุประสงค์ที่ต้องการ เช่นเดียวกับ Fred Nickols.(2016) ที่ได้กล่าวว่า ยุทธศาสตร์มีหน้าที่ในการเชื่อมโยงระหว่างนโยบายกับยุทธวิธี ตลอดจนการเชื่อมโยงระหว่างกลยุทธ์ให้มีการเชื่อมโยงกับยุทธวิธีเพื่อนำไปสู่จุดมุ่งมุ่งหมายที่ต้องการขององค์การทางธุรกิจดังรูปที่ 1

ภาพที่ 1 จุดเชื่อมโยงระหว่าง Strategy กับ Tactics(Fred Nickols,2016)

Porter, Michael (2008) กล่าวถึงความหมายของยุทธศาสตร์ว่า หมายถึง ความสามารถในการเป็นผู้นำทางด้านต้นทุน ความสามารถในการสร้างความแตกต่างในการสร้างผลิตภัณฑ์และบริการให้เป็นที่ต้องการและการได้รับการยอมรับ

กล่าวโดยสรุป "ยุทธศาสตร์" หมายถึง ความสามารถในการดำเนินการของนักยุทธศาสตร์เพื่อขับเคลื่อนสิ่งที่สำคัญไปสู่เป้าหมาย ภายใต้การบริหารทรัพยากรภายนอกและภายในที่มีอยู่อย่างจำกัด โดยทักษะการจัดทำแผนระยะยาวจากกรอบคิด ทฤษฎีที่มีอยู่อย่างหลากหลายไม่จำกัด ส่งผลต่อความมั่นใจและ

ความชัดเจนในการดำเนินงานของผู้ที่เกี่ยวข้องอันนำไปสู่การปรับเปลี่ยนวิสัยทัศน์ การเชื่อมโยงนโยบายและจุดมุ่งหมายไปสู่การปฏิบัติทั้งเชิงรุกและเชิงรับอันนำไปสู่การบริหารการเปลี่ยนแปลงขององค์การ และเมื่อนำมาผสมกับคำว่า "พัฒนา" จึงหมายความรวมถึง ความสามารถในการดำเนินการของนักยุทธศาสตร์เพื่อนำสิ่งที่สำคัญในองค์การไปสู่สิ่งที่ดีขึ้น

สำหรับคำว่า "ยุทธศาสตร์การพัฒนาภูมิภาค" นั้น เป็นการให้ความสำคัญกับนัยของการพัฒนาเชิงพื้นที่ กล่าวคือ คำว่า ภูมิภาค เป็นการนิยามความหมายของพื้นที่ที่ต้องการพัฒนา เช่น กลุ่มจังหวัดต่างๆในส่วนของภาคเหนือ ภาคกลาง ภาคอีสาน ภาคใต้ เขตเศรษฐกิจพิเศษ ระเบียงเศรษฐกิจ การพัฒนากรอบความร่วมมือระหว่างประเทศ หรือแม้กระทั่งพฤติกรรมเชิงนโยบายของประเทศมหาอำนาจต่างๆที่มีต่อประเทศบริวารหรือประเทศเป้าหมาย เช่น กรณีของนโยบายหนึ่งแถบ หนึ่งเส้นทางของจีน ที่มีต่อยุโรปและเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โครงการ GMS(Greater Mekong Subregion) หรือ โครงการพัฒนาความร่วมมือทางเศรษฐกิจในอนุภูมิภาคลุ่มน้ำโขง เป็นต้น

เพราะฉะนั้น ยุทธศาสตร์การพัฒนาภูมิภาคจึงกลายเป็น ความสามารถของนักยุทธศาสตร์เพื่อการขับเคลื่อนองค์การ สิ่งสำคัญ ตลอดจนประเทศ ไปสู่เป้าหมายที่วางไว้ เช่นกรณีของการขับเคลื่อนแนวนโยบายหนึ่งแถบ หนึ่งเส้นทางของจีนที่มีต่อพื้นที่ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ย่อที่จะมียุทธศาสตร์ในการขับเคลื่อนที่สำคัญอยู่ตลอดเวลา ดังกรณีของเขตเศรษฐกิจพิเศษในหลายพื้นที่ของสหพันธรัฐเมียนมาร์(ต่อไปนี้จะเรียกว่า เมียนมาร์) และ สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว(ต่อไปนี้จะเรียกว่า สปป.ลาว) เป็นต้น หรือแม้กระทั่งความพยายามในการขับเคลื่อนโครงการระเบียงเศรษฐกิจต่างๆให้เชื่อมโยงกับประเทศไทยผ่านทาง สปป.ลาว ผ่านเข้ามาทางภาคเหนือตอนบน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือทั้งภูมิภาคเป็นต้น

กล่าวโดยสรุป ยุทธศาสตร์การพัฒนาภูมิภาค จึงหมายถึง ความสามารถของนักยุทธศาสตร์ในการขับเคลื่อนสิ่งต่างๆเพื่อไปสู่เป้าหมายในระดับภูมิภาคและขึ้นอยู่กับว่า ภูมิภาคที่กล่าวถึงนั้นครอบคลุมภูมิรัฐศาสตร์ ภูมิศาสตร์เศรษฐกิจ หรือภูมิศาสตร์ทางการเมืองหรือไม่ อย่างไร

เมื่อกล่าวถึงความหมายของยุทธศาสตร์การพัฒนาภูมิภาคเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการระบุถึงความสำคัญของยุทธศาสตร์การพัฒนาภูมิภาคในการนำไปใช้ทั้งในระดับองค์การ ชุมชน สังคม และประเทศชาติ

ความสำคัญของยุทธศาสตร์การพัฒนาภูมิภาค

จากหัวข้อ ว่าด้วยความหมายของยุทธศาสตร์การพัฒนาภูมิภาคนั้น ทำให้สามารถวิเคราะห์ได้ในระดับหนึ่งว่า ยุทธศาสตร์การพัฒนาภูมิภาค คือความสามารถของนักยุทธศาสตร์ในการขับเคลื่อนสิ่งต่างๆเพื่อไปสู่เป้าหมายในระดับภูมิภาค เพราะฉะนั้น ยุทธศาสตร์การพัฒนาภูมิภาคจึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งที่จะมีส่วนช่วยในการพัฒนาพื้นที่นั้นๆให้เจริญงอกงาม ดังความสำคัญที่จะขอกล่าวถึงดังนี้

1.ยุทธศาสตร์นำไปสู่การสร้างอำนาจ(Khalifa, A.S,2020) โดยจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ยุทธศาสตร์การพัฒนาภูมิภาค นำไปสู่อำนาจการต่อรองกับรัฐ พื้นที่ และสิ่งสำคัญอื่นๆ ดังกรณีของทุนจีนใน สปป.ลาว และ เมียนมาร์ ในพื้นที่เขตเศรษฐกิจพิเศษต่างๆ และในขณะเดียวกันยุทธศาสตร์การพัฒนาภูมิภาคเป็นหนทางสู่การมุ่งเน้นการใช้ทรัพยากรของประเทศตนเองอย่างชาญฉลาดและมีประสิทธิภาพ

2.ยุทธศาสตร์การพัฒนาภูมิภาค คือทิศทางในการดำเนินกิจการขององค์การตามสภาพของบรรษัทข้ามชาติ ชุมชน สังคม และประเทศชาติ ยุทธศาสตร์เปรียบดั่งเข็มทิศกำหนดทิศทางของสิ่งเหล่านั้น การนำยุทธศาสตร์มาใช้จึงเปรียบเป็นเครื่องการันตีถึงสภาพความปลอดภัยทางการตัดสินใจของผู้ที่เกี่ยวข้อง การละเลยต่อยุทธศาสตร์ จึงเปรียบเสมือนกับการทำหน้าที่ไปวันๆไม่มีสาระหรือแก่นสารใดๆและไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ดีขึ้น

3.ยุทธศาสตร์การพัฒนาภูมิภาคเป็นระบบ เพราะฉะนั้นความสำคัญคือการทำให้ทุกองคาพยพของทุกระบบขับเคลื่อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ยุทธศาสตร์การพัฒนาภูมิภาคไม่ใช่ตัวตนของระบบกิจกรรมย่อยเพราะจะทำให้แนวคิดโดยรวมสับสน

4.ยุทธศาสตร์การพัฒนาภูมิภาคไม่สามารถสร้างขึ้นมาเองหรือสันนิษฐานได้ว่ามีอยู่จริง แต่เกิดขึ้นมาจากแนวคิดและทฤษฎีแห่งชัยชนะเหนือพื้นที่นั้นๆ เช่น การไตร่ตรองและการวางแผนอย่างมีคุณภาพร่วมกันจากทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องในพื้นที่ เพราะฉะนั้นยุทธศาสตร์การพัฒนาภูมิภาคที่ถูกต้องจะส่งผลต่อชัยชนะขององค์การ ปัจเจกชน ชุมชนและสังคมร่วมกัน

5.ยุทธศาสตร์การพัฒนาภูมิภาคเป็นสิ่งที่นำไปสู่การสร้างความแตกต่างที่ดีขององค์การ ปัจเจกชน ชุมชน และสังคม เมื่อมีเป้าหมายร่วมกัน จะกลายเป็นพลังการขับเคลื่อนที่ทรงพลังนำไปสู่นวัตกรรมการสร้างการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนในพื้นที่

6.ยุทธศาสตร์การพัฒนาภูมิภาคเป็นเครื่องมือแปลงพันธกิจสู่แผนการปฏิบัติ การแปลงข้อมูลทางด้านวิสัยทัศน์ พันธกิจ นโยบาย และเป้าหมายของรัฐ องค์การ ปัจเจกชน ชุมชนและสังคมร่วมกัน สู่การปฏิบัติ

เปรียบเสมือนการดำเนินวิธีการที่มีความชัดเจนและถูกต้องไม่หลงทาง เมื่อไม่หลงทางก็จะทำให้ประสบผลสำเร็จ

7. ยุทธศาสตร์การพัฒนาภูมิภาคเป็นสารสนเทศความสำเร็จ การนำเสนอ วิสัยทัศน์ พันธกิจ นโยบาย และเป้าหมายของผู้บริหารจำเป็นต้องอาศัยยุทธศาสตร์ในการขับเคลื่อนความเชื่อ ความศรัทธาและแรงบันดาลใจคนในองค์การ

กล่าวโดยสรุป ความสำคัญของยุทธศาสตร์การพัฒนาภูมิภาค คือวิสัยทัศน์ นโยบาย และแนวทางในการขับเคลื่อนทุกองคาพยพภายใต้ความเป็นไปของรัฐและหรือขององค์การภาคประชาสังคม ปัจเจกบุคคล เพื่อนำไปสู่การสร้างความได้เปรียบในพื้นที่ ชุมชน สังคม ได้อย่างชัดเจน นำไปสู่ความเจริญและความงอกงาม

ในประเด็นต่อไปที่จะขอกล่าวถึงนั้นคือ ลักษณะของยุทธศาสตร์การพัฒนาภูมิภาค เพื่อให้ผู้อ่านได้มีความเข้าใจเพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อไป

ลักษณะของยุทธศาสตร์การพัฒนาภูมิภาค

จากในหัวข้อความสำคัญของยุทธศาสตร์การพัฒนาภูมิภาค สามารถวิเคราะห์ได้ว่ามีความสำคัญเป็นอย่างมากต่อวิสัยทัศน์ นโยบาย และแนวทางในการขับเคลื่อนทุกองคาพยพภายใต้ความเป็นไปของรัฐและหรือขององค์การภาคประชาสังคม ปัจเจกบุคคล เพื่อนำไปสู่การสร้างความได้เปรียบในพื้นที่ ชุมชน สังคม ได้อย่างชัดเจน นำไปสู่ความเจริญและความงอกงาม ขณะเดียวกัน แนวทางในการนำยุทธศาสตร์การพัฒนาภูมิภาคไปใช้ก็เป็นการบ่งชี้ให้เห็นถึงแนวทางในการปฏิบัติของผู้นำและหรือผู้บริหารขององค์การที่มีต่อพื้นที่ได้เป็นอย่างดี แต่อย่างไรก็ตามการนำยุทธศาสตร์การพัฒนาภูมิภาคไปใช้ในปัจจุบัน พึงมักแสดงให้เห็นว่ายังมีความเข้าใจเกี่ยวกับยุทธศาสตร์การพัฒนาภูมิภาคคลาดเคลื่อนเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระดับผู้ปฏิบัติ เพราะในสถานการณ์ขององค์การทั้งทางธุรกิจและองค์การของรัฐปัจจุบัน เป็นองค์การที่มีความซับซ้อนเกินกว่าทำความเข้าใจเพียงด้านเดียว ผู้ปฏิบัติหลายภาคส่วนมีงานประจำ (Routine Work) จึงมีความสับสนในการปฏิบัติเป็นอย่างมาก เพราะฉะนั้นในหัวข้อนี้จึงมีความสำคัญเป็นอย่างมากที่จะช่วยทำความเข้าใจ ดังลักษณะต่อไปนี้

1. ประเภทของการทำงานที่มุ่งสู่ความได้เปรียบในการแข่งขัน

2. มุ่งสู่ความเป็นเลิศแต่ไม่ได้บอกถึงวิธีการในแต่ละพื้นที่ เช่นกรณีของการประกาศเขตเศรษฐกิจพิเศษต่างๆของประเทศไทย โดยการประกาศใช้แต่ไม่มีรายละเอียดมากมายนัก

3. มีการระบุถึงแรงบันดาลใจของผู้ปฏิบัติและขององค์การว่าจะนำไปสู่เป้าหมายใด

4. ทำหน้าที่เป็นคู่มือในการปฏิบัติงานอย่างเป็นพลวัตรเพื่อให้มีการบรรลุวิสัยทัศน์

5. เป็นชุดการทำงานของบุคลากรที่มุ่งตอบสนองต่อการบรรลุวิสัยทัศน์แต่ไม่ใช่การทำงานตามใบสั่งของผู้บริหาร

6. เป็นแนวทางในการปฏิบัติเพื่อแก้ไขปัญหาขององค์การตนเอง

7. เป็นแนวทางในการปฏิบัติเพื่อแก้ไขปัญหาตามพันธกิจขององค์การตนเองมิใช่การรับคำสั่งจากเบื้องบน

8. เป็นงานที่ไม่มุ่งเน้นเฉพาะการดำเนินงานในองค์การเท่านั้นดังกรณีของการพัฒนาคน พัฒนางาน พัฒนากระบวนการเพียงอย่างเดียวแต่ยังมุ่งเน้นในการพัฒนาเชิงพื้นที่เพื่อความงอกงามของสังคม

9. เป็นงานที่มุ่งสู่การสร้างความได้เปรียบ การรองรับผลกระทบเชิงภูมิภาคในพื้นที่ได้ในระยะยาว

ในส่วนของการตอบสนองของยุทธศาสตร์การพัฒนาภูมิภาคที่มีต่อองค์การนั้นพบว่า เป็นเรื่องของอนาคตหรือเป็นเรื่องที่เกี่ยวข้องกับความเป็นไปขององค์การในอนาคต โดยความเป็นยุทธศาสตร์อาจจะเกี่ยวข้องข้องกับระยะเวลาตั้งแต่ 1 ปี 3 ปี 5 ปี หรือแม้กระทั่ง 20 ปี 50 ปีขึ้นไป บางแห่งมีเป็น 100 ปี เช่น ในแผนยุทธศาสตร์ประเทศไทยมีระยะเวลาในการดำเนินการ 20 ปี

สำหรับความเกี่ยวข้องกับองค์การนั้น พบว่า ในส่วนของยุทธศาสตร์จะเกี่ยวข้องกับองค์การในภาพรวมทั้งหมด สำหรับงานประจำนั้นจะเป็นการให้ความสำคัญสิ่งที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต(ในส่วนของโรงงาน) หรือการจัดการเรียนการสอน(ในส่วนของสถานศึกษา)หรือการดำเนินกิจกรรมตามพันธกิจที่ได้รับมาจากหน่วยเหนือ เช่นกรณีของมหาวิทยาลัยราชภัฏทั่วประเทศที่มีพันธกิจด้านการพัฒนาท้องถิ่นเป็นต้น

ลำดับต่อไปคือ งานทางด้านยุทธศาสตร์การพัฒนาภูมิภาคทุกสิ่งที่ดำเนินการจะเกี่ยวข้องกับความเจริญเติบโตขององค์การ แต่สำหรับงานประจำนั้นพบว่า ทุกสิ่งที่ดำเนินการจะเกี่ยวข้องกับการผลิตและการเติบโตของแผนก

ในส่วนของ พอร์เตอร์,ไมเคิล อี(2565) ได้กล่าวถึงลักษณะของยุทธศาสตร์หรือกลยุทธ์เมื่อเปรียบเทียบกับการดำเนินการที่มีประสิทธิผลว่า การทำงานที่มีประสิทธิผลนั้นไม่ใช่กลยุทธ์หรือยุทธศาสตร์เป็นเพียงการลอกแบบตำแหน่งทางการตลาดซึ่งเป็นสิ่งที่ทำกันอย่างรวดเร็ว และข้อได้เปรียบทางการแข่งขันนั้น จะเป็นสิ่งที่ไม่ยั่งยืนและขณะเดียวกัน การแข่งขันทางการตลาดที่ไม่มีการดำเนินงานแบบยุทธศาสตร์หรือกลยุทธ์นั้น จะนำองค์การเข้าสู่การแข่งขันแบบทำลายล้างมากยิ่งขึ้นตลอดเวลา ถึงแม้นว่า การแข่งขันในปัจจุบันเริ่มที่จะปราศจากข้อจำกัดในการแข่งขันหลายประการลงก็ตามที แต่สิ่งที่กำลังเกิดขึ้นคือ การแข่งขัน

กันอย่างรุนแรงมากยิ่งขึ้นจะก่อให้เกิดการทำลายตัวเองขององค์การ และรัฐต่างๆ เช่นการผลิตโดยมิได้ให้ความสำคัญกับการพัฒนาที่ยั่งยืน(Non eco System:ผู้เรียบเรียง) ส่งผลต่อความขัดแย้งระหว่างกฎหมายภาครัฐและกับผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในพื้นที่รอบบริเวณองค์การ เช่นการปล่อยน้ำเสียและกลิ่นเหม็นสู่ชุมชน เป็นต้น หรือแม้กระทั่งการต่อต้านของประชาชนในอำเภอเชียงของ จังหวัดเชียงรายดังกรณีของนโยบายในความพยายามขุดลอกแม่น้ำโขงเพื่อใช้ในการขนส่งสินค้าทางเรือมาจากประเทศจีน โดยความล้มเหลวของการกำหนดความแตกต่างระหว่างความมีประสิทธิผลของการทำงานกับยุทธศาสตร์หรือกลยุทธ์ คือที่มาของปัญหาดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น เพราะฉะนั้นการแสวงหาคุณภาพ ความรวดเร็วในประสิทธิผล จึงได้ก่อให้เกิดเทคนิคและเครื่องมือในการบริหารจัดการมากมายที่นำไปสู่ยุทธศาสตร์การพัฒนาภูมิภาคที่แท้จริง ดังเช่นความพยายามใหม่ของประเทศจีนในการส่งเสริม สนับสนุนให้ประเทศที่มาอาณาเขตติดกับทะเลมีโปรเจคต์ใหม่ๆเกิดขึ้น เช่น กรณีของแลนด์บริดจ์ของประเทศไทยที่มีความสามารถในการขนถ่ายสินค้าไปยังเอเชียกลางได้อย่างประหยัดกับเวลาและค่าใช้จ่ายอื่นๆเป็นต้น

จุดเน้นที่สำคัญ:ยุทธศาสตร์กับกลยุทธ์

สำหรับคำว่ายุทธศาสตร์กับกลยุทธ์มีการใช้สลับสับเปลี่ยนและเกิดความสับสนกันพอสมควรทั้งในระดับหน่วยงานภาครัฐและเอกชน แต่ในระยะหลักมักเจอในหน่วยงานภาครัฐมากยิ่งขึ้น ขณะเดียวกันหน่วยงานภาครัฐจึงคิดเปลี่ยนคำให้ห่างไปจากคำสองคำนี้ อันเนื่องจากสะดวกต่อการทำความเข้าใจและการนำไปใช้เช่น คำว่า ประเด็นการพัฒนา แนวทางในการพัฒนา ธรรมนูญ แผนพัฒนาสถานศึกษา แผนพัฒนาองค์การ ฯลฯ แต่ผู้เรียบเรียงในฐานะอาจารย์ผู้สอน เล็งเห็นว่าการละเลยถึงการนำคำว่า ยุทธศาสตร์และกลยุทธ์ไปใช้ เป็นการละเลยสาระสำคัญของเนื้อหาไป ในหัวข้อนี้จึงขอนำเสนอเพื่อให้เกิดความเข้าใจที่ตรงกัน

เมตต์ เมตต์การุณ์จิต(2556) ได้กล่าวถึงความหมายของยุทธศาสตร์และกลยุทธ์ไว้เหมือนกัน คือทั้งสองคำเป็นสาระที่นำไปสู่เป้าหมายเดียวกันขององค์การโดยภาพรวม โดยคำว่ายุทธศาสตร์นั้น เป็นคำที่ใช้ในวงการทหารมาก่อนหน่วยงานใดๆ มีความหมายเกี่ยวกับศิลปะการทำสงครามหรือการรบ ซึ่งอาจจะเห็นว่าเป็นศิลปะของแม่ทัพ หรือของผู้นำของหน่วยทหารที่มีความสามารถหยั่งรู้ฟ้าดิน และคาดการณ์ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ จนนำไปสู่การวางยุทธศาสตร์อย่างสุขุมรอบคอบและเหนือชั้น เพราะฉะนั้นจะเห็นได้ว่า ยุทธศาสตร์มักจะเป็นคำที่มีลักษณะเฉพาะของนักรบและหรือแม่ทัพที่มีความเชี่ยวชาญในการรบเท่านั้น ยุทธศาสตร์จึงเป็นสิ่งที่คาดไม่ถึงหรือไม่สามารถเข้าถึงได้สำหรับบุคคลทั่วไป

ต่อมามีการนำคำว่ายุทธศาสตร์มาใช้ในวงการอื่นๆนอกเหนือจากวงการทหาร เช่นในการบริหารธุรกิจและภาคเอกชน โดยมีความหมายในลักษณะของความหลักแหลม เป็นสิ่งที่คนอื่น(คู่แข่ง)ไม่รู้ มีความเหนือชั้นและพลิกแพลง เพื่อให้ได้เปรียบคู่แข่งหรือเพื่อบรรลุเป้าหมาย จึงเกิดคำว่า "กลยุทธ์"ขึ้น ซึ่งคำว่า กลยุทธ์นั้นมาจาก คำว่า "กล" กับ "ยุทธ์" กล หมายถึง การรบที่มีเลห์เหลี่ยม วิธีการที่ต้องใช้กลอุบายต่างๆ ส่วนยุทธ์หมายถึง การรบและหรือการสงคราม ส่วนคำว่า ยุทธศาสตร์ คือ วิชาว่าด้วยการพัฒนาและการใช้อำนาจทางการเมือง เศรษฐกิจ จิตวิทยา และกำลังรบทางทหารตามความจำเป็นทั้งในยามสงบและยามสงคราม (พจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถานปี 2554) เพราะฉะนั้นคำว่า ยุทธศาสตร์จึงมีนิยามที่ใกล่เคียงกับการรบ การทหาร การสงคราม ความนิยมในการนำไปใช้จึงน้อยกว่าการนำคำว่า กลยุทธ์ไปใช้ ทั้งในวงการภาครัฐและวงการเอกชนมากกว่า แต่อย่างไรก็ตามในทางสากลให้ถือว่า ยุทธศาสตร์และกลยุทธ์มีความหมายเหมือนกัน เพียงแต่ในปัจจุบันนั้นการนำกลยุทธ์ไปใช้มักให้ความสำคัญกับการพัฒนาองค์การ ซึ่งจะแตกต่างจากยุทธศาสตร์ซึ่งมักนำไปใช้กับการพัฒนาเชิงพื้นที่ เพราะฉะนั้นจึงเป็นสิ่งสำคัญเมื่อผู้ที่สนใจนำคำว่ายุทธศาสตร์ไปใช้ต้องพึงระลึกเสมอว่า เป็นสาระที่ให้ความหมายและความสำคัญตลอดจนลักษณะในการนำองค์การสังคมชุมชนและประเทศชาติไปสู่เป้าหมายที่วางไว้ได้เช่นเดียวกัน

ในส่วนของยุทธศาสตร์กับกลยุทธ์นั้น มีการนำไปใช้ในนิยามความหมายเหมือนกันแต่องค์การธุรกิจและภาคเอกชนมักนิยมใช้คำว่ากลยุทธ์มากกว่า อันเนื่องจากแตกต่างจากนิยามความหมายของยุทธศาสตร์อันเนื่องจากใกล้เคียงกับนิยามความหมายทางการทหาร การนำไปใช้จะมีความตุดัน และตรงตามนิยามแห่งการรบ หลายหน่วยงานจึงไม่นิยมใช้ ขณะเดียวกันในปัจจุบันยังนิยมนำคำว่า กลยุทธ์มาใช้ในการพัฒนาองค์การ ซึ่งแตกต่างจากคำว่ายุทธศาสตร์ ซึ่งนิยมนำไปใช้กับการพัฒนาเชิงพื้นที่ (โดยตามพันธกิจองค์การ)

บทสรุป

ยุทธศาสตร์การพัฒนาภูมิภาค หมายถึง การใช้ความสามารถของภาวะผู้นำในการขับเคลื่อยุทธศาสตร์(Strategy)ไปสู่การสร้างความแตกต่าง ทั้งยังเป็นสารสนเทศความสำเร็จขององค์การ การเป็นฐานอำนาจของรัฐและหน่วยระบบอื่นๆที่เกี่ยวข้อง ความสามารถในการกำหนดทิศทางของรัฐ ชุมชน สังคม และยังสะท้อนให้เห็นถึงความเป็นทฤษฎีเหนือชัยชนะ ทั้งนี้ การขับเคลื่อนยุทธศาสตร์การพัฒนาภูมิภาคที่มีประสิทธิภาพเพียรต้องอาศัยประสิทธิผลของการบริหารทุน(Cost Management) และการบริหารทรัพยากรที่มีประสิทธิภาพ อันนำไปสู่การสร้างสรรค์วิสัยทัศน์ที่ถูกต้องเหมาะสมแก่สถานการณ์และนโยบายแห่งรัฐที่เกี่ยวข้องโดยผ่านกระบวนการวางแผนกลยุทธ์ที่ชัดเจนโดยอาศัยภาวะความเป็นผู้นำของผู้กำหนดยุทธศาสตร์และนโยบาย โดย

ทั้งหมดเหล่านี้ล้วนสะท้อนให้เห็นถึงแนวทางในการปฏิบัติเพื่อบรรลุเป้าหมายของภูมิภาค(Regional Target) ดังภาพที่ 2

ภาพที่ 2 กรอบแนวคิดว่าด้วยยุทธศาสตร์การพัฒนาภูมิภาค

เอกสารอ้างอิง

ปิติ ศรีแสงนาม.(2564).**พรรคคอมมิวนิสต์จีนกับการประกาศความสำเร็จของ 100 ปีแรก และเป้าหมายสำหรับ 100 ปีถัดไป.ออนไลน์**. https://thestandard.co/100-years-china-communist-party-achievement/.เข้าถึงเมื่อ 5 กันยายน 2566.

เมตต์ เมตต์การุณ์จิต.(2556). **ยุทธศาสตร์การพัฒนา:จากทฤษฎีสู่การปฏิบัติเชิงรุก**. นนทบุรี.บุ๊คพอยท์ วิชาการ.

พอร์เตอร์,ไมเคิล อี.(2565). **กลยุทธ์ On Strategy**.ณัฐยา สินตระการผลและวีรวุธ มาฆะศิรานนท์ แปล. กรุงเทพ.เอ็กซเปอร์เน็ท จำกัด.

วิกรม บุญนุ่น.(2567). **แนวคิดและทฤษฎีการสร้างยุทธศาสตร์การพัฒนาเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน**. เชียงราย. โรงพิมพ์ปิ๊แอนด์น้อง.

American Dictionary.(2023). **STRATEGY**.ONLINE. https://shorturl.asia/9xKcl. Accessed on September 1, 2023.

Azaddin, Salem, Khalifa.(2019). **Strategy: restoring the lost meaning**. Journal of Strategy and Management, 13(1):128-143. doi: 10.1108/JSMA-09-2019-0158.

Brent Davies and Barbara J. Davies.(2004). **Strategic leadership**. ResearchGate.

Charles, Okigbo. (2014). **Strategy: What It Is. Springer**, New York, NY.

Fred Nickols. (2016). **Strategy: Definitions and Meaning**.Online. https://nickols.us/strategy_definition.htm.Accessed on September 1, 2023.

Henry Mintzberg and James Brian Quinn. (1991). **The strategy Process: Concepts, Contexts & Cases**. Englewood Cliffs, N.J. : Prentice Hall.

Khalifa, A.S. (2020).**"Strategy, nonstrategy and no strategy"**. Journal of Strategy and Management. Vol. 14 No. 1, pp. 35-49.

Porter, Michael (2008), **Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance**. Simon and Schuster.Usa.

ผู้เขียน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิกรม บุญนุ่น[1] (ผู้ประสานงานหลัก)

สาขาวิชายุทธศาสตร์การพัฒนาภูมิภาค คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

ที่อยู่ 80 ม.9 คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ตำบลบ้านดู่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย

e-mail: Krittamate2017@gmail.com

นายลัทธพล มุ่งไธสง[2]

สาขาวิชายุทธศาสตร์การพัฒนาภูมิภาค คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

ที่อยู่ 80 ม.9 คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ตำบลบ้านดู่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย

e-mail: Krittamate2017@gmail.com

ดร.อารีย์ บินประทาน[3]

สาขาวิชายุทธศาสตร์การพัฒนาภูมิภาค คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

ที่อยู่ 80 ม.9 คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ตำบลบ้านดู่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย

e-mail: aree.bin@crru.ac.th

KeAi CHINESE ROOTS GLOBAL IMPACT

Journal of Digital Economy

SUFFICIENCY ECONOMY SCENARIOS BASED ON COMMUNITY BUSINESS OPERATIONS AFFECTING THE VALUE AND INCOME OF SUSTAINABLE COMMUNITY ENTERPRISES

Kasorn Kasama [1], Mungthaisong Sornchai [2], Kuntawong Thanaphat [3], Boonyarasai Phathamon [4], Chaiwongsakda Nisarath [5], and Jedaman Pornchai [6]

[1,2,3,4,5] Chiang Rai Rajabhat University, [6] Rajabhat Maha Sarakham University, Thailand
p.jedaman@gmail.com

Abstract. Sufficiency economy scenarios are a framework that aims to enable community enterprise groups to be self-sufficient and have the ability to compete including developing business operations with efficiency until sustainability. This highlights the sufficiency economy scenarios based on community business operations affecting the value and income of sustainable community enterprises. The collections on qualitative research came from document studies, in-depth interviews, on quantitative research to survey by questionnaire. The sufficiency economy scenarios are based on community business operations including sufficiency in mentality, sufficiency in economy, society, and culture, sufficiency in technology, sufficiency in value, and creating added value of production. All factors directly and indirectly to the value and income of sustainable community enterprises were statistically significant. Meanwhile, the guidelines for driving the sufficiency economy to create value and income include moderation in community business operations, reasonableness in community business operations, immunity in community business operations, creating a knowledge base, and having ethics in running community businesses of sustainable community enterprises.

Keywords: Sufficiency economy scenarios, community business operations, value and income, sustainable community enterprises.

Introduction

Conditions of change under the trend of globalization in the development of many countries that focus on economic prosperity have resulted in the growth rate of the world economy continuously increasing, from the development of the industrial sector and making many agencies move dynamically, the flow of technology can be accessed without borders, together with the free movement of knowledge and labor. that reflects changes that have continued to affect the way of life and well-being of the Thai community [1]. Changes in the environment that occur It cannot be denied that This partly results in the modernization of Thai society in various aspects, such as communication technology and the use of technology to help develop, etc. However, such development gives society and communities One part has better living conditions. and generate a huge amount of income Meanwhile Another view is that society and communities are weak. Poverty and inequality occur, as well as the collapse of communities that are unable to adapt to globalization. Sufficiency economy is the philosophy of His Majesty King Bhumibol Adulyadej, Rama IX has provided guidelines for the application of life to all Thai people stably and

sustainably, sufficiency economy means living life under an economic status that able to care for oneself, sufficiently to meet one's own needs [2]. Development and management to keep up with the globalization era as having moderation, reasonableness, and a good immune system, by relying on knowledge in applying various academic subjects to be used in planning and executing every step. This is a guideline for the conduct of every social sector group at every level from development and operation based on the principles of moderation, reasonableness, having an immune system that can face various impacts caused by both external and internal changes, as well as, knowledge, prudence, and caution [3]. The foundation of the mind must be strengthened to have a sense of morality and honesty in the development of thoughts, minds, and actions according to the potential of the group that can be self-reliant [4]. Therefore, a sufficiency economy is a development that creates balance, and supportive interaction in various dimensions, including economics, society, culture, mind, resources, and the environment that allows one to live happily in a moral society, and a learning society efficiently.

A guideline that helps create prosperity for the community, so that it can be self-reliant by creating careers, raising the level of income, as well as, improving the quality of life of the people in the community, by producing or managing local resources into quality products, distinctive points, selling points, and consistent with the culture in each locality [5]. However, self-reliance income generation is a concept that focuses on creating income from products in each community to create livelihoods and quality, including, focusing on international markets along with a local focus. In addition, the concept requires communities to have products that use raw materials from the local natural resource base, reducing the problem of migration to big cities. and creating a community economy that is consistent with development based on the sufficiency economy. Good community products are the key to product market success. It represents the expectations of consumers and products that meet society's preferences. Meanwhile, product development aims to availability of new products that create profits and increase the income of community enterprises. The rapid advancement of technology creates many new products in the market, which results in competition problems between community products and industrial products. This is because most community products today are produced by hand or using tools available in the household. This causes a disadvantage in terms of production capacity and production costs per unit that are higher than in industrial factories. As a result, the selling price of the products is higher than that of factory products [6]. In addition, many community products lack uniqueness and can be replaced by factory-produced products. For community products to be able to survive in the market and compete with other products, the product and marketing mix must be developed. So that the community products produced are consistent with the characteristics of consumer needs, such as developing product quality, product prices, distribution channels, and marketing promotions.

The community enterprise is a community business that is operated by a group of people in the community based on ties and a common way of life, using resources available in the community creatively to gain maximum benefit to the community, emphasizing self-reliance, and reducing expenses. Provide for the family and create income, have unity and morality leading to a strong community economy [7]. Therefore, the operating characteristics of an efficient community enterprise are mainly based on using capital, knowledge, and labor, including raw materials in the community, operating within the community, having local wisdom as a base, and expanding with international wisdom or appropriate technology, use initiative and creativity to create additional value from products and community resources, activities that are carried out are diverse and connected, are mutually supportive, emphasize community self-reliance, and are carried out in a participatory manner participate and manage systematically, with the learning process as the key,

self-reliance as the goal [8]. This highlights the sufficiency economy scenarios based on community business operations affecting the value and income of sustainable community enterprises, and the guidelines for driving the sufficiency economy to create value and income in community business operations in driving the development of the grassroots economy is the important process of laying a solid foundation for the community economy in promoting a strong social economy, potential, and competitiveness to be self-reliant, causing upgrading. Improved standards of living based on the sufficiency economy must strengthen the psychological basis to create awareness of product development and the creation of appropriate knowledge in key dimensions of stability, wealth, sufficiency, and sustainability.

Conceptual Framework

A community economy is a horizontal economic system that affects and creates both economic and social relationships between people in a community, it is not only a vertical economy like individuals, but can create cooperation, opportunities, and good relationships between economies. The participation of the community and the individual economy It is an economic system that is characterized by cooperation and partnership, building relationships both in the local community and at other wider levels. Which develops the grassroots economy, is an important goal. The development of the grassroots economy, therefore, expects efforts to think of ways to manage the problem correctly and sustainably, answering the questions of building the economy and society to achieve sustainable growth through promoting the economy at the community level to be strong and have the potential and ability to compete and be self-reliant. However, in strengthening the community the goal should be for the community to be able to solve problems on their own [9]. A community will survive only if the community can change the structure of the relationship between the community economic system and the superior economic system to be a balanced relationship that arises from the interaction of important mechanisms, namely, the ideological sector, practical mechanism, and reproduction mechanism, creating independent power in exchange for the strength of the community economy that produces concrete results [10]. From self-reliance, seeing the value of careers the practice of professional work, and income generation that meets the needs of developing the community economy to be stable, prosperous, and sustainable.

Sufficiency economy is the philosophy of His Majesty King Rama IX that points out the way to live and behave in the middle way for people at all levels, from the family, and community, to the state levels, both in the development of national administration, by only social and economic development to keep up with the world in the era of globalization [11]. To bring about prosperity is something that every society tries to find a way to achieve sustainable development goals sufficiency economy to just not a technique, but has a much broader meaning because of the ideology and worldview, relationships, and values that meet or match [12]. That represents a real economic sufficiency, implied or otherwise known as cultural to moderation three mains; i) sufficiency to the fit is not too much, not too little, not too extreme. Must be based on need, not hurting yourself and others to build a strong self, reduce dependency on others, ii) reasonableness to the decision must be based on reasonable grounds and associated factors, regardless of the consequences carefully, honestly, and unbiased, iii) self-immunity to the preparation for the impact, and the change to the location in a precaution. Located two conditions; i) knowledge about science in an all-round way to put that knowledge to use in coherent planning and practice, and ii) morals to the awareness of the virtues to be honesty, patience, perseverance, and wisdom [1,2]. The discourse of development is a concept that attempts to explain how the existence and change

of paradigms connect to the causes and solutions of development problems in various forms, such as knowledge, truth, or identity, practices, ideas, beliefs, and values.

Therefore, the sufficiency economy has consequences for various ways of living in the minds of dimensional including the mentally strong awareness and realization that good, the independence of thought and action, creativity generosity and compromise, social and economic of dimensional including the buddy, to linking strong networks, to careful planning the ability to manage existing assets, having a backup plan is the immune system of the risks and alternatives, the value and development such as the technology of dimensional including the selection of what suits your needs, known to improve the environment and the reality, including the cultural of dimensional including an intellectual development potential and the unique, as well as resources and environment of dimensional including the development and use to the appropriate value [3, 4]. It is a system thinking principle that can be applied in the decision-making process at all levels, including individual and organizational decisions, community and social levels, and even government policy administration to lead to balanced and sustainable results in the matter decided.

The application of the concept of sufficiency economy at the organizational level which is a group of community enterprises can be considered in important processes, including giving importance to the quality of people, creating a culture of product production through creating valuesand adding value to products. together, adhering to management and operating systematically in operations, determining the use of local resources and creative thinking in producing quality-focused products, creating innovation, including creating conditions of knowledge, including developing and managing knowledge at the individual level to perform duties efficiently, developing and manage shared knowledge to achieve goals, make administrative decisions and carry out responsibilities, and reduce the risk of using resources efficiently [13]. Developing and managing knowledge in the context of the environment, creating awareness of change, being open to news and technology, creating an understanding of changing conditions, and preparing to respond in time for changes, giving importance to systematic business operations. Sufficiency economy consists of rationality from decision-making using the principles of cause and effect, using principles that consider costs and returns to expected impacts from the decision-making process, moderation from considering the potential of community enterprises in operating community businesses, having good built-in immunity from a decision-making process that is aware of the risk, prudence, caution, systematic business management.

The sufficiency economy scenarios based on community business operations include sufficiency in mentality, sufficiency in economy, society, and culture, sufficiency in technology, sufficiency in value, and creating added value of production that is the main idea in the decision-making process that reflects community business operations [1,2,3,4]. Therefore, if the sufficiency economy principle is applied it will have a clear effect on the development of community enterprises towards sustainability. Local wisdom is the knowledge of the community that comes from learning. and have experiences passed on both directly and indirectly the accumulated knowledge creates new potential and experiences. It is the crystallization of knowledge that can create new options in the business operations of community enterprises. Local wisdom is the knowledge and experience of a community that is used to lead a happy life [14]. It has been passed down for a long time through a process of development in line with the times and has a lifestyle that has value, and intelligence and has been practiced by people throughout the past.

Wherein local wisdom is knowledge of the experiences of the villagers that have been accumulated and passed down from generation to generation related to the cultural capital of the locality and

community, the way of life of the community to live happily [15]. The characteristics of local wisdom are that culture is fundamental, highly integrated, has a deep connection to abstraction [16], and emphasizes the importance of ethics [17]. Therefore, local wisdom consists of the part that is the direct experience of that person or group, the part that is obtained from the knowledge, thoughts, and experiences of others or other groups, and the part that one synthesizes from one's own experiences or the words of others. The development of products and business operations of community enterprises based on the principle of self-reliance has been developed to suit the era, principles of practice, and use of modern technology used in the community appropriate to the environment and livelihood, entrepreneurship by people in the community to creatively manage community capital to meet self-reliance and sufficiency of families and communities [5,8]. Community capital consists of monetary capital, natural resources, products, knowledge, wisdom, and social capital. The guidelines for driving the sufficiency economy to create value and income in community business operations include moderation in community business operations, reasonableness in community business operations, immunity in community business operations, creating a knowledge base in the community, and having ethics in running community businesses of sustainable community enterprises that the framework of this research.

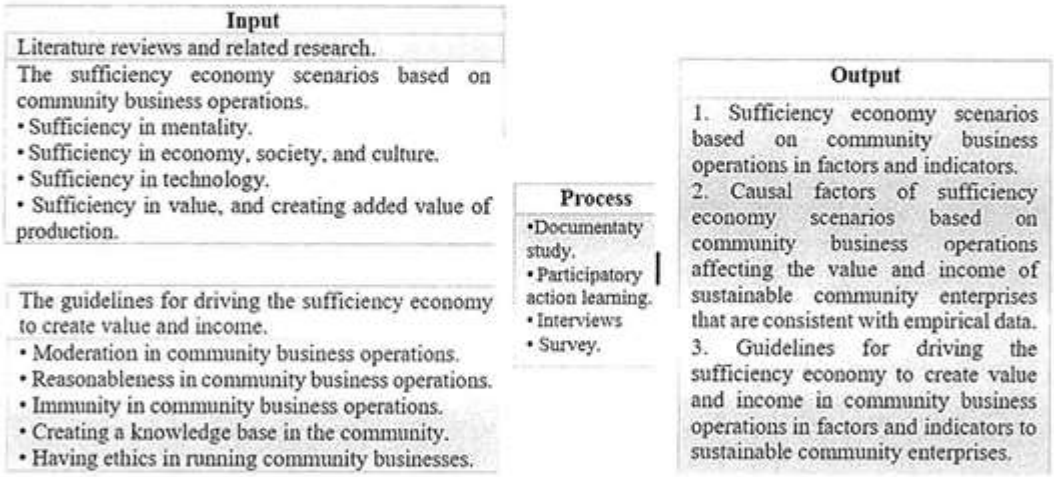


Figure 1. Research framework: Sufficiency economy scenarios based on community business operations affecting the value and income of sustainable community enterprises.
Source: Chaipattana Foundation, 2020; Tantivejkul, Sumet, 2019; Pimdee, P., Jedaman, P., Wang-Saorad, K., and Kinboon, N.,2017; Wasi, Prawet, 2014.

Material and Methods

The method is a mixed method research of qualitative research synthesizing the documentary study to combine participatory action learning, and in-depth interviews to multi-contextual and cultural perspectives for the research to complete the sufficiency economy scenarios based on community

business operations, the guidelines for driving the sufficiency economy to create value and income in community business operations of sustainable community enterprises. The quantitative research survey by questionnaire to provide explanations and conclusions based on causal factors of sufficiency economy scenarios based on community business operations affecting the value and income of sustainable community enterprises. Spatial studies took place in community enterprises in the area of Ban Thung Ko Subdistrict community, Chiang Rai Province, Thailand. In landscape to characterize the topic under study. Concerning the research participants and tools, the study involved 20 key informants from experts in the concept of Sufficiency economy, community business entrepreneurs, community leaders, and community product producers, they were selected through purposive sampling, and the study involved 210 samples from community business entrepreneurs, community leaders, community product producers, and people in the community, they were simple random and determines the sample size to obtain a sample with good representativeness. By considering the sample group that is suitable for analyzing causal factors. The sample size must be large not less than 100 and the ratio between sample units and variables should be 20:1 for selection in the methods.

Research tools used for data collection included, 1) structured interview addressed leading the sufficiency economy scenarios with sufficiency in mentality, sufficiency in economy, society, and culture, sufficiency in technology, sufficiency in value, and creating added value of production, it consisted of 4 interview topics all concerned with the sufficiency economy scenarios, it contained questions like - How to the sufficiency economy scenarios based on community business operations? 2) structured interview addressed leading the guidelines for driving the sufficiency economy to create value and income in community business operations with moderation in community business operations, reasonableness in community business operations, immunity in community business operations, creating a knowledge base in the community, and having ethics in running community businesses, it consisted of 5 interview topics all concerned with the guidelines for driving the sufficiency economy to create value and income in community business operations, it contained questions like - How to the guidelines for driving the sufficiency economy to create value and income in community business operations of sustainable community enterprises? Structured interviews to items of objective congruence, 3) semi-structured questionnaire addressed leading the causal factors of sufficiency economy scenarios based on community business operations affecting the value and income of sustainable community enterprises, it is a question of 5- rating scales, divided into 3 parts: (1) basic information, (2) questions on 4 factors: sufficiency in mentality, sufficiency in economy, society, and culture, sufficiency in technology, sufficiency in value, and creating added value of production, (3) open-ended additional suggestions, it has a reliability value of 0.87.

Data collection and equerry methods included document analysis which consisted of synthesizing information from relevant documents and related research for the integration and development of a conceptual framework about participatory action learning, individual in-depth interviews to multi-contextual and cultural perspectives of 20 key informants to take the results for analysis were to, 1) sufficiency economy scenarios based on community business operations, and 2) the guidelines for driving the sufficiency economy to create value and income in community business operations. Wherein data analysis of factors and indicators were analyzed by using three main stages of data reduction as coding to classify the variables to be able to enumerate as frequency, data organization as classifying variables and grouping them into conceptual factors, then grouping them into concepts this is to variable analysis model to concepts, data interpretation is the

identification of directions and trends of relationships between concepts by explaining and interpreting the rational relationship to conclusion. A survey of 210 samples to take the results for analysis in the causal factors of sufficiency economy scenarios based on community business operations affecting the value and income of sustainable community enterprises, using descriptive statistics, percentage, mean, standard deviation, and causal factor a using to the analysis of the linear structure relationship by the LISREL model, statistics can be summarized to check the consistency of the model with empirical data.

Statistics used to check.	Criteria used for consideration.
Chi- square= X^2	Statistically not significant.
GFI.	More than 0.90.
AGFI.	More than 0.90.
SRMR.	Less than 0.50.
RMSEA.	Less than 0.50.

Results and Discussion

The study could yield the results as follows:

4.1 Sufficiency economy scenarios based on community business operations.

The sufficiency economy scenarios based on community business operations of 4 factors such as sufficiency in mentality, sufficiency in the economy, society, and culture, sufficiency in technology, sufficiency in value, and creating added value of production to 16 indicators, shown in Table 1.

Table 1. Factors and indicators of sufficiency economy scenarios based on community business operations.

Factors.	Indicators.
1) Sufficiency in mentality: SM.	1.1) Adhering to the principles of sufficiency, reasonableness, self-immunity, knowledge, and morals based on sufficiency and self-reliance is a guideline for community business operations and operating at full potential and continuously. 1.2) Having care helps and encourages and have morality, unity, and listening to each other's opinions. 1.3) Cooperation joins together to solve problems or obstacles that arise. and responsibility in work. 1.4) There is acceptance and forgiveness when members make mistakes so that improvements and corrections can be made.
2) Sufficiency in the economy, society, and culture: SESC.	2.1) Raising funds or circulating money within the group and managing money to have liquidity for regular spending. 2.2) Accumulating reserve funds for emergencies and accumulating savings orderly with continuity. 2.3) Operations of community businesses that involve cooperation, assistance in entrepreneurship, and development that are mutually supportive.

	2.4) Community business operations are consistent with the way of life and combine traditional knowledge with international wisdom in product development to create competitiveness and value for various products.
3) Sufficiency in technology: ST.	3.1) Having sufficient knowledge to solve problems or make repairs tools to use when problems arise by yourself. 3.2) Bringing the tools and equipment to operate properly and cost-effectively. 3.3) Using the tools appropriate for community appliances to reduce production costs. 3.4) Bringing the tools and equipment used in the group's operations helps increase efficiency and competitiveness.
4) Sufficiency in value, and creating added value of production: SVP.	4.1) Creating a variety of products from resources and capital in the community. 4.2) Using creativity to create value and added value from products and unique community resources. 4.3) Learning process that leads to adjustment of thinking methods practices and management methods of development according to potential and readiness. 4.4) Systematic management and operation of the business in terms of marketing, production, finance, accounting, and action plan to obtain quality products.

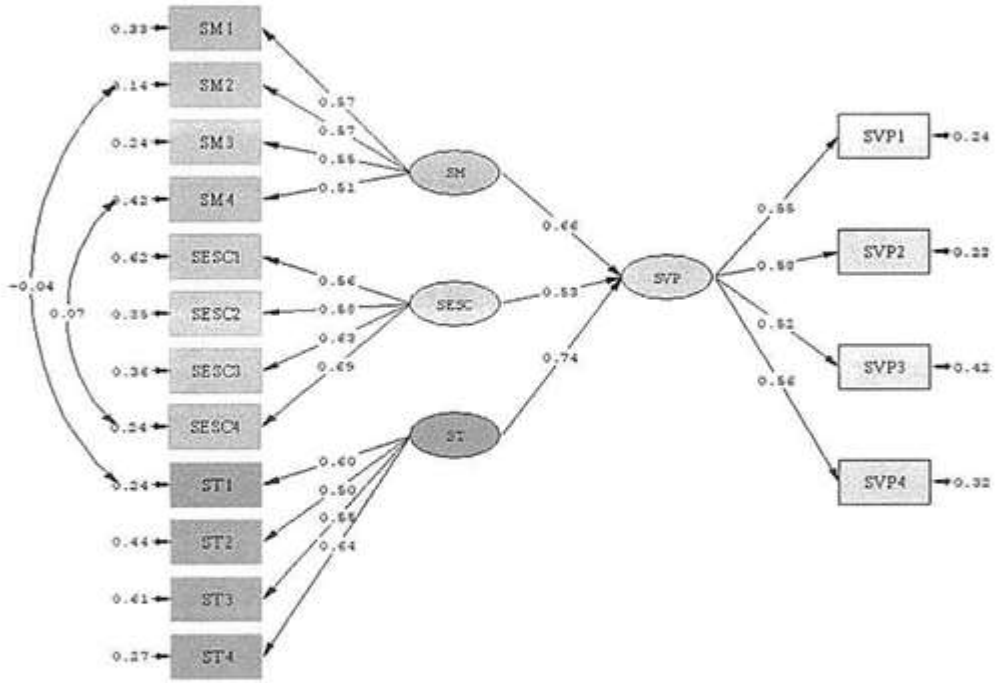
4.2 Causal factors of sufficiency economy scenarios based on community business operations affecting the value and income of sustainable community enterprises.

The causal factors of sufficiency economy scenarios based on community business operations affecting the value and income of sustainable community enterprises of 4 factors including sufficiency in mentality (SM), sufficiency in the economy, society, and culture (SESC), sufficiency in technology (ST), sufficiency in value, and creating added value of production (SVP). Wherein, the levels in sufficiency economy scenarios based on community business operations of 4 factors at the level of high levels (Mean of 4.26, Std. of 0.57), when considering each factor separately, it was found that the factor with the highest average value was sufficiency in value, and creating added value of production (Mean of 4.33, Std. of 0.54), followed by sufficiency in mentality (Mean of 4.30, Std. of 0.61), sufficiency in technology (Mean of 4.24, Std. of 0.56), the factor with the lowest average value was sufficiency in the economy, society, and culture (Mean of 4.16, Std. of 0.56), respectively. As for the skewness value, it was found that the data had a negative value, the values ranged from -0.507 to -0.750, showing that respondents had higher opinions on the level of each variable studied than the average. As for the kurtosis value, it was found that all variables had values between -0.114 and -0.909 (Kurtosis was less than 3), showing that the data, distribution is quite obtuse (Less curved) and has a lot of data distribution. While causal factors of sufficiency economy scenarios based on community business operations of 4 variables have direct and indirect influences affecting the value and income that are consistent with empirical data with statistical significance at the level of 0.01 of sustainable community enterprises, shown in Table 2, Figure 2, and Table 3.

Table 2. Mean, standard deviation, skewness, kurtosis, and variances.

Factors.	Mean.	Std.	Skewness.	Kurtosis.	Variances.
Sufficiency in mentality (SM).	4.30	0.61	-0.750	-0.237	0.369
Sufficiency in the economy, society, and culture (SESC).	4.16	0.59	-0.668	-0.909	0.343
Sufficiency in technology (ST).	4.24	0.56	-0.507	-0.114	0.314
Sufficiency in value, and creating added value of production (SVP).	4.33	0.54	-0.511	-0.414	0.297
Totals.	**4.26**	**0.57**			

Figure 2. The model is consistent with empirical data.



Chi-Square of 146.76, df of 94, RMR of 0.028, AGFI of 0.88, RMSEA of 0.049.

Table 3. **Causal variables in direct and indirect influences, and total influences.**

Causal variables.	Relationship.	Results variables
		Sufficiency in value, and creating added value of production (SVP).
Sufficiency in mentality (SM).	**DE.**	**0.66****
	IE.	**-**
	TE.	**0.66****

Sufficiency in the economy, society, and culture (SESC).	**DE.**	**0.56****
	IE.	**-**
	TE.	**0.56****
Sufficiency in technology (ST).	**DE.**	**0.74****
	IE.	**-**
	TE.	**0.74****

***Statistical significance at the level of 0.01.*

4.3 Guidelines for driving the sufficiency economy to create value and income in community business operations of sustainable community enterprises.

The guidelines for driving the sufficiency economy to create value and income in community business operations of 5 factors including moderation in community business operations, reasonableness in community business operations, immunity in community business operations, creating a knowledge base in the community, and having ethics in running community businesses of sustainable community enterprises in indicators, shown in Table 4.

Table 4. Factors and indicators of guidelines for driving the sufficiency economy to create value and income in community business operations of sustainable community enterprises.

Factors.	Indicators.
• **Moderation in community business operations.**	• Focusing on developing products with expertise, setting a vision for conducting business in a self-sufficient manner according to the potential of managing members and producing products based on the principles of sufficiency and appropriateness, taking care of returns to members in an efficient manner, fairly, encourage group members to live according to the sufficiency economy in sustainable development by using resources available in the community and locality appropriately and worthwhile.
• **Reasonableness in community business operations.**	• Deciding to conduct the group's business carefully, showing responsibility to creditors, funding sources, and members, planning community business management, managing members with business management that emphasizes member participation, a listening to the opinions of members who propose to develop the group, consider compensation to members and those who carry out additional activities of the group in producing products fairly, give importance to and be aware of the benefits, impacts, and opinions of stakeholders in business operations.
• **Immunity in community business operations.**	• Creating added value for products and managing risks in business operations by encouraging members to accumulate savings with the group in the form of savings groups, managing members with the division of roles and responsibilities by the group's operating activities, and

	sustainable development by creating a network of efficient business operators.
• Creating a knowledge base in the community.	• Using local wisdom and various local resources that are combined with modern management knowledge, strengthening the skills of members in creating careers from regular training and skill development, exchanging knowledge between the network group for developing creative products and goods that are unique to the community and have quality.
• Having ethics in running community businesses.	• Allocating returns to members and allocating profits for management, instilling ethics in business operations and development activities for members, as well as promoting fairness in doing business with all involved parties.

Discussion

The sufficiency economy scenarios are based on community business operations including sufficiency in mentality, sufficiency in economy, society, and culture, sufficiency in technology, sufficiency in value, and creating added value of production. Meanwhile, all factors directly and indirectly to the value and income of sustainable community enterprises were statistically significant at 0.01. The guidelines for driving the sufficiency economy to create value and income in community business operations include moderation in community business operations, reasonableness in community business operations, immunity in community business operations, creating a knowledge base in the community, and having ethics in running community businesses of sustainable community enterprises. All the sufficiency economy scenarios are based on community business operations it is an important mechanism for development to achieve sustainable growth through promoting community and local economies, strengthening the grassroots economy based on sustainable development by building potential and competitiveness. ability to be self-reliant on community enterprises. Wherein, the Sufficiency in mentality on adhering to the principles of sufficiency, reasonableness, self-immunity, knowledge, and morals based on sufficiency and self-reliance is a guideline for community business operations and operating at full potential and continuous [9]. While, focusing on developing products with expertise, setting a vision for conducting business in a self-sufficient manner according to the possibility of managing members and producing products based on the principles of sufficiency and appropriateness, taking care of returns to members in an efficient manner, fairly, encourage group members to live according to the sufficiency economy in sustainable development by using resources available in the community and locality appropriately and worthwhile. Development according to the sufficiency economy concept is the goal of creating stability and competitiveness, developing and strengthening human resources, creating opportunities and social equality, and creating economic growth and quality of life [18]. that is environmentally friendly. Therefore, the sufficiency economy scenarios are based on community business operations. Strengthening stability and developing products and goods requires quality and creative thinking, including creating products and goods that are unique and meet the needs of buyers of products and goods to create a community economy under the framework of using mechanisms to develop innovation in product production operations to be consistent with the sufficiency economy that raises the value and income, quality of life of the community to be self-reliant [2]. However, creating a knowledge

base in the community using local wisdom and various local resources that are combined with modern management knowledge, strengthening the skills of members in creating careers from regular training and skill development, exchanging knowledge between the network group for developing creative products and goods that are unique to the community and have quality.

While, integrating academic knowledge into the correct application of community enterprises from the ability to carefully manage available resources, cultivating awareness, and diligence in making a living to achieve sustainable growth through promoting a strong local community economy is an important strategy for development to achieve results efficiently [3,4]. The success factors arise from the knowledge and skills that exist in entrepreneurs and product producers of community enterprises that can create product value, adjust work processes, and develop entrepreneurs at the community economic level, for example, developing skills and knowledge, developing and upgrading products to promote competitiveness, upgrading the potential of products to international level, strengthening the potential for sustainable self-reliance leading to the creation of a new community economic base, connect and use technology to create marketing channels, financial management, and accounting systems [13], as well as develop human resources to have knowledge, abilities, and expertise to increase the capacity to create creative innovations to economic-based society, knowledge-based society, and culture-based society are creating a variety of products from resources and capital in the community [19]. In this regard, community business operations of productions by cultural capital and wisdom are important to building the business operations potential of community enterprises that create products and goods based on the use of knowledge, creativity work, and use of intellectual property, linked to the accumulation of knowledge, modern technology and innovation that create added value and increased income [20]. Knowledge-based economy and creative economy from adapting and adhering to sufficiency under the conditions of developing potential and ability that will lead to sustainable community enterprises from creating products and goods with the highest creativity and efficiency [7,10]. Using creativity to create value and added value from products and unique community resources, a learning process that leads to an adjustment of thinking methods practices and management methods of development according to potential and readiness, systematic management and operation of the business in terms of marketing, production, finance, accounting, and action plans to obtain quality products of sustainable community enterprises to effectiveness.

Conclusion

The sufficiency economy scenarios based on community business operations are as, 1) sufficiency in the mentality of adhering to the principles of sufficiency, reasonableness, self-immunity, knowledge, and morals based on sufficiency and self-reliance is a guideline for community business operations and operating at full potential and continuously, 2) sufficiency in the economy, society, and culture of community business operations are consistent with the way of life and combine traditional knowledge with international wisdom in product development to create competitiveness and value for various products, 3) sufficiency in the technology of bringing the tools and equipment to operate properly and cost-effectively, and using the tools appropriate for community appliances to reduce production costs, and 4) sufficiency in value, and creating added value of production in creating a variety of products from resources and capital in the community, using creativity to create value and added value from products and unique community resources, and the learning process that leads to an adjustment of thinking methods practices and management

methods of development according to potential and readiness including the systematic management and operation of the business in terms of marketing, production, finance, accounting, and action plans to obtain quality products. All factors directly and indirectly to the value and income of sustainable community enterprises were statistically significant levels of 0.01. The guidelines for driving the sufficiency economy to create value and income in community business operations are as, 1) moderation in community business operations focusing on developing products with expertise, setting a vision for conducting business in a self-sufficient manner, and producing products based on the principles of sufficiency and appropriateness, 2) reasonableness in community business operations of deciding to conduct the group's business carefully, planning community business management, 3) immunity in community business operations of creating added value for products, 4) creating a knowledge base in the community in using local wisdom and various local resources, creating careers from regular training and skill development, 5) having ethics in running community businesses of promoting fairness in doing business with all involved parties of sustainable community enterprises.

Suggestion

Applying the sufficiency economy scenarios is based on community business operations. It is an approach to development in a balanced way by linking and coordinating various sources of knowledge to exchange news and information with each other. This principle will stimulate awareness of economic development by exchanging knowledge and local wisdom to support the creation of new knowledge, including mobilizing and coordinating the use of human resources, materials, equipment, places, and money to be able to use shared resources to create continuous and efficient community business development, as well as make appropriate business practices, and use proactive strategies, preventive strategies, corrective strategies, reactive strategies, strategies To develop products and goods, strategies for adjusting knowledge for sustainable development and increasing strengths in assembly, strategies for creating a variety of marketing channels continuously and efficiently.

References

1. Tantivejkul, Sumet. (2019). Principles of thinking and practicing the philosophy of Sufficiency Economy. Bangkok: Chaipattana Foundation.
2. Chaipattana Foundation. (2020). Sufficiency economy and new theory. Bangkok: Amarin Printing.
3. Pimdee, P., Jedaman, P., Wang-Saorad, K., and Kinboon, N. (2017). Sufficiency Economy: Demission of Social Capital Development to the Pace of Change in the 21st Century of Thailand. *Journal of Sociology and Anthropology*, 5(9), 713-718. DOI: 10.13189/sa.2017.050903.
4. Wasi, Prawet. (2014). Morality leads the development of moral society strategies. Bangkok: Center for the Promotion and Development of Moral Land Power.
5. Muangyai, A. (2016). Approach to Enhancing the Potential of Community and Local in the Twenty-First Century. *Journal of Social Science and Humanity*, 6(3), 12-26.
6. Kongthanjaruanan, Rapassorn. (2016). Guidelines for developing community enterprises processing food products in Chiang Mai Province towards national trade. Case study:

Community products with a rating lower than 3 stars. *Journal of Buddhist Social Sciences and Anthropology*, 6(3), 1-12.

7. Routledge. Belas, J., Sopkova, G. (2016). A Model of Entrepreneurial Orientation. Transformation in Business & Economics, 15(38B), 630-645.
8. Ministry of Social Development and Human Security. (2018). Situation of Sufficiency Economy Philosophy to Build Human Security. Bangkok: Ministry, The Office.
9. Kleinhans, R. (2017). False promises of co-production in neighborhood regeneration: the case of Dutch community enterprises. Public Management Review, 19(10), 1500-1518.
10. Chakkraphong Nuanchuen. (2018). Guidelines for developing sustainable community enterprises with local wisdom. A case study of community enterprises in Nakhon Phanom and Sakon Nakhon provinces. National Defense College.
11. Jedaman, Pornchai. (2019). Sufficiency Economy: Dimensions and dynamics of sustainable human resource management in the new millennium. Maha Sarakham: Khum Printing.
12. Pibulsarawut, Preeyanuch. (2016). Philosophy of Sufficiency Economy and Educational Management. Bangkok: Crown Property Bureau.
13. Kongthanjaruanan, Rapassorn. (2016). Guidelines for developing community enterprises processing food products in Chiang Mai Province towards national trade. Case study: Community products with a rating lower than 3 stars. *Journal of Buddhist Social Sciences and Anthropology*, 6(3), 1-12.
14. Community Development Office. (2017). Rural Development Administration for Strengthening the Community: Self-Reliance Community Economic Strategy. Bangkok: Ministry of Interior, Thailand.
15. Debor, S. (2018). German Energy Cooperatives: A Rising Cosmopolitan Enterprise Community Multiplying Mighty Davids, 127-157.
16. Dodds, R., Ali, A., & Galaski, K. (2018). Mobilizing knowledge: Determining key elements for success and pitfalls in developing community-based tourism. *Journal of Current Issues in Tourism*, 21(13), 1547-1568.
17. Forcadell, F.J. and Guadamillas, F. (2016). A Case Study on the Implementation Knowledge Management Strategy Oriented to Innovation. *Journal of Knowledge and Process Management*, 9(3), 162-171.
18. Wongmanee, N. (2017). Applying Sufficiency Economy Philosophy to People's Living: A Case Study of Saithong Community. Chiangrai Province.Research report in public and private events: Silpakorn University, Thailand.
19. Kamphaengphet, Morakot. (2016). Entrepreneurs in the creative economy era. Chiang Mai: Far Eastern University.
20. Katasomboon, Hathaichanok. (2020). Developing community potential for creating a grassroots economy based on sustainable development. *Journal of MCU Peace Studies*, 8 (2), 460- 475.

Suantai et al. *Advances in Difference Equations* (2021) 2021:410
https://doi.org/10.1186/s13662-021-03565-9

Advances in Difference Equations
a SpringerOpen Journal

RESEARCH Open Access

Solving common nonmonotone equilibrium problems using an inertial parallel hybrid algorithm with Armijo line search with applications to image recovery

Suthep Suantai[1,2], Damrongsak Yambangwai[3] and Watcharaporn Cholamjiak[3*]

*Correspondence:
watcharaporn.ch@up.ac.th
[3]School of Science, University of Phayao, Phayao, 56000, Thailand
Full list of author information is available at the end of the article

Abstract

In this work, we modify the inertial hybrid algorithm with Armijo line search using a parallel method to approximate a common solution of nonmonotone equilibrium problems in Hilbert spaces. A weak convergence theorem is proved under some continuity and convexity assumptions on the bifunction and the nonemptiness of the common solution set of Minty equilibrium problems. Furthermore, we demonstrate the quality of our inertial parallel hybrid algorithm by using image restoration, as well as its superior efficiency when compared with previously considered parallel algorithms.

MSC: 47H04; 54H25; 47H10

Keywords: Armijo line search; Nonmonotone equilibrium problems; Bifunctions; Hilbert space; Inertial technique

1 Introduction

Let H be a real Hilbert space with the inner product $\langle \cdot, \cdot \rangle$ and induced norm $\| \cdot \|$ and let F be an open convex subset of H. In 1992, Muu and Oettli [25] introduced the equilibrium problem associated with ψ, which is finding $s \in C$ such that

$$\psi(s,t) \geq 0 \quad \text{for all } t \in C, \tag{1.1}$$

where C is a nonempty closed and convex subset of F and $\psi : F \times F \to \mathbb{R}$ is a bifunction with $\psi(s,s) = 0$ for all $s \in C$. The set of solutions of the problem (1.1) is denoted by $EP(\psi, C)$. For the Minty equilibrium problem (MEP), it was introduced by Castellani and Giuli [9] in 2013. This problem is associated with the equilibrium problem (1.1), which is to find $s \in C$ such that

$$\psi(t,s) \leq 0 \quad \text{for all } t \in C. \tag{1.2}$$

The solution set of the Minty equilibrium problem is represented as SM.

© The Author(s) 2021. This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/.

The equilibrium problem has been widely applied to study real world applications, which were unified by including as particular cases in applied mathematics like variational inequality, Nash equilibria, fixed point problem, optimization problem, saddle-point problems, complementarity problem; see, for instance, [1–3, 5, 15, 16]. When solving some problems in applications of engineering, economics, management science, and other areas, one needs to formulate them in equilibrium form; see, for example, [4, 6–8, 10, 12, 13, 18, 21, 22, 24, 25, 28].

In 2003, Dinh and Kim [11] introduced the projection algorithm with line search of a bifunction which is not required to be pseudomonotone to solve the equilibrium problem. A weak convergence theorem was proved under continuity and convexity assumptions on the bifunction ψ, which is not required to have any monotonicity property, and assuming the solution set of Minty equilibrium problem (1.2) is nonempty.

In 1964, the inertial extrapolation technique was introduced by Polyak [27] to speed up the convergence of the algorithm. After that, many mathematicians have improved it in many ways, see [19, 23, 26]. In 2018, Iyiola et al. [14] motivated the inertial-type algorithms with the algorithm of Dinh and Kim [11], they obtained convergence theorems and presented the following inertial-type iterative method with Armijo line search step-size which is faster and more efficient than the algorithm by Dinh and Kim [11].

Algorithm 1.1 *Step 1: Choose a sequence* $\{\epsilon_n\}_{n=1}^{\infty} \in l_1$ *and take* $\sigma \in (0,1)$, $\rho > 0$. *Select arbitrary points* $s_0 \in C_0, s_1 \in C_1; C_0 = C_1 = C$, *and* $\theta \in [0,1)$. *Set* $n := 1$.

Step 2: Given the iterates s_{n-1} *and* $s_n, n \geq 1$, *choose* θ_n *such that* $0 \leq \theta_n \leq \bar{\theta}_n$, *where*

$$\bar{\theta}_n = \begin{cases} \min\{\theta, \frac{\epsilon_n}{\|s_n - s_{n-1}\|^2}\} & s_n \neq s_{n-1}, \\ \theta & \text{otherwise.} \end{cases}$$

Step 3: Compute

$$t_n = s_n + \theta_n(s_n - s_{n-1}).$$

Step 4: Compute

$$u_n = \min\left\{\psi(t_n, v) + \frac{\rho}{2}\|v - t_n\|^2 : v \in C\right\},$$

if $u_n = s_n$, *then stop. Otherwise go to Step 5.*

Step 5: Find m_n *as the smallest nonnegative integer m satisfying*

$$\begin{cases} v_{n,m} = (1 - \sigma^m)t_n + \sigma^m v_n, \\ w_{n,m} \in \partial_2\psi(v_{n,m}, v_{n,m}), \\ \langle w_{n,m}, t_n - u_n\rangle \geq \frac{\rho}{2}\|u_n - t_n\|^2. \end{cases} \tag{1.3}$$

Set $\sigma_n := \sigma^{m_n}, v_n = v_{m,n}, w_n = w_{n,m_n}$.

Step 6: Compute

$$s_{n+1} = P_{C_{n+1}}(t_n), \tag{1.4}$$

where $C_{n+1} = C_n \cap H_n, H_n = \{x \in H : h_n(x) \leq 0\}$, *and*

$$h_n(x) := \langle w_n, x - u_n \rangle. \tag{1.5}$$

Step 7: *Set* $n \leftarrow n + 1$ *and go to Step* 2.

In this work, we focus on the common equilibrium problem (CEP), which is to find $s \in C$ such that

$$\psi_i(s, v) \leq 0 \quad \text{for all } v \in C, \tag{1.6}$$

where $\psi_i : F \times F \to \mathbb{R}$ is a bifunction with $\psi_i(s, s) = 0$ for all $i = 1, 2, \ldots, N$. Denote the solution set of the common Minty equilibrium problem (1.6) by CS_M.

Very recently, the parallel method was used to solve common problems in many improved algorithms. One of such is a parallel viscosity-type subgradient extragradient algorithm (PVTSE) introduced by Suantai et al. [29] for solving common variational inequalities. In this work, PVTSE algorithm was applied for solving image recovery problems with common types of blur effects. Note the similarity with the modified parallel hybrid subgradient extragradient (MHPSE), which is the algorithm that was used to solve common variational inequalities, constructed by Kitisak et al. [17].

Inspired and encouraged by the previous works, in this paper we proposed an inertial-type parallel monotone hybrid algorithm with Armijo line search for solving common nonmonotone equilibrium problems. A weak convergence theorem is established under some suitable conditions imposed on the bifunction ψ_i. In the last section, we apply our algorithms for solving unconstrained image recovery problems and compare our main algorithms with PVTSE [29] and MHPSE [17] algorithms. It is remarkable that our method has a better convergence rate.

2 Preliminaries

This section contains some definitions and basic results that will be used in our subsequent analyses. We next recall some properties of the projection, see [4] for more details. Let C be a nonempty closed and convex subset of a real Hilbert space H. Let $\{x_n\}$ be a sequence in H, we denote the weak convergence (strong convergence) of $\{x_n\}$ to a point $x \in H$ by $x_n \rightharpoonup x$ ($x_n \to x$), respectively.

Lemma 2.1 *Let* $h : H \to \mathbb{R}$ *be a real-valued function and* K *be a subset of* H *defined by* $K := \{u \in H : h(u) \leq 0\}$. *If* K *is nonempty and* h *is Lipschitz continuous on* C *with modulus* $\theta > 0$, *then*

$$d(u, K) \geq \theta^{-1} \max\{h(u), 0\} \quad \textit{for all } u \in C.$$

Definition 2.2 Let C be a nonempty closed and convex subset of a Hilbert space H. A function $\psi : C \to H$ is called *Lipschitz continuous* if there exists a real constant $K \geq 0$ such that

$$\|\psi(u) - \psi(v)\| \leq K\|u - v\| \quad \text{for all } u, v \in C.$$

Definition 2.3 A bifunction $\psi : C \times C \to \mathbb{R}$ is called *jointly weakly continuous* on $C \times C$ if for all $s, t \in C$ and $\{s_n\}, \{t_n\}$ being two sequences in C converging weakly to s and t, respectively, $\psi(s_n, t_n)$ converges to $\psi(s, t)$.

We now state the following assumptions which will be required in the sequel:

(A1) $\psi(u, \cdot)$ is convex on H for every $s \in H$;

(A2) ψ is jointly weakly continuous on $H \times H$.

For each $s, t \in H$, by $\partial_2 \psi(s, t)$ we denote the subdifferential of the convex function $\psi(s, \cdot)$ at t, i.e.,

$$\partial_2 \psi(s, t) := \left\{ x \in H : \psi(s, v) \geq \psi(s, t) + \langle x, v - t \rangle, \forall v \in H \right\}. \tag{2.1}$$

In particular,

$$\partial_2 \psi(s, s) = \left\{ x \in H : \psi(s, v) \geq \langle x, v - s \rangle, \forall v \in H \right\}. \tag{2.2}$$

In our main theorem, the following lemmas will be used in the convergence analysis.

Lemma 2.4 ([30]) *Let $\psi : H \times H \longrightarrow \mathbb{R}$ be a function satisfying conditions (A1) and (A2). Let $\bar{s}, \bar{t} \in H$ and $\{s_n\}, \{t_n\}$ be two sequences in H converging weakly to $\bar{s}, \bar{t}$, respectively. Then, for any $\epsilon > 0$, there exist $\eta > 0$ and $n_\epsilon \in \mathbb{N}$ such that*

$$\partial_2 \psi(s_n, t_n) \subset \partial_2 \psi(\bar{s}, \bar{t}) + \frac{\epsilon}{\eta} B,$$

for every $n \geq n_\epsilon$, where B denotes the closed unit ball in H.

Lemma 2.5 ([11]) *Suppose the bifunction ψ satisfies the assumptions (A1) and (A2). If $\{s_n\} \subset H$ is a sequence which converges strongly to $\bar{s}$ and a sequence $\{u_n\}$, with $u_n \in \partial_2 \psi(s_n, s_n)$, converges weakly to $\overline{u}$, then $\overline{u} \in \partial_2 \psi(\bar{s}, \bar{s})$.*

Lemma 2.6 ([11]) *Suppose the bifunction ψ satisfies the assumptions (A1) and (A2). If $\{s_n\} \subset C$ is bounded, $\rho > 0$, and $\{t_n\}$ is a sequence such that*

$$t_n = \arg\min \left\{ \psi(s_n, v) + \frac{\rho}{2} \|v - s_n\|^2 : v \in C \right\},$$

then $\{t_n\}$ is bounded.

Lemma 2.7 ([20]) *Assume $\phi_n \in [0, \infty)$ and $\delta_n \in \phi_n \in [0, \infty)$ satisfy:*

1. $\phi_{n+1} - \phi_n \leq \theta_n(\phi_n - \phi_{n-1}) + \delta_n$,
2. $\sum_{n=1}^{\infty} \delta_n < \infty$,
3. $\{\theta_n\} \subset [0, \theta]$, *where* $\theta \in (0, 1)$.

Then the sequence $\{\phi_n\}$ is convergent with $\sum_{n=1}^{\infty} [\phi_{n+1} - \phi_n]_+ < \infty$, where $[t]_+ := \max\{t, 0\}$ (for any $t \in \mathbb{R}$).

3 Main results

In this section, we introduce a modified parallel method with line search rule for solving the common equilibrium problem (1.6) and provide some comments regarding the iteration parameters.

Algorithm 3.1 *Step* 1: *Choose* $\sigma \in (0,1)$, $\rho > 0$. *Select arbitrary points* $s_0 \in C_0, s_1 \in C_1; C_0 = C_1 = C$ *and* $\{\theta_n\} \subset [0,\theta]$ *for some* $\theta \in [0,1)$. *Set* $n := 1$.

Step 2: *Compute*

$$t_n := s_n + \theta_n(s_n - s_{n-1}).$$

Step 3: *For each* $i = 1, 2, \ldots, N$, *compute*

$$u_n^i := \arg\min\left\{\psi_i(t_n, v) + \frac{\rho}{2}\|v - t_n\|^2 : v \in C\right\},$$

if $u_n^i = t_n, \forall i = 1, 2, \ldots, N$, *then stop. Otherwise go to Step* 4.

Step 4: *Find* m_n^i *as the smallest nonnegative integer* m^i *satisfying*

$$\begin{cases} v_{n,m^i}^i = (1-\sigma^{m^i})t_n + \sigma^{m^i}u_n^i, \\ w_{n,m^i}^i \in \partial_2\psi_i(v_{n,m^i}^i, v_{n,m^i}^i), \\ \langle w_{n,m^i}^i, t_n - u_n^i\rangle \geq \frac{\rho}{2}\|u_n^i - t_n\|^2. \end{cases} \tag{3.1}$$

Set $\sigma_n^i = \sigma^{m_n^i}$, $v_n^i = v_{n,m_n^i}^i$, $w_n^i = w_{n,m_n^i}^i$.

Step 5: *Compute*

$$x_n^i = P_{C_{n+1}^i}(t_n), \tag{3.2}$$

where $C_{n+1}^i = C_n^i \cap H_n^i, H_n^i = \{x \in H : f_n^i(x) \leq 0\}$, *and*

$$f_n^i(x) := \langle w_n^i, x - u_n^i\rangle. \tag{3.3}$$

Step 6: *Compute*

$$s_{n+1} = \operatorname{argmax}\left\{\|x_n^i - s_n\| : i = 1, \ldots, N\right\}.$$

Step 7: *Set* $n \leftarrow n+1$ *and go to Step* 2.

Remark 3.2 (1) It is clear that if $u_n^i = t_n$ for all $i = 1, 2, \ldots, N$, then t_n is a common solution of equilibrium problem (1.6).

(2) If $N = 1$, then Algorithm 3.1 reduces to Algorithm 1.2 of Iyiola et al. [14].

Lemma 3.3 *Suppose the solution set* CS_M *of the Minty equilibrium problem is nonempty. Then, the following hold*:

(i) *There exists an integer number* $m_i > 0$ *satisfying the following inequality*:

$$\langle w_{n,m^i}^i, t_n - u_n^i\rangle \geq \frac{\rho}{2}\|t_n - u_n^i\|^2 \quad \text{for all } w_{n,m^i}^i \in \partial_2\psi_i(v_{n,m^i}^i, v_{n,m^i}^i);$$

(ii) *The sequence* $\{s_n\}$ *generated by Algorithm* 3.1 *is well defined and belong to* C_n^i *for all* $i = 1, \ldots, N$.

Proof (i) We assume by contradiction that there exists $i \in \{1,\dots,N\}$ and for every positive integer m_i and $v_{n,m}^i = (1-\sigma^{m_i})t_n + \sigma^{m_i}u_n^i$, there exists $w_{n,m}^i \in \partial_2\psi_i(v_{n,m}^i, v_{n,m}^i)$ such that

$$\langle v_{n,m}^i, t_n - u_n^i\rangle < \frac{\rho}{2}\|t_n - u_n^i\|^2. \tag{3.4}$$

Observe that $v_{n,m}^i \to t_n$ as $m \to \infty$ and therefore, by Lemma 2.5, the sequence $\{w_{n,m}^i\}_{m=1}^{\infty}$ is bounded. Thus, we suppose that $w_{n,m}^i$ converges weakly to $\bar{w} \in C$. Taking the limit as $m \to \infty$ (noting that $v_{n,m}^i \to t_n$ and $w_{n,m}^i \rightharpoonup \bar{w}$) and using Lemma 2.6, we get $\bar{w} \in \partial_2\psi_i(t_n, t_n)$ and

$$\langle \bar{w}, t_n - u_n^i\rangle \le \frac{\rho}{2}\|u_n^i - t_n\|^2. \tag{3.5}$$

Moreover, since $\bar{w} \in \partial_2\psi_i(t_n, t_n)$, we have

$$\psi_i(t_n, u_n^i) \ge \psi_i(t_n, t_n) + \langle \bar{w}, u_n^i - t_n\rangle = \langle \bar{s}, u_n^i - t_n\rangle. \tag{3.6}$$

Combining with (3.5) yields

$$\psi_i(t_n, u_n^i) + \frac{\rho}{2}\|u_n^i - t_n\|^2 \ge 0,$$

which contradicts the fact that

$$\psi_i(t_n, u_n^i) + \frac{\rho}{2}\|u_n^i - t_n\|^2 < 0.$$

Thus, the line search is well defined.

(ii) We first show that C_n^i is nonempty. Indeed, by the assumption $CS_M \neq \emptyset$, for each $x^* \in CS_M$, we get $\psi_i(y, x^*) \le 0, \forall y \in C, \forall i = 1,\dots,N$. So, $\psi_i(v_n^i, x^*) \le 0, \forall n$. From the convexity of $\psi_i(v_n^i, \cdot)$, we have

$$\psi_i(v_n^i, y) \ge \psi_i(u_n^i, u_n^i) + \langle w_n^i, y - u_n^i\rangle, \quad \forall y \in C.$$

Therefore,

$$0 \ge \psi_i(v_n^i, x^*) \ge \langle w_n^i, x^* - u_n^i\rangle.$$

This implies that for each $i = 1, 2, \dots, N$, there exists $x_n^i \in C_{n+1}^i$. This means that $\{s_n\}$ is well defined. □

Theorem 3.4 *Suppose $CS_M \neq \emptyset$ and let Assumptions (A1), (A2) hold. If*

$$\sum_{n=1}^{\infty} \theta_n \|s_n - s_{n-1}\|^2 < \infty,$$

then the sequence $\{s_n\}$ generated by Algorithm 1.1 converges weakly to $z \in EP(C, \psi_i)$ for all $i = 1,\dots,N$.

Proof We split our proof into four steps below for the sake of clarity.

Step 1. We first show that $\{s_n\}$ is bounded and there exists a weak cluster point of $\{s_n\}$. Let $x^* \in CS_M$. Then from Lemma 3.3, we have that $x^* \in C_n^i$.

$$\|x_n^i - x^*\|^2 = \|P_{C_{n+1}^i}(t_n) - x^*\|^2 \leq \|t_n - x^*\|^2. \tag{3.7}$$

Also,

$$\begin{aligned}\|t_n - x^*\|^2 &= \|s_n + \theta_n(s_n - s_{n-1}) - x^*\|^2 \\ &= \|s_n - x^*\|^2 + 2\theta_n\langle s_n - x^*, s_n - s_{n-1}\rangle + \theta_n^2\|s_n - s_{n-1}\|^2. \end{aligned}\tag{3.8}$$

Observe that

$$2\langle s_n - x^*, s_n - s_{n-1}\rangle = \|s_n - x^*\|^2 - \|s_{n-1} - x^*\|^2 + \|s_n - s_{n-1}\|^2. \tag{3.9}$$

Thus, from (3.8) and (3.9), we have

$$\begin{aligned}\|x_n^i - x^*\|^2 &\leq \|t_n - x^*\|^2 \\ &= \|s_n - x^*\|^2 + \theta_n\left(\|s_n - x^*\|^2 - \|s_{n-1} - x^*\|^2\right) + \left(\theta_n + \theta_n^2\right)\|s_n - s_{n-1}\|^2 \\ &\leq \|s_n - x^*\|^2 + \theta_n\left(\|s_n - x^*\|^2 - \|s_{n-1} - x^*\|^2\right) + 2\theta_n\|s_n - s_{n-1}\|^2. \end{aligned}\tag{3.10}$$

By the definition of $\{s_n\}$, we have

$$\|s_{n+1} - x^*\|^2 \leq \|s_n - x^*\|^2 + \theta_n\left(\|s_n - x^*\|^2 - \|s_{n-1} - x^*\|^2\right) + 2\theta_n\|s_n - s_{n-1}\|^2. \tag{3.11}$$

Since $\sum_{n=1}^{\infty}\theta_n\|s_n - s_{n-1}\|^2 < \infty$, letting $\delta_n = 2\theta_n\|s_n - x\|^2$ and $\psi_n = \|s_n - x^*\|^2$, we deduce from Lemma 2.7 that the sequence $\{\|s_n - x^*\|^2\}$ is convergent. Thus, $\{s_n\}$ is bounded and $\sum_{n=1}^{\infty}[\|s_{n+1} - x^*\|^2 - \|s_n - x^*\|^2] < \infty$. Furthermore, since $\{s_n\}$ is bounded, there exists a subsequence $\{s_{n_k}\}$ of $\{s_n\}$ such that $s_{n_k} \rightharpoonup p \in H$.

Step 2. We now show that for each $i = 1, \ldots, N$, any weak accumulation point p of the sequence $\{s_n\}$ belongs to C_n^i for all n. Suppose that $\{s_{n_j}\} \subset \{s_n\}, s_{n_j} \rightharpoonup p$ as $j \to \infty$, and there exists n_0 such that $p \notin C_{n_0}^i$. Then by the closedness and convexity of $C_{n_0}^i, C_{n_0}^i$ is also weakly closed. Hence, there exists $n_{j_0} > n_0$ such that $s_{n_j} \notin C_{n_0}^i$ for all $n_j \geq n_{j_0}$, in particular $s_{n_{j_0}} \notin C_{n_0}^i$. This contradicts the fact that $s_{n_{j_0}} \in C_{n_{j_0}-1}^i \subset \cdots \subset C_{n_0+1}^i \subset C_{n_0}^i$. Therefore, $p \in C_n^i, \forall n$ or $p \in \bigcap_{n=0}^{\infty} C_n^i$. Since $C_n^i \subset B_n^i, \forall n$, this implies that $p \in \bigcap_{n=0}^{\infty} B_n^i$.

Step 3. Show that $p \in EP(C, \psi_i)$ for all $i = 1, \ldots, N$.

Using Algorithm 3.1, we have

$$\begin{aligned}\|x_n^i - x^*\|^2 &= \|P_{C_{n+1}^i}(t_n) - x^*\|^2 \\ &= \|\left(P_{C_{n+1}^i}(t_n) - t_n\right) + \left(t_n - x^*\right)\|^2 \\ &= \|t_n - x^*\|^2 + \left(\|P_{C_{n+1}^i}(t_n) - t_n\|^2 + 2\langle P_{C_{n+1}^i}(t_n) - t_n, t_n - x^*\rangle\right) \\ &= \|t_n - x^*\|^2 + \left(\|P_{C_{n+1}^i}(t_n) - t_n\|^2 + 2\langle P_{C_{n+1}^i}(t_n) - t_n, t_n - P_{C_{n+1}^i}(t_n)\rangle\right. \\ &\quad \left. + 2\langle P_{C_{n+1}^i}(t_n) - t_n, P_{C_{n+1}^i}(t_n) - x^*\rangle\right). \end{aligned}\tag{3.12}$$

Hence,

$$\left\|x_n^i - x^*\right\|^2 = \left\|t_n - x^*\right\|^2 - \left(\|P_{C_{n+1}^i} t_n - t_n\|^2 + 2\langle P_{C_{n+1}^i} t_n - t_n, P_{C_{n+1}^i} t_n - x^*\rangle\right). \tag{3.13}$$

This implies that

$$\left\|s_{n+1} - x^*\right\|^2 = \left\|t_n - x^*\right\|^2 - \left(\|P_{C_{n+1}^i} t_n - t_n\|^2 + 2\langle P_{C_{n+1}^i} t_n - t_n, P_{C_{n+1}^i} t_n - x^*\rangle\right). \tag{3.14}$$

From (3.10) and (3.14), we have

$$\begin{aligned}\|P_{C_{n+1}^i} t_n - t_n\|^2 &\le \left\|t_n - x^*\right\|^2 - \left\|s_{n+1} - x^*\right\|^2 + 2\langle P_{C_{n+1}^i} t_n - t_n, P_{C_{n+1}^i} t_n - x^*\rangle \\ &\le \left\|s_n - x^*\right\|^2 - \left\|s_{n+1} - x^*\right\|^2 + \theta_n\left(\left\|s_n - x^*\right\|^2 - \left\|s_{n-1} - x^*\right\|^2\right) \\ &\quad + 2\theta_n\|s_n - s_{n-1}\|^2 + 2\langle P_{C_{n+1}^i} t_n - t_n, P_{C_{n+1}^i} t_n - x^*\rangle.\end{aligned} \tag{3.15}$$

Clearly, from $P_C s \in C$ and $\langle s - P_C s, P_C s - y\rangle \ge 0, \forall y \in C$, we get $\langle P_{C_{n+1}^i} t_n - t_n, P_{C_{n+1}^i} t_n - x^*\rangle \le 0$, and $\lim_{n\to\infty} \theta_n\|s_n - s_{n-1}\|^2 = 0$ from the assumption $\sum_{n=1}^{\infty} \theta_n\|s_n - s_{n-1}\|^2 < \infty$. Thus from (3.15), we conclude that

$$\lim_{n\to\infty} \|P_{C_{n+1}^i} t_n - t_n\| = 0, \quad \forall i = 1, \ldots, N. \tag{3.16}$$

From $t_n = s_n + \theta_n(s_n - s_{n-1})$, we get

$$\|t_n - s_n\|^2 \le \theta_n\|s_n - s_{n-1}\|^2 \to 0,$$

and hence

$$\|t_n - s_n\| \to 0, \quad n \to \infty. \tag{3.17}$$

Since $s_{n_j} \to p$, it follows from (3.17) that $t_{n_j} \to p$. Observe that h_n^i is Lipschitz continuous with modulus $M_i > 0$ for all $i = 1, \ldots, N$. It follows from Lemmas 2.1 and 3.3 that

$$\begin{aligned}\left\|x_n^i - x^*\right\|^2 &= \left\|P_{C_{n+1}} t_n - x^*\right\|^2 \\ &\le \left\|t_n - x^*\right\|^2 - \|P_{C_{n+1}^i} t_n - t_n\|^2 \\ &= \left\|t_n - x^*\right\|^2 - \operatorname{dist}^2(t_n, C_{n+1}^i) \\ &\le \left\|t_n - x^*\right\|^2 - \left(\frac{1}{M_i} h_n^i(t_n)\right)^2 \\ &\le \left\|t_n - x^*\right\|^2 - \left(\frac{1}{2M_i}\rho\sigma_n^i\left\|t_n - u_n^i\right\|^2\right)^2.\end{aligned} \tag{3.18}$$

From (3.17) and (3.18), we obtain that

$$\left(\frac{1}{2M_i}\rho\sigma_n^i\left\|t_n - u_n^i\right\|^2\right)^2 \le \left\|t_n - x^*\right\|^2 - \left\|x_n^i - x^*\right\|^2. \tag{3.19}$$

It follows from (3.16) that $\sigma_n^i\|t_n - u_n^i\|^2 \to 0$ as $n \to \infty$ for all $i = 1, \ldots, N$.

Case I. Suppose that for each $i = 1, \ldots, N$,

$$\liminf_{n\to\infty} \sigma_n^i > 0.$$

Then

$$0 \le \left\| t_n - u_n^i \right\|^2 = \frac{\sigma_n^i \|t_n - u_n^i\|^2}{\sigma_n^i},$$

which implies that

$$\begin{aligned} \limsup_{n\to\infty} \left\| t_n - u_n^i \right\|^2 &\le \limsup_{n\to\infty} \left(\sigma_n^i \left\| t_n - u_n^i \right\|^2\right) \left(\limsup_{n\to\infty} \frac{1}{\sigma_n^i}\right) \\ &= \limsup_{n\to\infty} \left(\sigma_n^i \left\| t_n - u_n^i \right\|^2\right) \left(\frac{1}{\liminf_{n\to\infty} \sigma_n^i}\right) = 0. \end{aligned} \tag{3.20}$$

Thus,

$$\lim_{n\to\infty} \left\| t_n - u_n^i \right\| = 0, \tag{3.21}$$

for all $i = 1, \ldots, N$. From (3.17) and (3.21), we get

$$\left\| t_n - u_n^i \right\| \le \|t_n - s_n\| + \left\| t_n - u_n^i \right\| \to 0, \quad n \to \infty. \tag{3.22}$$

Since $s_{n_j} \to p$ and due to (3.22), it follows that $u_{n_j}^i \to p$ as $j \to \infty$ for all $i = 1, \ldots, N$. By the definition of $u_{n_j}^i$, we have

$$0 \in \partial_2 \psi_i\left(t_{n_j}, u_{n_j}^i\right) + \rho\left(u_{n_j}^i - t_{n_j}\right) + N_C\left(u_{n_j}^i\right).$$

So, there exist

$$v_{n_j}^i \in \partial_2 \psi_i\left(t_{n_j}, u_{n_j}^i\right) \quad \text{and} \quad \overline{v}_{n_j}^i \in N_C\left(u_{n_j}^i\right).$$

This implies that

$$\left\langle \overline{v}_{n_j}^i, u_{n_j}^i - y \right\rangle = \left\langle v_{n_j}^i, y - u_{n_j}^i \right\rangle + \rho \left\langle u_{n_j}^i - t_{n_j}, y - u_{n_j}^i \right\rangle.$$

Combining with

$$\psi_i(t_{n_j}, y) - \psi_i\left(t_{n_j}, u_{n_j}^i\right) \ge \left\langle v_{n_j}^i, y - u_{n_j}^i \right\rangle, \quad \forall y \in C,$$

we have

$$\psi_i(t_{n_j}, y) - \psi_i\left(t_{n_j}, u_{n_j}^i\right) + \rho \left\langle u_{n_j}^i - t_{n_j}, y - u_{n_j}^i \right\rangle \ge 0, \quad \forall y \in C. \tag{3.23}$$

Taking $j \to \infty$, by the jointly weak continuity of ψ_i, (3.17) and (3.21), we obtain that

$$\psi_i(p, y) - \psi_i(p, p) \ge 0.$$

Hence

$$\psi_i(p, y) \geq 0, \quad \forall y \in C,$$

which implies that $p \in EP(C, \psi_i)$ for all $i = 1, \ldots, N$.

Case II. Suppose $\lim_{n\to\infty} \sigma_n^i = 0$ for all $i = 1, 2, \ldots, N$.

Then from the boundedness of $\{u_n^i\}$, there exists $\{u_{n_k}^i\} \subset \{u_n^i\}$ such that $u_{n_k}^i \to \overline{u}^i$ as $k \to \infty$. Replacing y by t_{n_k} in (3.23), we have

$$\psi_i\left(t_{n_k}, u_{n_k}^i\right) + \rho \left\| u_{n_k}^i - t_{n_k} \right\|^2 \leq 0. \tag{3.24}$$

Moreover, by the Armijo line search rule (3.1), for $m_{n_k-1}^i$, there exists $w_{n_k, m_{n_k-1}^i}^i \in \partial_2 \psi_i(v_{n_k, m_{n_k-1}^i}^i, v_{n_k, m_{n_k-1}^i}^i)$ such that

$$\left\langle w_{n_k, m_{n_k-1}^i}^i, t_{n_k} - u_{n_k}^i \right\rangle < \frac{\rho}{2} \left\| u_{n_k}^i - t_{n_k} \right\|^2. \tag{3.25}$$

By the convexity of $\psi_i(v_{n_k, m_{n_k-1}^i}^i, \cdot)$ and due to (3.25), for

$$w_{n_k, m_{n_k-1}^i}^i \in \partial_2 \psi_i\left(v_{n_k, m_{n_k-1}^i}^i, v_{n_k, m_{n_k-1}^i}^i\right),$$

we have

$$\begin{aligned} \psi_i\left(v_{n_k, m_{n_k-1}^i}^i, u_{n_k}^i\right) &\geq \psi_i\left(v_{n_k, m_{n_k-1}^i}^i, v_{n_k, m_{n_k-1}^i}^i\right) + \left\langle w_{n_k, m_{n_k-1}^i}^i, u_{n_k}^i - v_{n_k, m_{n_k-1}^i}^i \right\rangle \\ &= \left(1 - \sigma^{m_{n_k-1}^i}\right) \left\langle w_{n_k, m_{n_k-1}^i}^i, u_{n_k}^i - t_{n_k} \right\rangle \\ &> -\left(1 - \sigma^{m_{n_k-1}^i}\right) \frac{\rho}{2} \left\| u_{n_k}^i - t_{n_k} \right\|^2. \end{aligned} \tag{3.26}$$

From (3.24) and (3.26), we obtain

$$\begin{aligned} \psi_i\left(v_{n_k, m_{n_k-1}^i}^i, u_{n_k}^i\right) &\geq -\left(1 - \sigma^{m_{n_k-1}^i}\right) \frac{\rho}{2} \left\| u_{n_k}^i - t_{n_k} \right\|^2 \\ &\geq \frac{1}{2}\left(1 - \sigma_{n_k-1}^i\right) \psi_i\left(t_{n_k} - u_{n_k}^i\right). \end{aligned} \tag{3.27}$$

By (3.1), since $v_{n_k, m_{n_k-1}^i}^i = (1 - \sigma^{m_{n_k-1}^i}) t_{n_k} + \sigma^{m_{n_k-1}^i} u_{n_k}^i, \sigma_{m_{n_k-1}^i} \to 0$, and t_{n_k} converges weakly to p, $u_{n_k}^i$ converges weakly to $\overline{u}^i$ for all $i = 1, 2, \ldots, N$, this implies that $v_{n_k, m_{n_k-1}^i}^i \to p$ as $k \to \infty$. Since $\{\| u_{n_k}^i - t_{n_k} \|^2\}$ is bounded, without loss of generality, we may assume that $\lim_{k\to\infty} \| u_{n_k}^i - t_{n_k} \|^2$ exists for all $i = 1, \ldots, N$. Hence, we get in the limit (3.27) that

$$\psi_i\left(p, \overline{u}^i\right) \geq 0 \geq \frac{1}{2} \psi\left(p, \overline{u}^i\right). \tag{3.28}$$

Therefore, $\psi_i(p, \overline{u}^i) = 0$, $\overline{u}^i = p, \forall i = 1, \ldots, N$ and $\lim_{k\to\infty} \| u_{n_k}^i - t_{n_k} \|^2 = 0$. By Case I, it is immediate that $p \in EP(C, \psi_i)$ for all $i = 1, \ldots, N$.

Step 4. We show that $\{s_n\}$ converges weakly to a point $p \in EP(C, \psi_i)$. Now, let x^* and p be two accumulation points of $\{s_n\}$. Then there exists $\{s_{n_j}\} \subset \{s_n\}$ such that $s_{n_j} \rightharpoonup p$ and $\{s_{n_k}\} \subset \{s_n\}$ such that $s_{n_k} \rightharpoonup x^*$. Using similar arguments as in Step 2 above, we can show that $x^*, p \in \bigcap_{n=0}^{\infty} C_n$. Let $\lim_{n\to\infty} \|s_n - x^*\|^2 = \alpha$. Then

$$\begin{aligned}
\alpha &= \lim_{n\to\infty} \|s_n - x^*\|^2 = \lim_{j\to\infty} \|s_{n_j} - x^*\|^2 \\
&= \lim_{j\to\infty} \left[\|s_{n_j} - p\|^2 + 2\langle s_{n_j} - p, p - x^*\rangle + \|p - x^*\|^2\right] \\
&= \lim_{j\to\infty} \left[\|s_{n_j} - p\|^2 + \|p - x^*\|^2\right] \\
&= \lim_{n\to\infty} \left[\|s_n - p\|^2 + \|p - x^*\|^2\right] \\
&= \lim_{n\to\infty} \left[\|s_n - x^*\|^2 + 2\|p - x^*\|^2\right].
\end{aligned}$$

Therefore, $\|p - x^*\| = 0$, and so $\{s_n\}$ converges weakly to p. This completes the proof. □

4 Application to image restoration problems

The image restoration problem can be modeled by the linear equation system which is equivalent to a matrix equation of the form

$$b = As + v, \tag{4.1}$$

where $s \in \mathbb{R}^{n\times 1}$ is the original image, $b \in \mathbb{R}^{n\times 1}$ is the observed image, $v \in \mathbb{R}^{n\times 1}$ is additive noise, and $A \in \mathbb{R}^{n\times n}$ is the blurring operation. In order to solve problem (4.1), we aim to approximate the original image, vector s, by minimizing the additive noise, which is known as the following least squares (LS) problem:

$$\min_s \frac{1}{2}\|b - As\|_2^2, \tag{4.2}$$

where $\|\cdot\|$ is the ℓ_2-norm defined by $\|s\|_2 = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} |s_i|^2}$. The solution of (4.2) can be estimated by many well-known iteration methods.

Blur is an unsharp image area caused by camera or subject movement, inaccurate focusing, or the use of an aperture that gives a shallow depth of field. The blur effects are filters that smooth transitions and decrease contrast by averaging the pixels next to hard edges of defined lines and areas where there is significant color transition. In a digital image there are many types of blur effects, i.e., Gaussian blur, out of focus blur, and motion blur. In image restoration problems, the goal is to deblur an image without knowing the blurring operator. So, we define this goal to the following problem:

$$\min_{s\in\mathbb{R}^n} \frac{1}{2}\|A_1 s - b_1\|_2^2, \quad \min_{s\in\mathbb{R}^n} \frac{1}{2}\|A_2 s - b_2\|_2^2, \quad \ldots \quad \min_{s\in\mathbb{R}^n} \frac{1}{2}\|A_N s - b_N\|_2^2, \tag{4.3}$$

where s is the original true image, A_i is the blurring matrix, b_i is the blurred image obtained by using the blurring matrix A_i for all $i = 1, 2, \ldots, N$. The set of common solutions of the problem (4.3) is denoted by Ω, which is nonempty. We can apply the proposed algorithm

Figure 1 The original RGB image of size 289 × 448

(Algorithm 3.1) to solve the problem (4.3) by setting $\psi_i(s,t) = \langle A_i^T(A_i s - b_i), t - s\rangle$ for all $s,t \in \mathbb{R}^{n\times 1}$. Both theoretical and experimental results demonstrate the convergence properties of the proposed algorithm in this section. However, for showing the effectiveness of the proposed algorithm, the PVTSE [29] and MHPSE [17] algorithms are also applied to compare.

The Cauchy error of PVTSE, MHPSE, and the proposed algorithm is defined as $\|s_n - s_{n-1}\|_{\infty} < 10^{-8}$. The performance of the compared algorithms at s_n on the image restoring process is measured quantitatively by the means of the peak signal-to-noise ratio (PSNR), which is defined by

$$\mathrm{PSNR}(s_n) = 20\log_{10}\left(\frac{255^2}{MSE}\right),$$

where $\mathrm{MSE} = \|s_n - s\|_2^2$.

Next, we will present the restoration of images that have been corrupted by the following blur types:

Type I. Gaussian blur of filter size 9×9 with standard deviation $\sigma = 4$ (the original image has been degraded by the blurring matrix A_1).

Type II. Out of focus blur (disk) with radius $r = 6$ (the original image has been degraded by the blurring matrix A_2).

Type III. Motion blur specified with motion length of 21 pixels (len = 21) and motion orientation 11° ($\theta = 11$) (the original image has been degraded by the blurring matrix A_3).

The RGB format for the color image shown in Fig. 1 is used to demonstrate the effectiveness and practicality of our algorithm compared with PVTSE and MHPSE algorithms.

The three different types of the original RGB image degraded by the blurring matrices A_1, A_2, and A_3 are shown in Fig. 2.

We choose $\eta = 0.1$ and $\rho = 0.5$, and θ_n can be chosen such that $0 \le \theta_n \le \bar{\theta}_n$ and

$$\bar{\theta}_n = \begin{cases} \min\{\frac{1}{n^2\|s_n - s_{n-1}\|^2}, 0.25\} & \text{if } s_n \neq s_{n-1}, \\ 0.25 & \text{otherwise.} \end{cases}$$

After that, we apply PVTSE, MHPSE, and the proposed algorithms to get the solution of the deblurring problem with one of the three blurring matrices A_1, A_2, and A_3. The results

Figure 2 The original RGB image degraded by blurring matrices A_1, A_2, and A_3, respectively

Figure 3 The reconstructed RGB image with its PSNR (decimal cutting) for all cases with the PVTSE algorithm being used, after 500 iterations

of the PVTSE, MHPSE, and the proposed algorithms are demonstrated on the following cases:

Case I. Inputting A_1 to PVTSE, MHPSE, and the proposed algorithms.
Case II. Inputting A_2 to PVTSE, MHPSE, and the proposed algorithms.
Case III. Inputting A_3 to PVTSE, MHPSE, and the proposed algorithms.
Case IV. Inputting A_1 and A_2 to PVTSE, MHPSE, and the proposed algorithms.
Case V. Inputting A_1 and A_3 to PVTSE, MHPSE, and the proposed algorithms.
Case VI. Inputting A_2 and A_3 to PVTSE, MHPSE, and the proposed algorithms.
Case VII. Inputting A_1, A_2, and A_3 to the PVTSE, MHPSE, and the proposed algorithms.

Next, the common solutions of the deblurring problem for all cases under the three blurring matrices A_1,A_2, and A_3 by using PVTSE, MHPSE, and the proposed algorithms are presented. The restored images using these three algorithms after 500 iterations for all seven cases are shown in Figs. 3–5.

From Figs. 3–5, we see that the common solution of the deblurring problem with ($N > 1$) improves the quality of the considered image. And when all blurring matrices are used in finding the common solution of the deblurring problem, we get the best quality of the re-

Figure 4 The reconstructed RGB image with its PSNR (decimal cutting) for all cases with the MHPSE algorithm being used, after 500 iterations

Figure 5 The reconstructed RGB image with its PSNR (decimal cutting) for all cases with the proposed algorithm being used, after 500 iterations

covered RGB image. Moreover, it has been found that the recovered RGB image obtained by the proposed algorithm has the highest PSNR compared with the PVTSE and MHPSE algorithms.

Next, the behavior of Cauchy error, the peak signal-to-noise ratio (PSNR), and the number of line search steps per each iteration for recovering processes of the degraded RGB image by using the PVTSE, MHPSE, and the proposed algorithms with 20,000 iterations are demonstrated.

The quality improvements of the reconstructed RGB images based on PSNR being used are also illustrated for these three algorithms in Fig. 6. Their PSNR are also increased as the

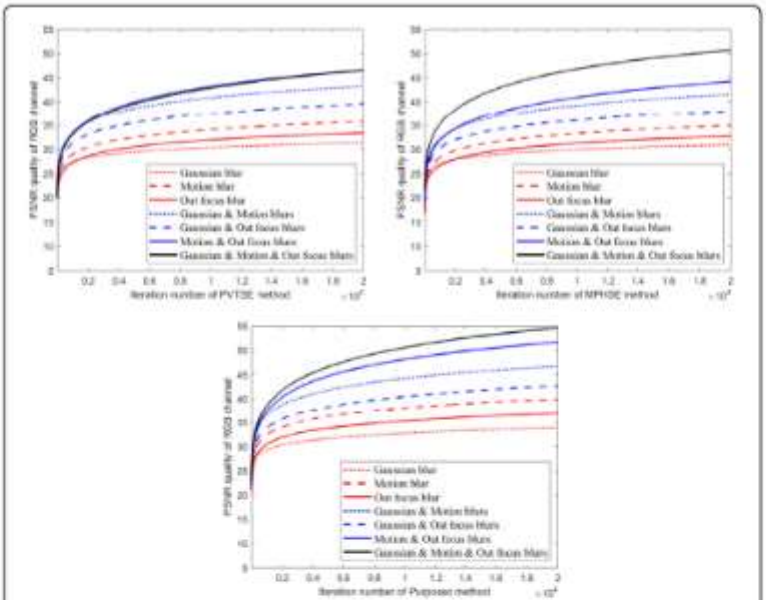


Figure 6 PSNR quality plots of PVTSE, MHPSE, and the proposed algorithms in all cases of RGB images

number of iterations is increased. The proposed method always gives a maximum value of PSNR when more than one blurring matrix is used in finding the common solution of the deblurring problem compared with PVTSE and MHPSE methods.

The Cauchy error plots show the validity and confirm the convergence of PVTSE, MHPSE, and the proposed methods. It is remarkable that the Cauchy error plot of MHPSE is decreased as the number of iterations is increased. There was an oscillation on the Cauchy error plot throughout the iterations of the PVTSE algorithm. And a gentle oscillation has occurred at the beginning of the iteration for the proposed algorithm. After that the Cauchy error plot of the proposed algorithm is also decreased as the number of iterations is increased. Moreover, it can be seen that the proposed algorithms always give the smallest number of line search steps on each iteration compared with PVTSE and MHPSE algorithms. Through these results, it is shown that the proposed algorithm produces excellent efficiency compared with PVTSE and MHPSE algorithms.

5 Conclusion

In this work, we use a parallel method combining inertial hybrid algorithm with Armijo line search for solving common nonmonotone equilibrium problems. A weak convergence theorem is established under some suitable conditions imposed on the bifunction ψ_i. Moreover, we apply our algorithms for solving unconstrained image recovery problems and show superior efficiency of our proposed algorithm when the number of subproblems are increased; see Fig. 5. Finally, we compare our main algorithms with PVTSE [29]

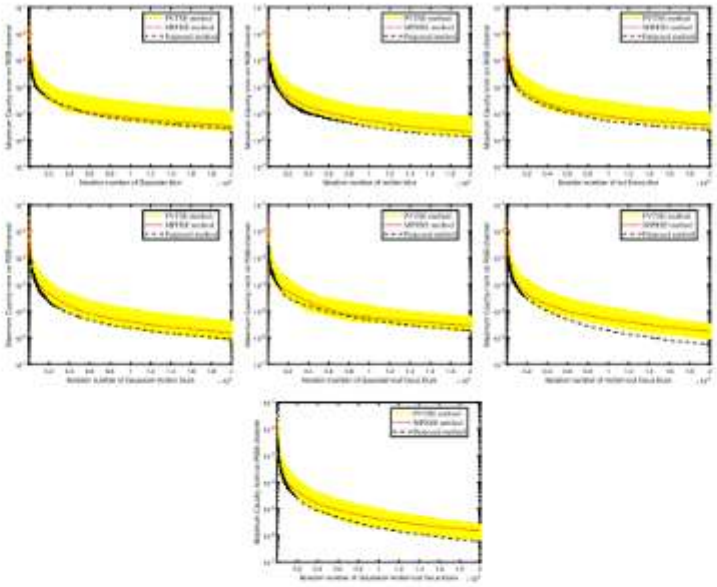


Figure 7 Cauchy error plots of PVTSE, MHPSE, and the proposed algorithms in all cases of RGB images

and MHPSE [17] algorithms. It is remarkable that our proposed algorithm has a better convergence rate; see Figs. 6–7.

Acknowledgements
S. Suantai would like to thank Chiang Mai University, Thailand. W. Cholamjiak would like to thank Thailand Science Research and Innovation under the project IRN62W0007 and University of Phayao, Thailand. D. Yambangwai would like to thank the Thailand Science Research and Innovation Fund and the University of Phayao (Grant No. FF64-UoE002).

Funding
Chiang Mai University, Thailand.

Availability of data and materials
Contact the authors for data requests.

Competing interests
The authors declare that they have no competing interests.

Authors' contributions
The authors equally conceived the study, participated in its design and coordination, drafted the manuscript, participated in the sequence alignment, and read and approved the final manuscript.

Author details
[1]Research Center in Mathematics and Applied Mathematics, Department of Mathematics, Faculty of Science, Chiang Mai University, Chiang Mai, 50200, Thailand. [2]Data Science Research Center, Department of Mathematics, Faculty of Science, Chiang Mai University, Chiang Mai, 50200, Thailand. [3]School of Science, University of Phayao, Phayao, 56000, Thailand.

Publisher's Note
Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Received: 9 June 2021 Accepted: 23 August 2021 Published online: 08 September 2021

References

1. Attouch, H., Czarnecki, M.O.: Asymptotic control and stabilization of nonlinear oscillators with nonisolated equilibria. J. Differ. Equ. **179**(1), 278–310 (2000)
2. Attouch, H., Goudon, X., Redont, P.: The heavy ball with friction. I. The continuous dynamical system. Commun. Contemp. Math. **2**(1), 1–34 (2000)
3. Attouch, H., Peypouquet, J., Redont, P.: A dynamic approach to an inertial forward–backward algorithm for convex minimization. SIAM J. Optim. **24**(1), 232–256 (2014)
4. Bauschke, H.H., Combettes, P.L.: Convex Analysis and Monotone Operator Theory in Hilbert Spaces. CMS Books in Mathematics. Springer, New York (2011)
5. Beck, A., Teboulle, M.: A fast iterative shrinkage-thresholding algorithm for linear inverse problems. SIAM J. Imaging Sci. **2**(1), 183–202 (2009)
6. Bigi, G., Pappalardo, M., Passacantando, M.: Existence and solution methods for equilibria. Eur. J. Oper. Res. **227**(1), 1–11 (2013)
7. Blum, E., Oettli, W.: From optimization and variational inequalities to equilibrium problems. Math. Stud. **63**(1–4), 123–145 (1994)
8. Bot, R.I., Csetnek, E.R.: An inertial forward–backward–forward primal–dual splitting algorithm for solving monotone inclusion problems. Numer. Algorithms **71**(3), 519–540 (2016)
9. Castellani, M., Giuli, M.: Refinements of existence results for relaxed quasi-monotone equilibrium problems. J. Glob. Optim. **57**(4), 1213–1227 (2013)
10. Daniele, P., Giannessi, F., Maugeri, A. (eds.): Equilibrium Problems and Variational Models. Nonconvex Optimization and Its Application, vol. 68. Kluwer, Norwell (2003)
11. Dinh, B.V., Kim, D.S.: Projection algorithms for solving nonmonotone equilibrium problems in Hilbert space. J. Comput. Appl. Math. **302**, 106–117 (2016)
12. Giannessi, F., Maugeri, A., Pardalos, P.M. (eds.): Equilibrium Problems: Nonsmooth Optimization and Variational Inequality Models. Kluwer, Dordrecht (2001)
13. Iusem, A.N., Sosa, W.: Iterative algorithm for equilibrium problems. Optimization **52**(3), 301–316 (2003)
14. Iyiola, O.S., Ogbuisi, F.U., Shehu, Y.: An inertial type iterative method with Armijo linesearch for nonmonotone equilibrium problems. Calcolo **55**, 52 (2018)
15. Jleli, M., Karapinar, E., Petrusel, A., Samet, B., Vetro, C.: Optimization problems via best proximity point analysis. Abstr. Appl. Anal. **2014**, 178040 (2014)
16. Karapinar, E., Sintunavarat, W.: The existence of optimal approximate solution theorems for generalized α-proximal contraction non-self-mappings and applications. Fixed Point Theory Appl. **2013**, 323 (2013)
17. Kitkuan, P., Cholamjiak, W., Yambangwai, D., Jaidee, R.: A modified parallel hybrid subgradient extragradient method for finding common solutions of variational inequality problems. Thai J. Math. **18**(1), 261–274 (2020)
18. Konnov, I.V.: Equilibrium Models and Variational Inequalities. Elsevier, Amsterdam (2007)
19. Lorenz, D.A., Pock, T.: An inertial forward–backward algorithm for monotone inclusions. J. Math. Imaging Vis. **51**, 311–325 (2015)
20. Mainge, P.E.: Convergence theorem for inertial KM-type algorithms. J. Comput. Appl. Math. **219**(1), 223–236 (2008)
21. Mastroeni, G.: On auxiliary principle for equilibrium problems. In: Daniele, P., Giannessi, F., Maugeri, A. (eds.) Equilibrium Problems and Variational Models, pp. 289–298. Kluwer, Dordrecht (2003)
22. Moudafi, A.: Proximal point algorithm extended to equilibrium problems. J. Nat. Geom. **15**(1–2), 91–100 (1999)
23. Moudafi, A., Oliny, M.: Convergence of a splitting inertial proximal method for monotone operators. J. Comput. Appl. Math. **155**, 447–454 (2003)
24. Muu, L.D.: Stability property of a class of variational inequalities. Math. Operationsch. Stat., Ser. Optim. **15**(3), 347–353 (1984)
25. Muu, L.D., Oettli, W.: Convergence of an adaptive penalty scheme for finding constrained equilibria. Nonlinear Anal. **18**(12), 1159–1166 (1992)
26. Nesterov, Y.E.: A method for solving the convex programming problem with convergence rate $O(1/k^2)$. Dokl. Akad. Nauk SSSR **269**, 543–547 (1983) (in Russian)
27. Polyak, B.T.: Some methods of speeding up the convergence of iteration methods. USSR Comput. Math. Math. Phys. **4**(5), 1–17 (1964)
28. Reich, S., Sabach, S.: Three convergence theorems regarding iterative methods for solving equilibrium problems in reflexive Banach spaces. Contemp. Math. **568**, 225–240 (2012)
29. Suantai, S., Pooyada, P., Yambangwai, D., Cholamjiak, W.: A parallel viscosity-type subgradient extragradient-line method for finding the common solution of variational inequality problems applied to image restoration problems. Mathematics **8**, 248 (2020). https://doi.org/10.3390/math8020248
30. Voung, P.T., Strodiot, J.J., Nguyen, V.H.: Extragradient methods and linesearch algorithms for solving Ky Fan inequalities and fixed point problems. J. Optim. Theory Appl. **155**(2), 605–627 (2012)