

วารสารวิทยาศาสตร์
วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย

JSET
LRU

ปีที่ 5 ฉบับที่ 2 (2025) : กรกฎาคม - ธันวาคม 2568

Journal of Science,
Engineering and Technology
LOEI RAJABHAT UNIVERSITY

ISSN : 2773-9856 (Online)

วัตถุประสงค์ : วารสารวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี เป็นสื่อกลางในการเผยแพร่บทความวิจัยคุณภาพสูง ด้านวิทยาศาสตร์กายภาพ (Physical Sciences) ในสาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ (Computer Science) วิศวกรรมศาสตร์ (Engineering) วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (Environmental Science) และอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง พร้อมทั้งเป็นสื่อประสาน และส่งข่าวสารระหว่างเครือข่ายนักวิชาการ

เจ้าของ : คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย

คณะกรรมการอำนวยการ

- | | |
|---|--------------------------------------|
| 1. รองศาสตราจารย์สมเจตน์ ดวงพิทักษ์ | อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏเลย |
| 2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพรรณิ พุกษา | รองอธิการบดีฝ่ายวิจัยและประกันคุณภาพ |
| 3. ดร.สัญญา เกียรติทรงชัย | ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา |
| 4. ผู้ช่วยศาสตราจารย์จารุวัลย์ รักษ์มณี | คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 5. รองศาสตราจารย์ศักดิ์ชาย พวงจันทร์ | คณบดีคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม |

กองบรรณาธิการ

- | | |
|---|-------------------|
| 1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติ ตันเมืองปัก | บรรณาธิการ |
| 2. รองศาสตราจารย์ ดร.กิตติศักดิ์ แสนประสิทธิ์ | รองบรรณาธิการ |
| 3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภกัญญา ชันชัยภูมิ | รองบรรณาธิการ |
| 4. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะพงษ์ ชุมศรี | ผู้ช่วยบรรณาธิการ |
| 5. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นภัสสร วงเปรี้ยว | ผู้ช่วยบรรณาธิการ |
| 6. นางสาวพรชนก บุญลับ | ผู้ช่วยบรรณาธิการ |

ผู้ทรงคุณวุฒิประจำกองบรรณาธิการ

- | | |
|--|---------------------------------------|
| 1. ศาสตราจารย์ ดร.พิเชษฐ ลิ่มสุวรรณ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี |
| 2. ศาสตราจารย์ ดร.สมชาย ปิ่นล่อ | มหาวิทยาลัยขอนแก่น |
| 3. ศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ ประมวล | มหาวิทยาลัยมหาสารคาม |
| 4. ศาสตราจารย์ ดร.ธนากร วงศ์วัฒนาเสถียร | มหาวิทยาลัยขอนแก่น |
| 5. รองศาสตราจารย์ ดร.บุญเสถียร บุญสูง | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 6. รองศาสตราจารย์ ดร.จักรมาส เลหาวนิช | มหาวิทยาลัยมหาสารคาม |
| 7. รองศาสตราจารย์ ดร.โอการ วัฒนชีวะ | มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร |
| 8. รองศาสตราจารย์ ดร.วาทิ คงบรรทัด | มหาวิทยาลัยแม่โจ้ |
| 9. รองศาสตราจารย์ ดร.ชาติไทย แก้วทอง | มหาวิทยาลัยมหาสารคาม |
| 10. รองศาสตราจารย์ ดร.ต้องจิตร์ ถิ่นชนนาง | มหาวิทยาลัยมหาสารคาม |
| 11. รองศาสตราจารย์ ดร.พงษ์เดช สารการ | มหาวิทยาลัยขอนแก่น |
| 12. รองศาสตราจารย์ ดร.สิทธิชัย แสงอาทิตย์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี |
| 13. รองศาสตราจารย์ ดร.นนทพงษ์ พลพวก | มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม |
| 14. รองศาสตราจารย์ ดร.อลงกรณ์ พรหมที | มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี |
| 15. รองศาสตราจารย์ ดร.วุฒิชัย รสชาติ | มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร |
| 16. รองศาสตราจารย์ ดร.รัชดาภรณ์ เบญจพัฒนานนท์ | มหาวิทยาลัยขอนแก่น |
| 17. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิภาพร ชนะมาร | มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร |
| 18. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ โยธาทักดี | มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย |

- | | |
|--|-----------------------------------|
| 19. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรัชญา มุขตา | มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี |
| 20. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชัยญา ทองเครือ | มหาวิทยาลัยพะเยา |
| 21. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธรัช อารีราษฎร์ | มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม |
| 22. ดร.กันยาลักษณ์ โพธิ์ตง | มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา |
| 23. ดร.ทองปักษ์ ดอนประจำ | มหาวิทยาลัยขอนแก่น |
| 24. ดร.รุ่งกานต์ อินทวงศ์ | มหาวิทยาลัยบูรพา |
| 25. ดร.ภัทรพงศ์ พงศ์ภัทรกานต์ | มหาวิทยาลัยนเรศวร |
| 26. ดร.รุจิพันธุ์ โกษารัตน์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา |

เจ้าหน้าที่ประจำวารสาร

- | | |
|-------------------------------|-------------------------------|
| 1. นางสาวอัญชลีพร เนื่องมัจฉา | เจ้าหน้าที่ประจำกองบรรณาธิการ |
| 2. นางทัศนีย์ บุตรเพ็ง | เจ้าหน้าที่ประจำกองบรรณาธิการ |
| 3. นายชนาธิป สุรงษา | เจ้าหน้าที่ประจำกองบรรณาธิการ |

ข้อมูลวารสาร

ชื่อวารสาร	(ภาษาไทย) วารสารวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย (ภาษาอังกฤษ) Journal of Science, Engineering and Technology Loei Rajabhat University
หน่วยงานเจ้าของวารสาร	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย
เลข ISSN	ISSN : 2773-9856 (Online)
บรรณาธิการ	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติ ต้นเมืองปัก
สถานที่ติดต่อ	234 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ตึก 28 มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย ถนนเลย-เชียงคาน ตำบลเมือง อำเภอมืองเลย จังหวัดเลย 42000 เบอร์โทรศัพท์ 042-835224 ต่อ 8 E-mail: jsetlru@lru.ac.th
เว็บไซต์ของวารสาร	https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/JSET/

กระบวนการพิจารณาบทความ

บทความทุกบทความจะต้องผ่านการพิจารณาโดยผู้ทรงคุณวุฒิที่เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน แบบผู้ทรงคุณวุฒิและผู้แต่งไม่ทราบชื่อกันและกัน (double-blind review)

ประเภทของบทความ

- บทความวิจัย (research article)
- บทความวิชาการ (academic article)
- บทความปริทัศน์ (review article)

ภาษาที่รับตีพิมพ์
ภาษาไทย

กำหนดออกวารสารตีพิมพ์ 2 ฉบับต่อปี

- ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน
- ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม

บทบรรณาธิการ

วารสารวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย วารสารฉบับนี้เป็นวารสารปีที่ 5 ฉบับที่ 2 (กรกฎาคม - ธันวาคม 2568) ได้จัดทำขึ้นโดย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ร่วมกับคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย ซึ่งบทความในวารสารเป็นบทความที่ได้รับการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 3 ท่าน ต่อบทความ ทั้งจากภายใน ภายนอกมหาวิทยาลัยราชภัฏเลย และหลากหลายสถาบัน มีวัตถุประสงค์การจัดทำเพื่อเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ เป็นสื่อกลางรายงานความก้าวหน้าทางวิจัย และแลกเปลี่ยนแนวความคิดในการวิจัย

ทั้งนี้ วารสารวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย ปัจจุบันได้รับการรับรองคุณภาพวารสารอยู่ในฐานข้อมูล (TCI) กลุ่ม 2 ระหว่างปี 2568 – 2572 เปิดรับพิจารณาบทความวิจัยที่ตรงขอบเขตด้านวิทยาศาสตร์กายภาพ (Physical Sciences) ในสาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ (Computer Science) วิศวกรรมศาสตร์ (Engineering) วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (Environmental Science) และสาขาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง การตีพิมพ์ฉบับนี้ กองบรรณาธิการได้พิจารณาบทความวิจัยลงตีพิมพ์เผยแพร่ จำนวน 8 บทความ

ในการนี้ กองบรรณาธิการวารสารวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย ขอเชิญชวนนักวิจัย นักวิชาการ นิสิต นักศึกษา และนักเรียน เครือข่ายหน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ส่งบทความที่มีประโยชน์เผยแพร่ต่อสาธารณชน ในการนำไปใช้ประโยชน์ทั้งทางวิชาการและพัฒนาต่อยอดต่อไปนี้ หากท่านใดประสงค์ที่จะเป็นสมาชิกสามารถสมัครได้ตามระเบียบการตีพิมพ์แนบท้ายวารสารนี้และเว็บไซต์ <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/JSET/>

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติ ดันเมืองปัก
บรรณาธิการ

สารบัญ

บทความวิจัย	หน้า
การพัฒนาสื่อแอนิเมชัน 3 มิติ ด้านการสื่อสารด้วยอารมณ์ เรื่อง ไกล่แต่ไกล สำหรับการสร้างแรงบันดาลใจ	1 - 13
สุรพงษ์ วิริยะ คักดา สุสดี ธรณัส หล้าเตจา กิติพิเชษฐ ฐปบุชา และ อุทัยวรรณ แก้วตะคุ	
การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการปลดปล่อยก๊าซมีเทน และก๊าซไนตรัสออกไซด์ กรณีศึกษา ฟาร์มเลี้ยงไก่เนื้อในจังหวัดชลบุรี ประเทศไทย	14 - 28
จิรพันธ์ จันญชัย อรัณย์ภักดิ์ พัทธพงษ์ ชุตติชัย ลิ้มศุภสิน และ ปพิชญา บุรภิจฉายัย	
การพัฒนาเครื่องหยอดเมล็ดพืชอัตโนมัติด้วยระบบนิวเมติกส์	29 - 42
เมืองมล แสนเพ็ง และ ศิวกร แก้วรัตน์	
การเพิ่มศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลช้างโดยใช้ถังหมักแบบไร้อากาศ: กรณีศึกษา ณ บ้านท่าดีหมี อำเภอเชียงคน จังหวัดเลย	43 - 54
กานดา ปุ่มลิน ศิริรัตน์ แจ่มกรณ์ สว่าง กุลวงษ์ สุธาสิณี ครุฑทกะ อธิภัทร์ อนุชาติ และ ศรุตวิวงศ์ บุญคง	
การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อจัดการศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่น ตำบลบ้านแก่ง จังหวัดนครสวรรค์	55 - 69
วิรัช กาฬภักดิ์ ยาวเรศ กาฬภักดิ์ จักรพันธ์ จันทรเชียว และ มัจฉา สุพรรณ	
การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียมในการจำแนกโรคใบขาว	70 - 84
สกรณ บุษบง และ แพรตะวัน จารุตัน	
การพัฒนาแอปพลิเคชันสื่อความจริงเสริมแบบอินเทอร์แอคทีฟเพื่อถ่ายทอดนวัตกรรมการร่ำรวยโบราณประยุกต์ "รำเพลินเดินปลั้ม"	85 - 102
นิภาพร ชนะมาร นำพร อินสิน และ แพรตะวัน จารุตัน	
หุ่นยนต์สื่อการเรียนรู้ภูมิวิทย์: กรณีศึกษาโรงเรียนเทศบาล 4 ฉลองรัตน	103 - 118
สุทธิพงษ์ พันภักดิ์ ธมนวรรณ นาจะรวัย สาธิต กระเวนกิจ และ จักรชัย ไสอินทร์	

การพัฒนาสื่อแอนิเมชัน 3 มิติ ด้านการสื่อสารด้วยอารมณ์ เรื่อง ใกล้แต่ไกล สำหรับการสร้างแรงบันดาลใจ

Development of 3D Animation Media on Emotional Communication: The Story of “Close but Distant” for Inspirational Purposes

สุรพงษ์ วิริยะ¹ ศักดา สุธดี¹ ธารณส์ หล้าเตจา¹ กิตติเชษฐ์ ฐูปบุชา² และ อุทัยวรรณ แก้วตะคุ^{3*}

Surapong Wiriya¹ Sakda Susadee¹ Tharanas Latecha¹ Kitiphichet Thoopbucha² and Uthaiwan Kaewtakhu^{3*}

¹สาขาวิชาคอมพิวเตอร์มัลติมีเดียและแอนิเมชัน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเจ้าพระยา

จังหวัดนครสวรรค์ 60240

²สาขาวิชาการจัดการ คณะบริหารและการจัดการ มหาวิทยาลัยเจ้าพระยา จังหวัดนครสวรรค์ 60240

³สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเจ้าพระยา จังหวัดนครสวรรค์ 60240

¹ Program of Computer Multimedia and Animation, Faculty of Science and Technology,
Chaopraya University, Nakhon Sawan Province, 60240

² Program of Management, Faculty of Business Administration, Chaopraya University,
Nakhon Sawan Province, 60240

³ Program of Computer Science, Faculty of Science and Technology, Chaopraya University,
Nakhon Sawan Province, 60240

*Corresponding author E-mail: uthaiwan.k@cpu.ac.th

Received 9 May 2025, Accepted 15 July 2025, Published 16 July 2025

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ดังนี้ 1) ออกแบบและพัฒนาสื่อแอนิเมชัน 3 มิติ ด้านการสื่อสารด้วยอารมณ์ เรื่อง ใกล้แต่ไกล สำหรับการสร้างแรงบันดาลใจ 2) ประเมินคุณภาพของสื่อแอนิเมชัน 3 มิติ ด้านการสื่อสารด้วยอารมณ์ เรื่อง ใกล้แต่ไกล สำหรับการสร้างแรงบันดาลใจ และ 3) ศึกษาความพึงพอใจของสื่อแอนิเมชัน 3 มิติ ด้านการสื่อสารด้วยอารมณ์ เรื่อง ใกล้แต่ไกล สำหรับการสร้างแรงบันดาลใจ ในการออกแบบและพัฒนาสื่อแอนิเมชัน 3 มิติ ได้ดำเนินการสร้างตามหลักการ 3P ประกอบไปด้วย 1) ขั้นตอนก่อนการผลิต 2) ขั้นตอนการผลิต และ 3) ขั้นตอนหลังการผลิต กลุ่มเป้าหมายในการวิจัยได้แก่ ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน และนักศึกษาในระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยเจ้าพระยา จำนวน 100 คน โดยวิธีการเจาะจง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบไปด้วย 1) สื่อแอนิเมชัน 3 มิติ ด้านการสื่อสารด้วยอารมณ์ เรื่อง ใกล้แต่ไกล 2) แบบประเมินคุณภาพของสื่อแอนิเมชัน 3 มิติ และ 3) แบบประเมินความพึงพอใจที่มีต่อสื่อแอนิเมชัน 3 มิติ สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากผลการวิจัยพบว่า 1) สื่อแอนิเมชัน 3 มิติ ด้านการสื่อสารด้วยอารมณ์ เรื่อง ใกล้แต่ไกล สำหรับการสร้างแรงบันดาลใจ มีความถูกต้องตรงกับลำดับเนื้อเรื่องตามบทบาทที่วางไว้ ทำทาง สีหน้า และการเคลื่อนไหวของตัวละครและฉากมีความสมบูรณ์และต่อเนื่อง รวมถึงภาพและเสียงเข้ากันและสื่อสารอารมณ์ออกมาได้ดี ระยะเวลาของสื่อ 2.20 นาที 2) การประเมินคุณภาพของสื่อแอนิเมชัน 3 มิติ โดยผู้เชี่ยวชาญ ภาพรวมอยู่ในระดับดี ($\bar{X} = 4.35$, S.D. = 0.54) และ 3) การประเมินความพึงพอใจที่มีต่อสื่อแอนิเมชัน 3 มิติ โดยกลุ่มเป้าหมาย ภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.40$, S.D. = 0.66)

คำสำคัญ การสื่อสารด้วยอารมณ์ การเล่าเรื่อง แอนิเมชัน 3 มิติ การสร้างแรงบันดาลใจ

ABSTRACT

This study aimed to: 1) design and develop a 3D animation on emotional communication entitled “Close but Distant” for inspirational purposes; 2) evaluate the quality of the 3D animation; and 3) assess user satisfaction with the 3D animation. The animation was developed using 3P principles, which consisting of: 1) pre-production, 2) production, and 3) post-production. The target group for this study included five experts and 100 undergraduate students from Chaopraya University, selected through Purposive Sampling. The research instruments consisted of: 1) the 3D animation “Close but Distant”, 2) a 3D animation quality assessment form, and 3) a 3D animation satisfaction assessment form. Mean and standard deviation were used for data analysis. The results revealed that: 1) the content sequence of the animation was accurate and consistent with the storyline. Character gestures, facial expressions, and movements were complete and continuous. It was also found that images and sound expressed emotions well and the final animation had a duration of 2.20 minutes; 2) the expert evaluation of the animation quality, overall, indicated a good level ($\bar{X}$ = 4.35, S.D. = 0.54); and 3) the user satisfaction with the animation was at a high level ($\bar{X}$ = 4.40, S.D. = 0.66).

Keywords: Emotional Communication, Visual Narrative, 3D Animation, Inspiration

บทนำ

ในยุคปัจจุบันเป็นยุคของโลกดิจิทัลที่มีการใช้งานแอนิเมชัน 3 มิติ มาเป็นส่วนหนึ่งในงานอุตสาหกรรมความบันเทิง หรือแม้แต่ในงานทางด้านเทคโนโลยีสารสนเทศได้มีการนำแอนิเมชัน 3 มิติ เข้ามาใช้งาน (Wibowo et al., 2024) ในการพัฒนาแอนิเมชันซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของอุตสาหกรรมสร้างสรรค์ (Creative Industry) มีความเป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัวซึ่งในแต่ละประเทศได้รวมแอนิเมชันอยู่ในส่วนย่อยของอุตสาหกรรมสร้างสรรค์ (Saputra et al., 2021) โดยเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ 3 มิตินั้น ได้มีการใช้ฝึก 3 มิติในการสร้างแบบจำลองซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของคอมพิวเตอร์กราฟิกได้อย่างมาก (Shalamberidze, 2019) การใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ 3 มิติ ทำให้สามารถแสดงวัตถุได้ชัดเจนและแม่นยำยิ่งขึ้น และสามารถที่จะจำลองลักษณะเฉพาะทั้งหมดของวัตถุในรูปแบบจำลอง 3 มิติได้ (Li, 2022) การใช้รูปแบบจำลอง 3 มิติได้ถูกนำมาใช้งานแอนิเมชันในการสร้างประสบการณ์เสมือนจริงและกระตุ้นความรู้สึกที่ลึกซึ้งที่นอกจากการให้ความบันเทิง และยังสามารถสร้างแรงบันดาลใจ และสะท้อนภาพชีวิตที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริง (สุวิช และชญา, 2561) แรงบันดาลใจ (inspiration) เป็นสภาวะที่กระตุ้นให้บุคคลนำความคิดมาปฏิบัติจริง ซึ่งเกี่ยวข้องกับความสามารถในการยกระดับ การกระตุ้น และแรงจูงใจ (Thrash and Elliot, 2003) การที่มนุษย์เราขาดแรงบันดาลใจในการดำเนินชีวิตที่อยู่ภายใต้ความคาดหวังสูงของสภาพแวดล้อมนั้นส่งผลให้เกิดการฆ่าตัวตาย ซึ่งจากการรายงานสถานการณ์การฆ่าตัวตายในประเทศไทย ปีงบประมาณ 2566 พบว่าคนไทยเสียชีวิตจากการฆ่าตัวตายสูงถึง 5,172 คน เฉลี่ยวันละ 14 คน จากการทบทวนข้อมูลสอบสวนโรคและผลการศึกษาวิจัยเรื่องการฆ่าตัวตาย พบว่า 1) ผู้ที่ฆ่าตัวตายมักจะมีภาวะบางอย่างมีความอ่อนแอหรือมีปัจจัยเสี่ยงอยู่ก่อน เช่น ป่วยโรคจิตเวชที่รุนแรง 2) ผู้ที่ฆ่าตัวตายมักจะอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีความคาดหวังสูง (กรมสุขภาพจิต, 2567)

การพัฒนางานวิจัยด้านการพัฒนาสื่อแอนิเมชันนั้นได้มีการนำเสนอในเรื่องราวผ่านทางสื่อแอนิเมชันที่มีความแตกต่างกันไป เช่น สื่อแอนิเมชันทางการศึกษา ได้แก่ การเรียนรู้ของเครื่อง (เรื่องทิพย์, 2567) คำควบกกล้า (อัญชลี, 2567) การรับรู้ศิลปะแม่ไม้มวยไทย (กานต์ และคณะ, 2565) สื่อการเรียนรู้ไฮโดรคาร์บอน (Zakir et al., 2021) สื่อแอนิเมชันในด้านการใช้ชีวิตหรือการดำเนินชีวิต ได้แก่ อดทนรอไปด้วยกันนะ (ณัฐพล และบุญญรัตน์, 2562) การตระหนักถึงผลเสียจากการเลี้ยงดูบุตรด้วยความเข้มงวดจนเกินไป (นรุตม์ และคณะ, 2565) การต่อสู้กับโรคโควิด19

(Abd Rashid et al., 2022) สื่อแอนิเมชันด้านการท่องเที่ยว ได้แก่ การส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมการท่องเที่ยว (สุกัญชลิศา และคณะ, 2567) แนะนำสถานที่ท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ ชุมชนชนมแปลงริมคลองหนองบัว จังหวัดจันทบุรี (สุทธิพงษ์ และณลินี, 2564) เป็นต้น ในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ชีวิตหรือการดำเนินชีวิตเพื่อให้เกิดแรงบันดาลใจนั้น รชตะ และคณะ (2562) ได้ทำการออกแบบสื่อแอนิเมชัน 2 มิติ เพื่อสร้างแรงบันดาลใจในการใช้ชีวิต โดยนำเสนอเรื่องราวผ่านแอปพลิเคชันที่ไม่สมบูรณ์ แต่สามารถสร้างแรงบันดาลใจ ให้ข้อคิดได้ และตระหนักถึงชีวิตว่าตัวเรามีคุณค่ากับผู้คน และสังคม โดยงานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอในรูปแบบ 2 มิติ ซึ่งไม่ให้ความน่าสนใจเท่าที่ควร งานวิจัยของนุรตม์ และคณะ (2565) ที่ได้พัฒนาแอนิเมชัน 3 มิติในการสร้างความตระหนักให้เห็นถึงผลเสียของการเลี้ยงดูแลบุตรแบบเข้มงวด โดยสามารถสร้างความเข้าใจและตระหนักถึงปัญหาที่เกิดจากการเลี้ยงดูได้อยู่ในเกณฑ์ระดับดี ซึ่งงานด้านแอนิเมชัน 3 มิตินั้นสามารถถ่ายทอดอารมณ์และทำให้ผู้รับชมเข้าใจได้ง่าย พิรวัฒน์ (2563) ทำการพัฒนาสื่อโมชันอินโฟกราฟิกในการเสริมสร้างจิตสำนึกเพื่อการต่อต้านและการป้องกันการทุจริตสำหรับนักเรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ซึ่งสื่อโมชันอินโฟกราฟิกทำให้การรับรู้ของนักเรียนโดยรวมอยู่ในระดับดี ณัฐพล และปญญรัตน์ (2562) ได้ศึกษาการรับรู้และความพึงพอใจของนักเรียนต่อการดูแอนิเมชัน 3 มิติ เรื่อง อดทนรอไปด้วยกันนะ โดยกำหนดจุดประสงค์ของสื่อในเรื่องของการแก้ปัญหาด้วยการอดทนรอ ส่งเสริมคุณธรรมในด้านของความอดทน นักเรียนมีผลการรับรู้อยู่ในระดับมากที่สุด ในการพัฒนาสื่อแอนิเมชันได้ใช้ขั้นตอน 3P มาใช้ในการพัฒนาสื่อแอนิเมชันทั้งในรูปแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ (นาคยา และคณะ, 2564; นุรตม์ และคณะ, 2565; สุธิดา และคณะ, 2566) โดย 3P ประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอน ได้แก่ 1) ขั้นตอนก่อนการผลิต (Pre-Production) 2) ขั้นตอนการผลิต (Production) และ 3) ขั้นตอนหลังการผลิต (Post-Production) เมื่อทำการพัฒนาสื่อแอนิเมชันแล้วได้มีการนำสื่อแอนิเมชันไปเป็นเครื่องมือในการวิจัย โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่มหลัก ๆ คือ 1) สื่อแอนิเมชันเพื่อการศึกษา ได้ทำการประเมินใน 3 ส่วนคือ การประเมินคุณภาพของสื่อโดยผู้เชี่ยวชาญ วัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และประเมินความพึงพอใจที่มีต่อสื่อแอนิเมชัน (อัจฉริยพงศ์ และเนติรัฐ, 2562; เรืองทิพย์ และคณะ, 2567) 2) สื่อแอนิเมชันเพื่อเผยแพร่ข้อมูลทั่วไป ได้ทำการประเมินใน 2 ส่วนคือ การประเมินคุณภาพของสื่อแอนิเมชันและการประเมินความพึงพอใจที่มีต่อสื่อแอนิเมชัน (สุทธิพงษ์ และณลินี, 2564; สุธิดา และคณะ, 2566; สุกัญชลิศา และคณะ, 2567)

จากข้อจำกัดและปัญหาดังกล่าว คณะผู้วิจัยจึงได้เห็นความสำคัญของปัญหาจึงได้จัดทำสื่อแอนิเมชัน 3 มิติ ด้านการสื่อสารด้วยอารมณ์ เรื่อง ไกลแต่ไกล สำหรับการสร้างแรงบันดาลใจ ในการให้กลุ่มเยาวชนได้รับชมในการสร้างแรงบันดาลใจในการใช้ชีวิตสำหรับการยอมรับสิ่งที่เกิดขึ้นในอนาคตโดยมีการใช้ความพยายามอย่างสุดความสามารถ ในสื่อแอนิเมชัน 3 มิติ จะเป็นการถ่ายทอดแนวคิดเกี่ยวกับความพยายาม ความหวัง และการยอมรับผลลัพธ์ที่ไม่เป็นไปตามที่คาดหวัง ผ่านการเล่าเรื่องด้วยภาพ (Visual Narrative) โดยไม่มีบทสนทนา (Silent Animation) สื่อสารด้วยอารมณ์การแสดงออกทางสีหน้า ท่าทาง และบรรยากาศในการสื่อความหมาย ซึ่งได้รับความนิยมมากขึ้นในปัจจุบัน โดยเฉพาะในกลุ่มเยาวชน ที่ตอบสนองต่อสื่อที่เข้าใจง่ายและกระชับ สามารถใช้เป็นสื่อในการดึงความสนใจของผู้ชมได้เนื่องจากบรรยากาศโดยรวมของฉากต่าง ๆ ออกมาได้สมจริงและยังมีความตื่นตาตื่นใจและน่าสนใจมากขึ้น (Saitum et al., 2014) และทำให้จดจำ เข้าใจ วิเคราะห์ สังเคราะห์ และนำไปประยุกต์ใช้ โดยมีวัตถุประสงค์ของงานวิจัยดังนี้

- 1) ออกแบบและพัฒนาสื่อแอนิเมชัน 3 มิติ ด้านการสื่อสารด้วยอารมณ์ เรื่อง ไกลแต่ไกล สำหรับการสร้างแรงบันดาลใจ
- 2) ประเมินคุณภาพของสื่อแอนิเมชัน 3 มิติ ด้านการสื่อสารด้วยอารมณ์ เรื่อง ไกลแต่ไกล สำหรับการสร้างแรงบันดาลใจ
- 3) ศึกษาความพึงพอใจของสื่อแอนิเมชัน 3 มิติ ด้านการสื่อสารด้วยอารมณ์ เรื่อง ไกลแต่ไกล สำหรับการสร้างแรงบันดาลใจ

วิธีการวิจัย

การพัฒนาสื่อแอนิเมชัน 3 มิติ ด้านการสื่อสารด้วยอารมณ์ เรื่อง โกล้แต่โกล สำหรับการสร้างแรงบันดาลใจ มีรายละเอียดการดำเนินงานดังนี้

1. เครื่องมือการวิจัย

- 1.1 สื่อแอนิเมชัน 3 มิติ ด้านการสื่อสารด้วยอารมณ์ เรื่อง โกล้แต่โกล สำหรับการสร้างแรงบันดาลใจ
- 1.2 แบบประเมินคุณภาพของสื่อแอนิเมชัน 3 มิติ ด้านการสื่อสารด้วยอารมณ์ เรื่อง โกล้แต่โกล สำหรับการสร้างแรงบันดาลใจ โดยผู้เชี่ยวชาญ เป็นแบบสอบถามแบบมาตราส่วน 5 ระดับ โดยแบ่งการประเมินเป็น 3 ด้าน ได้แก่ ด้านการออกแบบ ด้านเทคนิค และด้านระยะเวลาและการนำเสนอ
- 1.3 แบบประเมินความพึงพอใจของสื่อแอนิเมชัน 3 มิติ ด้านการสื่อสารด้วยอารมณ์ เรื่อง โกล้แต่โกล สำหรับการสร้างแรงบันดาลใจ โดยกลุ่มตัวอย่างผู้รับชมสื่อแอนิเมชัน เป็นแบบสอบถามแบบมาตราส่วน 5 ระดับ

2. กลุ่มเป้าหมาย

- 2.1 กลุ่มผู้เชี่ยวชาญ ได้แก่ ผู้เชี่ยวชาญทางด้านสื่อและเทคโนโลยี ที่มีคุณวุฒิในระดับปริญญาโท และปริญญาเอก ทางด้านคอมพิวเตอร์ เทคโนโลยี การศึกษา และสื่อแอนิเมชัน จำนวน 5 คน
- 2.2 กลุ่มตัวอย่างผู้รับชมสื่อแอนิเมชัน ได้แก่ นักศึกษาในระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยเจ้าพระยา ที่ลงทะเบียนเรียนในภาคฤดูร้อน จำนวน 100 คน โดยเลือกการสุ่มแบบเจาะจง (Purposive Sampling) (กัลยา, 2560) ซึ่งเป็นกลุ่มเยาวชนที่มีอายุระหว่าง 18 – 25 ปี โดยอ้างอิงตามกระทรวงการพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์ (ณัฐรจิตติ, 2568)

3. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยตามขั้นตอน ดังนี้

- 3.1 ขั้นตอนการพัฒนาสื่อแอนิเมชัน 3 มิติ โดยดำเนินการออกแบบและพัฒนาสื่อแอนิเมชัน 3 มิติ ตามหลักการพัฒนาสื่อ 3P ดังนี้
 - 3.1.1 ขั้นตอนก่อนการผลิต (Pre-Production)
 - 1) การเขียนเรื่องหรือบท (Story) คณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาข้อมูลเพื่อวางพล็อตเรื่อง “โกล้แต่โกล” เป็นแนวคิดที่สะท้อนสถานการณ์ของชีวิตมนุษย์ ซึ่งมักต้องเผชิญกับความพยายาม ความหวัง และการยอมรับผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น ถึงแม้จะโกล้ถึงเป้าหมายเพียงใดก็อาจพลาดพลั้งได้ในวินาทีสุดท้าย แนวคิดในการสร้างสื่อแอนิเมชัน 3 มิติที่ถ่ายทอดเรื่องราวของเด็กชายคนหนึ่งที่ยพยายามอย่างสุดความสามารถเพื่อคว้าลูกโป่งที่หลุดลอย แต่สุดท้ายกลับต้องยอมรับความจริงที่ไม่เป็นดังหวัง ผ่านการดำเนินเรื่องแบบไร้บทพูด และใช้ภาพ เสียง และอารมณ์ในการถ่ายทอดสาระสำคัญ
 - 2) การออกแบบภาพ (Visual Design) คณะผู้วิจัยทำการออกแบบตัวละครและฉากต่าง ๆ ด้วยการออกแบบตัวละครในรูปแบบ 2 มิติ ด้วยโปรแกรม Adobe Illustrator โดยเน้นการแสดงออกทางสีหน้าและท่าทางที่เข้าใจง่าย



ภาพที่ 1 ออกแบบตัวละคร

3) การเขียนบทภาพ (Storyboard) นำเนื้อเรื่อง ตัวละคร และฉากต่าง ๆ มาร่างเป็นบทภาพในการดำเนินเรื่อง

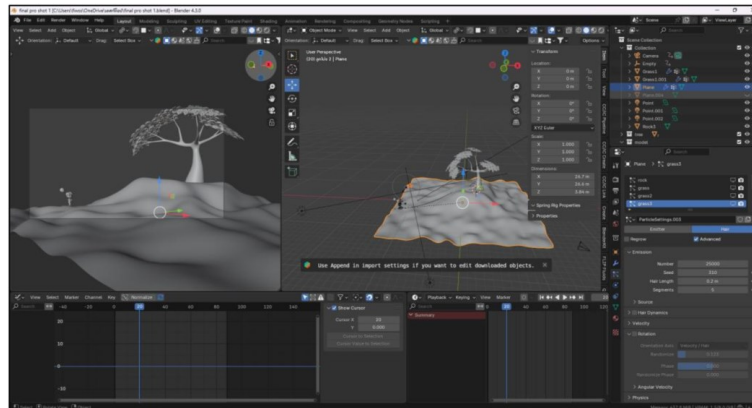
Scene	Shot	Picture	Animating	Describe/Sound	Scene	Shot	Picture	Animating	Describe/Sound
6	22		ขนาดภาพ : MS มุมกล้อง : Low Level เคลื่อนไหว : Dolly	ภาพ : เด็กผู้ชายมอง ลูกโป่งที่แตกด้วยความ ไม่พอใจ ดนตรี : - Effect : - เวลา : 3s	7	25		ขนาดภาพ : MS มุมกล้อง : Eye Level เคลื่อนไหว : Handheld	ภาพ : ชายแก่หยิบลูกโป่ง ออกมา ดนตรี : unidentified Effect : - เวลา : 3s
	23		ขนาดภาพ : MS มุมกล้อง : Eye Level เคลื่อนไหว : Tracking	ภาพ : เด็กชายตบต้นไม้ มีมือมารบไว้ ดนตรี : unidentified Effect : - เวลา : 4s		26		ขนาดภาพ : MS มุมกล้อง : Eye Level เคลื่อนไหว : Handheld	ภาพ : เด็กผู้ชายแย่ง ลูกโป่ง ดนตรี : unidentified Effect : - เวลา : 2s
	24		ขนาดภาพ : MS มุมกล้อง : Eye Level เคลื่อนไหว : Handheld	ภาพ : ชายแก่จะหลุดออกมา จากต้นไม้ ดนตรี : unidentified Effect : - เวลา : 2s		27		ขนาดภาพ : CU มุมกล้อง : Eye Level เคลื่อนไหว : Handheld	ภาพ : เด็กผู้ชายสีหน้าไม่ พอใจ ดนตรี : unidentified Effect : - เวลา : 2s

ภาพที่ 2 การเขียนบทภาพ (Storyboard)

3.1.2 ขั้นตอนการผลิต (Production) ได้แก่ การปั้นตัวละคร ด้วยโปรแกรม Blender การวางผัง (Layout) ที่กำหนดมุมภาพ ฉาก และตำแหน่งของตัวละคร การทำให้เคลื่อนไหว (Animate) โดยนำ Footage ทั้งหมดมาเรียงตาม Animatic ที่วางไว้

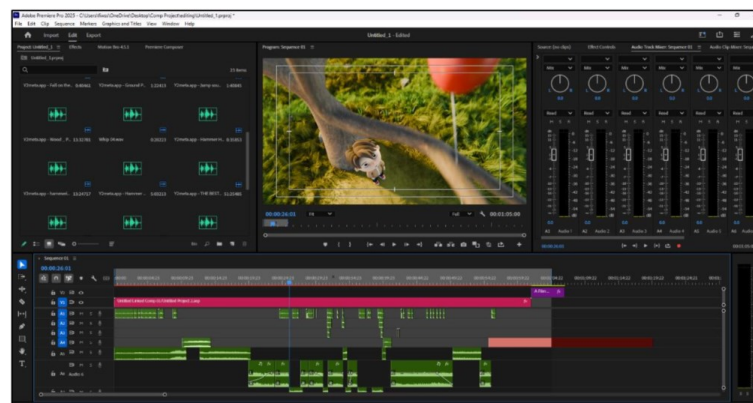


ภาพที่ 3 การเตรียมตัวละคร 3 มิติ



ภาพที่ 4 การกำหนดการเคลื่อนไหวของตัวละคร

3.1.3 ขั้นตอนหลังการผลิต (Post-Production) เป็นการประกอบภาพรวม (Compositing) คือนำตัวละครและฉากหลังมารวมกันเป็นภาพเดียว และการใส่เสียงดนตรีประกอบ (Music and Sound Effects) ให้เข้ากับการดำเนินเรื่อง ด้วยโปรแกรม Adobe Premiere



ภาพที่ 5 ใส่เสียงดนตรีประกอบ

3.2 การสร้างแบบประเมินคุณภาพ และแบบประเมินความพึงพอใจของสื่อแอนิเมชัน 3 มิติ ด้านการสื่อสารด้วยอารมณ์ เรื่อง ใกล้แต่ไกล สำหรับการสร้างแรงบันดาลใจ โดยผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาเครื่องมือจากงานวิจัยของ (ณัฐพล และ ปุณณรัตน์, 2562; สุธิตา และคณะ, 2566; เรืองทิพย์ และคณะ, 2567; อัญชลี และสุชาร์รัตน์, 2567) และปรับให้ตรงกับสื่อแอนิเมชัน 3 มิติ

3.3 การทดสอบสื่อแอนิเมชัน 3 มิติ โดยคณะผู้วิจัยได้ทำการทดสอบการทำงานของสื่อเพื่อดูความถูกต้องของการลำดับเนื้อเรื่องตาม Storyboard ที่วางไว้ การดูความสมบูรณ์ของท่าทาง สีหน้า และการเคลื่อนไหว และความเข้ากันของทั้งภาพและเสียง

3.4 นำสื่อแอนิเมชัน 3 มิติ ให้ผู้เชี่ยวชาญด้านสื่อและเทคโนโลยี จำนวน 5 คน ได้พิจารณาสื่อแอนิเมชัน และประเมินคุณภาพของสื่อแอนิเมชัน 3 มิติ เพื่อนำข้อเสนอแนะและผลการประเมินมาปรับปรุงแก้ไขให้สื่อแอนิเมชัน 3 มิติ มีความสมบูรณ์มากที่สุด

3.5 นำผลการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญมาทำการปรับปรุงแก้ไขสื่อแอนิเมชัน 3 มิติ

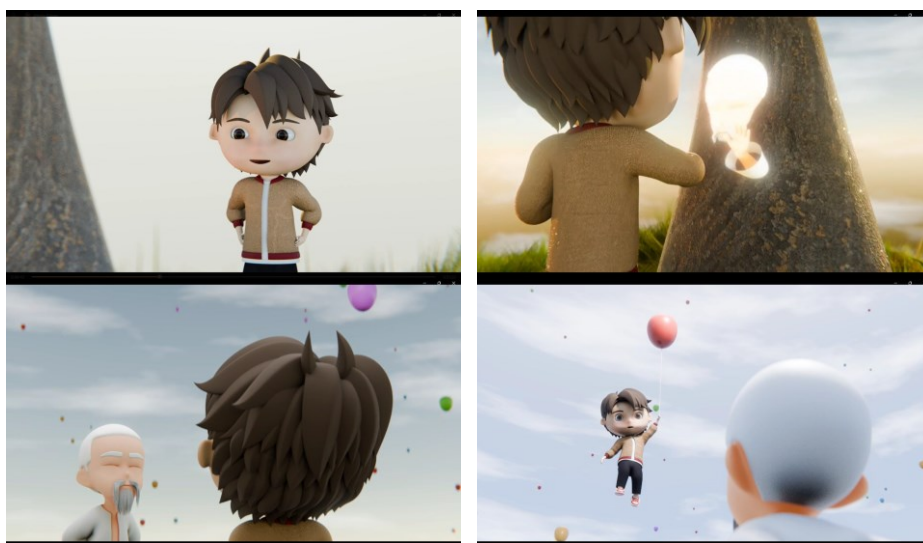
3.6 นำสื่อแอนิเมชัน 3 มิติ ไปเผยแพร่ให้กลุ่มเป้าหมายได้รับชม และทำการประเมินความพึงพอใจที่มีต่อสื่อแอนิเมชัน 3 มิติ

4. สถิติที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) การแปลผลโดยนำผลที่ได้เทียบกับเกณฑ์การประเมิน (บุญชม, 2560) ดังนี้

- ค่าเฉลี่ย 4.50 – 5.00 หมายถึง คุณภาพสื่อแอนิเมชัน 3 มิติ อยู่ในระดับดีมาก / ความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด
- ค่าเฉลี่ย 3.50 – 4.49 หมายถึง คุณภาพสื่อแอนิเมชัน 3 มิติ อยู่ในระดับดี / ความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก
- ค่าเฉลี่ย 2.50 – 3.49 หมายถึง คุณภาพสื่อแอนิเมชัน 3 มิติ อยู่ในระดับปานกลาง / ความพึงพอใจอยู่ในระดับปานกลาง
- ค่าเฉลี่ย 1.50 – 2.49 หมายถึง คุณภาพสื่อแอนิเมชัน 3 มิติ อยู่ในระดับพอใช้ / ความพึงพอใจอยู่ในระดับน้อย
- ค่าเฉลี่ย 1.00 – 1.49 หมายถึง คุณภาพสื่อแอนิเมชัน 3 มิติ อยู่ในระดับควรปรับปรุง / ความพึงพอใจอยู่ในระดับน้อยที่สุด

ผลการวิจัย และวิจารณ์ผลการวิจัย

1. ผลการออกแบบและพัฒนาสื่อแอนิเมชัน 3 มิติ ด้านการสื่อสารด้วยอารมณ์ เรื่อง ไกล่แต่ไกล สำหรับการสร้างแรงบันดาลใจจากการพัฒนาสื่อแอนิเมชัน 3 มิติ ด้านการสื่อสารด้วยอารมณ์ เรื่อง ไกล่แต่ไกล สำหรับการสร้างแรงบันดาลใจ โดยใช้หลักการในการพัฒนาสื่อแอนิเมชัน 3 มิติตามขั้นตอน 3P คือ 1) ขั้นตอนก่อนการผลิต 2) ขั้นตอนการผลิต และ 3) ขั้นตอนหลังการผลิต ที่เป็นไปตามงานวิจัยทางด้านการพัฒนาสื่อแอนิเมชัน (นาตยา และคณะ, 2564; นรุตม์ และคณะ, 2565; สุธิตา และคณะ, 2566) ในการถ่ายทอดแนวคิดเกี่ยวกับความพยายาม ความหวัง และการยอมรับผลลัพธ์ที่ไม่เป็นไปตามที่คาดหวัง ที่สอดคล้องกับงานวิจัยณัฐพล และบุญญรัตน์ (2562) ในเรื่องของการสร้างสื่อแอนิเมชันที่กำหนดจุดประสงค์ของสื่อในเรื่องของการแก้ปัญหาด้วยการอดทนรอ โดยนำเสนอในรูปแบบของแอนิเมชัน 3 มิติ และแตกต่างกับงานวิจัยของ รชตะ และคณะ (2562) ที่พัฒนาแอนิเมชันในรูปแบบ 2 มิติ ที่นำเสนอเรื่องราวผ่านแอปพลิเคชันที่ไม่สมบูรณ์แต่สามารถสร้างแรงบันดาลใจ ให้ข้อคิดได้ และตระหนักถึงชีวิตว่าตัวเรามีคุณค่ากับผู้คน และสังคม และผ่านการเล่าเรื่องโดยไม่มีบทสนทนา สื่อสารด้วยอารมณ์การแสดงออกทางสีหน้า ท่าทาง และบรรยากาศในการสื่อความหมาย โดยผลการทดสอบการทำงานของสื่อที่มีความถูกต้องตรงกับลำดับเนื้อเรื่องตามบทบาทที่วางไว้ ท่าทาง สีหน้า และการเคลื่อนไหวของตัวละครและฉากมีความสมบูรณ์และต่อเนื่อง รวมถึงภาพและเสียงสามารถเข้ากันและสื่อสารอารมณ์ออกมาได้ดี ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ผลการออกแบบและพัฒนาสื่อแอนิเมชัน 3 มิติ ด้านการสื่อสารด้วยอารมณ์ เรื่อง ไกล่แต่ไกล สำหรับการสร้างแรงบันดาลใจ

2. ผลการประเมินคุณภาพสื่อแอนิเมชัน 3 มิติ ด้านการสื่อสารด้วยอารมณ์ เรื่อง โกลัต์แต่ไกล สำหรับการสร้างแรงบันดาลใจ เมื่อผู้วิจัยได้ทำการออกแบบและพัฒนาสื่อแอนิเมชันเสร็จแล้ว ได้มีการนำสื่อที่เผยแพร่ผ่านทางเว็บไซต์ Youtube (URL: <https://www.youtube.com/watch?v=dvTUQ1gYpfo>) เพื่อให้ผู้เชี่ยวชาญทางด้านสื่อและเทคโนโลยีจำนวน 5 ท่าน ได้ทำการประเมินคุณภาพของสื่อแอนิเมชัน 3 มิติ ด้านการสื่อสารด้วยอารมณ์ เรื่อง โกลัต์แต่ไกล สำหรับการสร้างแรงบันดาลใจ เพื่อนำข้อเสนอแนะและผลการประเมินมาปรับปรุงสื่อให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น และนำไปให้ผู้ใช้งานได้ทำการรับชมและประเมินความพึงพอใจตามลำดับ โดยผลการประเมินคุณภาพของสื่อแอนิเมชัน 3 มิติ ด้านการสื่อสารด้วยอารมณ์ เรื่อง โกลัต์แต่ไกล สำหรับการสร้างแรงบันดาลใจ มีผลการประเมินคุณภาพดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการประเมินคุณภาพสื่อแอนิเมชัน 3 มิติ ด้านการสื่อสารด้วยอารมณ์ เรื่อง โกลัต์แต่ไกล สำหรับการสร้างแรงบันดาลใจ

รายการประเมินคุณภาพ	$\bar{X}$	S.D.	ระดับคุณภาพ
ด้านการออกแบบ			
1. การออกแบบตัวละครเหมาะสมกับเนื้อเรื่อง	4.60	0.55	ดีมาก
2. การออกแบบตัวละครเหมาะสมกับผู้ชม	4.20	0.84	ดี
3. การออกแบบฉากมีความน่าสนใจ สวยงามเหมาะสมกับเนื้อเรื่อง	4.40	0.55	ดี
4. การออกแบบพื้นผิว (Texture) ของแอนิเมชัน 3 มิติ มีความสวยงาม	4.40	0.55	ดี
5. มีการจัดวางองค์ประกอบของภาพได้สวยงาม	4.40	0.55	ดี
6. การเลือกใช้สีในงานแอนิเมชัน 3 มิติ มีความเหมาะสม	4.60	0.55	ดีมาก
7. การออกแบบเสียงสามารถสื่ออารมณ์ของตัวละครได้	4.00	0.71	ดี
8. การออกแบบมุกกลองช่วยให้ผู้ชมรู้สึกคล้อยตามเนื้อเรื่องได้	4.00	0.00	ดี
รวมด้านการออกแบบ	4.33	0.54	ดี
ด้านเทคนิค			
1. ภาพและเสียงในงานแอนิเมชัน 3 มิติ มีความสอดคล้องกัน	4.40	0.55	ดี
2. การเลือกใช้ดนตรีประกอบมีความเหมาะสม	4.20	0.45	ดี
3. เทคนิคการจัดแสงและเงามีความสวยงาม	4.40	0.55	ดี
4. เทคนิคการใช้มุกกลองช่วยให้งานแอนิเมชัน 3 มิติ มีความน่าสนใจ	4.40	0.55	ดี
5. เทคนิคการตัดต่อมีความต่อเนื่อง สร้างอารมณ์ร่วมแก่ผู้ชมได้	4.40	0.55	ดี
6. การลำดับภาพเข้าใจง่าย	3.80	0.45	ดี
7. เทคนิคการวางองค์ประกอบมีความสวยงามและดึงดูดใจผู้ชม	4.20	0.45	ดี
รวมด้านเทคนิค	4.26	0.50	ดี
ด้านระยะเวลาและการนำเสนอ			
1. ระยะเวลาของสื่อแอนิเมชันมีความเหมาะสม	4.40	0.89	ดี
2. ช่องทางการถ่ายทอดสื่อมีความเหมาะสม	4.60	0.55	ดีมาก
3. ช่องทางการถ่ายทอดสื่อมีความสะดวกในการเข้าถึง	4.60	0.55	ดีมาก
4. สามารถรับชมสื่อได้ทุกที่ทุกเวลา	4.60	0.55	ดีมาก
รวมด้านระยะเวลาและการนำเสนอ	4.55	0.63	ดีมาก
รวม	4.35	0.54	ดี

จากตารางที่ 1 พบว่า ระดับคุณภาพของสื่อแอนิเมชัน 3 มิติ ด้านการสื่อสารด้วยอารมณ์ เรื่อง ใกล้แต่ไกล สำหรับการสร้างแรงบันดาลใจ มีคุณภาพอยู่ในระดับดี ($\bar{X} = 4.35$, S.D. = 0.54) โดยด้านที่มีคุณภาพมากที่สุดคือด้านระยะเวลาและการนำเสนอ มีคุณภาพอยู่ในระดับดีมาก ($\bar{X} = 4.55$, S.D. = 0.63) รองลงมาคือด้านการออกแบบ มีคุณภาพอยู่ในระดับดี ($\bar{X} = 4.33$, S.D. = 0.54) และด้านที่มีคุณภาพน้อยที่สุดคือ ด้านเทคนิค มีคุณภาพอยู่ในระดับดี ($\bar{X} = 4.26$, S.D. = 0.50) เนื่องจากการลำดับภาพและเรื่องราวยังมีความเข้าใจยากเนื่องจากการนำเสนอสื่อแอนิเมชัน 3 มิติ เป็นลักษณะการถ่ายทอดด้วยการเล่าเรื่องโดยไม่มียกเว้นหน้า ใช้การสื่อสารด้วยอารมณ์การแสดงออกทางสีหน้า ท่าทาง และบรรยากาศในการสื่อความหมาย จึงทำให้ผลการประเมินคุณภาพหัวข้อ การลำดับภาพเข้าใจง่าย มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด ซึ่งผู้วิจัยได้นำข้อเสนอแนะและผลการประเมินไปปรับปรุงสื่อแอนิเมชัน 3 มิติ ให้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น โดยผลการประเมินในด้านการออกแบบและด้านเทคนิค อยู่ในระดับดีสอดคล้องกับงานวิจัยของ ณัฐพล และบุญญรัตน์ (2562) ที่มีผลการประเมินด้านการออกแบบและด้านเทคนิคอยู่ในระดับดีเช่นเดียวกัน แต่เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในด้านการออกแบบและด้านเทคนิคงานวิจัยนี้มีค่าเฉลี่ยที่สูงกว่า เนื่องจากมีการวาดภาพและใช้พื้นผิวที่สมจริง ส่วนด้านระยะเวลาและการนำเสนอ สอดคล้องกับงานวิจัยของเรืองทิพย์ และคณะ (2567) ที่มีระดับคุณภาพอยู่ในระดับดีมาก โดยมีการนำเสนอผ่านทาง Youtube เช่นเดียวกัน และขัดแย้งกับงานวิจัยของสุธิดา และคณะ (2566) และสุทธิพงษ์ และณลินี (2564) ในเรื่องของระยะเวลาในการนำเสนอสื่อที่มีความยาว 4 – 6 นาที ซึ่งมากกว่างานวิจัยนี้ที่ใช้เวลานำเสนอ 2.20 นาที ทำให้การนำเสนอเรื่องราวมีความกระชับขึ้น

3. ผลการประเมินความพึงพอใจของสื่อแอนิเมชัน 3 มิติ ด้านการสื่อสารด้วยอารมณ์ เรื่อง ใกล้แต่ไกล สำหรับการสร้างแรงบันดาลใจ

หลังจากที่ได้ทำการปรับปรุงสื่อแอนิเมชัน 3 มิติ ด้านการสื่อสารด้วยอารมณ์ เรื่อง ใกล้แต่ไกล สำหรับการสร้างแรงบันดาลใจเสร็จสิ้นแล้ว ผู้วิจัยได้นำสื่อแอนิเมชัน 3 มิติ ไปให้กลุ่มเป้าหมายจำนวน 100 คน ได้รับชมและทำการประเมินความพึงพอใจที่มีต่อสื่อแอนิเมชัน 3 มิติ โดยมีผลการประเมินความพึงพอใจดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจสื่อแอนิเมชัน 3 มิติ ด้านการสื่อสารด้วยอารมณ์ เรื่อง ใกล้แต่ไกล สำหรับการสร้างแรงบันดาลใจ

รายการประเมินความพึงพอใจ	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
1. การออกแบบตัวละครและฉากมีความเหมาะสม	4.45	0.64	มาก
2. การออกแบบตัวละครและฉากมีความสวยงาม	4.45	0.64	มาก
3. การออกแบบตัวละครและฉากมีความสอดคล้องกับเนื้อเรื่อง	4.41	0.69	มาก
4. การใช้สีในการออกแบบตัวละครและฉากมีความสวยงาม	4.47	0.61	มาก
5. การเคลื่อนไหวของตัวละครมีความสละสลวยและเป็นธรรมชาติ	4.40	0.65	มาก
6. เสียงดนตรีประกอบมีความชัดเจน	4.41	0.63	มาก
7. ความสัมพันธ์ระหว่างภาพกับเสียง	4.43	0.64	มาก
8. การใช้แสง สี และเสียงช่วยส่งเสริมอารมณ์ของเรื่อง	4.48	0.64	มาก
9. การดำเนินเรื่องมีความน่าสนใจ และน่าติดตาม	4.36	0.64	มาก
10. ระยะเวลาในการดำเนินเรื่องมีความเหมาะสม	4.38	0.66	มาก
11. เรื่องราวสามารถเข้าใจได้ง่ายแม้ไม่มีบทพูด	4.30	0.71	มาก

รายการประเมินความพึงพอใจ	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
12. สื่อแอนิเมชัน 3 มิติ เป็นแนวทางให้ผู้รับชมเห็นคุณค่าและให้คติสอนใจ	4.34	0.68	มาก
13. ข้อคิดที่ได้จากแอนิเมชัน 3 มิติ สามารถนำไปปรับใช้ในชีวิตประจำวันได้	4.31	0.70	มาก
รวม	4.40	0.66	มาก

จากตารางที่ 2 พบว่า ระดับคุณภาพของสื่อแอนิเมชัน 3 มิติ ด้านการสื่อสารด้วยอารมณ์ เรื่อง ใกล้แต่ไกล สำหรับการสร้างแรงบันดาลใจ มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.40$, S.D. = 0.66) โดยหัวข้อที่มีระดับความพึงพอใจมากที่สุด คือ การใช้แสง สี และเสียงช่วยส่งเสริมอารมณ์ของเรื่อง การใช้สีในการออกแบบตัวละครและฉากมีความสวยงาม มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.48$, S.D. = 0.64) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Bülbül and Kuzu (2021) ที่ศึกษาผลกระทบของรูปแบบต่าง ๆ ของแอนิเมชัน โดยออกแบบในแง่ของคุณค่าทางอารมณ์ของเนื้อหา ซึ่งพบว่าแอนิเมชันที่มีตัวละครแบบเคลื่อนไหว และแอนิเมชันที่มีดนตรีประกอบและเสียงเอฟเฟกต์ที่เสริมอารมณ์ มีผลทางอารมณ์ของผู้รับชม และผลทางอารมณ์จะมีผลเชิงบวกในการสร้างแรงจูงใจภายใน และความสนใจของผู้ชมสื่อแอนิเมชัน รองลงมาคือ การใช้สีในการออกแบบตัวละครและฉากมีความสวยงาม มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.47$, S.D. = 0.61) และหัวข้อที่มีความพึงพอใจน้อยที่สุด คือ เรื่องราวสามารถเข้าใจได้ง่ายแม้ไม่มีบทพูด มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.30$, S.D. = 0.71) จากผลการประเมินความพึงพอใจเห็นได้ว่าการนำเสนอสื่อแอนิเมชัน 3 มิติ ผ่านการเล่าเรื่องโดยไม่มีบทสนทนา ใช้การสื่อสารด้วยอารมณ์การแสดงออกทางสีหน้า ท่าทาง และบรรยากาศในการสื่อความหมาย ถ้ามีการวางลำดับเนื้อเรื่องไม่ดีพออาจจะทำให้ผู้รับชมสื่อนั้นไม่สามารถเข้าถึงเป้าหมายของสื่อแอนิเมชัน 3 มิติได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะเห็นได้ว่าสื่อแอนิเมชัน 3 มิติ ยังสามารถนำเสนอเรื่องราวให้ผู้รับชมเข้าใจได้แม้ไม่มีบทพูดซึ่งมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก และนอกจากนี้สื่อแอนิเมชัน 3 มิติ ยังให้ผู้รับชมเห็นคุณค่าและให้คติสอนใจ และได้ข้อคิดจากการรับชมสื่อแอนิเมชัน 3 มิติ เพื่อนำไปปรับใช้ในชีวิตประจำวันของตนเองได้ ซึ่งตรงกับจุดประสงค์ของการการพัฒนาสื่อแอนิเมชัน 3 มิติ ด้านการสื่อสารด้วยอารมณ์ เรื่อง ใกล้แต่ไกล สำหรับการสร้างแรงบันดาลใจ

สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย พบว่า 1) ผลการพัฒนาสื่อแอนิเมชัน 3 มิติ ด้านการสื่อสารด้วยอารมณ์ เรื่อง ใกล้แต่ไกล สำหรับการสร้างแรงบันดาลใจ ที่เหมาะกับกลุ่มเยาวชนอายุระหว่าง 18 – 25 ปี โดยคณะผู้วิจัยใช้โปรแกรม Adobe Illustrator ในการร่างตัวละครและฉาก โปรแกรม Blender สำหรับการสร้างโมเดล 3 มิติ และฉาก โปรแกรม Adobe Premiere ในการตัดต่อ และโปรแกรม Adobe Audition ในการปรับเสียง โดยสื่อแอนิเมชัน 3 มิติ มีความถูกต้องตรงกับลำดับเนื้อเรื่องตามบทบาทที่วางไว้ ท่าทาง สีหน้า และการเคลื่อนไหวของตัวละครและฉากมีความสมบูรณ์และต่อเนื่อง รวมถึงภาพและเสียงสามารถเข้ากันและสื่อสารอารมณ์ออกมาได้ดี มีระยะเวลา 2.20 นาที 2) ผลการประเมินคุณภาพของสื่อแอนิเมชัน 3 มิติ โดยผู้เชี่ยวชาญ ภาพรวมอยู่ในระดับดี ($\bar{X} = 4.35$, S.D. = 0.54) และ 3) ผลการประเมินพึงพอใจที่มีต่อสื่อแอนิเมชัน 3 มิติ โดยกลุ่มเป้าหมาย ภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.40$, S.D. = 0.66) ช่วยให้ผู้รับชมได้มีแรงบันดาลใจในการใช้ชีวิตต่อไป แม้จะเจอกับความผิดหวัง ซึ่งสามารถนำสื่อแอนิเมชัน 3 มิตินี้ไปใช้ในการสอนหรือพัฒนาทักษะชีวิตในเรื่องของการสร้างแรงบันดาลใจให้กับเยาวชนในสถาบันการศึกษาได้

ข้อเสนอแนะ

ในการพัฒนางานวิจัยต่อไปสามารถทำแอนิเมชันในรูปแบบเรื่องยาว หรือแบบแบ่งตอนสั้น ๆ ให้มีเนื้อเรื่องน่าติดตาม และสอดแทรกข้อคิดในการสร้างแรงบันดาลใจในหลาย ๆ ด้าน เพื่อให้ผู้รับชมสื่อเกิดความสนุกสนานและได้ข้อคิดหรือเห็นความเป็นจริงของชีวิตในทุกมิติ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเจ้าพระยาในการให้ทุนสนับสนุนการดำเนินการวิจัย ประจำปีการศึกษา 2567 และเอื้อเฟื้อสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ในการดำเนินการวิจัยให้เสร็จสิ้นตามวัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย และขอบพระคุณท่านผู้ทรงคุณวุฒิในการประเมินคุณภาพของสื่อแอนิเมชัน 3 มิติ ทั้ง 5 ท่าน และผู้มีส่วนร่วมในการประเมินความพึงพอใจของสื่อแอนิเมชัน 3 มิติ ด้านการสื่อสารด้วยอารมณ์ เรื่อง ใกล้แต่ไกล สำหรับการสร้างแรงบันดาลใจ

เอกสารอ้างอิง

- กัลยา วานิชย์บัญชา. (2560). **หลักสถิติ** (พิมพ์ครั้งที่ 15). กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์สามลดา.
- กานต์ คุ่มภัย, ธนัท แสงกิ่ง, ปนัดดา ใจบุญลือ, และธณิตชากร ปิตาระโพธิ์. (2565). การออกแบบและพัฒนาแอนิเมชัน 3 มิติ เรื่อง เชิงศิลป์ ส่งเสริมการรับรู้ศิลปะแม่ไม้มวยไทยของนักเรียนโรงเรียนกระทุ่มแบน “วิเศษสมุทคุณ”. ใน: รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติ “วิจัยสร้าง Innovation and Technology เพื่อรองรับสังคมไทยสู่ยุค Digital World” ครั้งที่ 14 มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม (หน้า 624 – 635). นครปฐม: มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม.
- กรมสุขภาพจิต. (2567). รายงานสถานการณ์การฆ่าตัวตายในประเทศไทย ปีงบประมาณ 2566. ค้นจาก <https://suicide.dmh.go.th/books/view.asp?id=27>
- ณัฐฐิติ คำมูล. (2568). ส่องอายุ ‘เยาวชน’ แต่ละประเทศ เมื่อคำว่าเยาวชนของเราไม่เหมือนกัน. ค้นจาก https://siythailand.org/article_2025_1/
- ณัฐพล ฉัตรมงคลยิ่ง, และปญญรัตน์ รังสูงเนิน. (2562). การศึกษาผลการรับรู้และความพึงพอใจของนักเรียนช่วงชั้นที่ 2 ต่อการดูแอนิเมชัน 3 มิติ เรื่อง “อดทนรอไปด้วยกันนะ”. **วารสารวิทยาการและเทคโนโลยีสารสนเทศ**, 9(1), 52-62.
- นรุตม์ กลัดสำเนียง, อวิรุทธ์ เจริญทรัพย์, และชัยพร พาณิษฐติวงศ์. (2565). การออกแบบสื่อแอนิเมชัน 3 มิติ เพื่อให้ผู้ปกครองตระหนักถึงผลเสียจากการเลี้ยงดูบุตรด้วยความเข้มงวดจนเกินไป. ใน: รายงานสืบเนื่องจากการประชุมการนำเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 17 ปีการศึกษา 2565 (หน้า 138 – 148). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย.
- นатыา ร่วมสมัคร, อมينا ฉายสุวรรณ, และชุมพล จันทรฉลอง. (2564). การศึกษาคุณภาพและความพึงพอใจของการดูแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่องผลไม้มหัศจรรย์. **วารสารวิจัยและนวัตกรรมทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**, 2(3), 14 – 24.
- บุญชม ศรีสะอาด. (2560). **การวิจัยเบื้องต้น ฉบับปรับปรุงใหม่** (พิมพ์ครั้งที่ 10). กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาส์น.
- พิรวัฒน์ สุขเกษม. (2563). การพัฒนาสื่อโมชันอินโฟกราฟิกในการเสริมสร้างจิตสำนึกเพื่อการต่อต้านและการป้องกันด้านการทุจริตสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายในจังหวัดเพชรบูรณ์. **วารสารวิชาการคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี**, 11(1), 75 – 87.

- รชตะ แสงกรด, กฤษดา เกิดดี, และชัยพร พานิชรุทติวงศ์. (2562). การออกแบบสื่อแอนิเมชัน 2 มิติ เพื่อสร้างแรงบันดาลใจในการใช้ชีวิต. ใน: รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยรังสิต ประจำปี 2562 (หน้า 343 – 351). ปทุมธานี: มหาวิทยาลัยรังสิต.
- เรืองทิพย์ เย็นจะบก, ศิริลักษณ์ ห่วงเอี่ยม, ศิวพร ลินทะลิก, และวันเพ็ญ ผลิศร. (2567). การสร้างสื่อการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ เรื่อง การเรียนรู้ของเครื่อง. *วารสารครุศาสตร์อุตสาหกรรม*, 23(2), 100 – 109.
- สุกัญชลิกา บุญมาธรรม, ศิริพร อ่วมศิริ, พีรศุภย์ บุญมาธรรม, ปราโมทย์ ตงฉิน, ดนัย เจษฎาวิฑิตกุล, กรกต เจริญผล, และญาณิศา อัตถาวระ. (2567). การพัฒนาสื่อแอนิเมชันเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมการร่อนทอง ตำบลร่อนทอง อำเภอบางสะพาน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์. *วารสารวิทยาศาสตร์แห่งมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี*, 21(2), 86 – 100.
- สุทธิพงษ์ คล่องดี, และณลินี ชนะมูล. (2564). การพัฒนาสื่อโมชันกราฟิก แนะนำสถานที่ท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ ชุมชนขนมแปดกริมคลองหนองบัว จังหวัดจันทบุรี. *วารสารวิชาการการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ*, 7(2), 75 – 83.
- สุธิดา อนุญาหงษ์, ณพน บาทขารี, วิชชุดา ภาโสสม, และแพรวตะวัน จารุตัน. (2566). การพัฒนาสื่อการเรียนรู้แอนิเมชัน 3 มิติ ในหัวข้อเรื่อง การผลิตแผ่นฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยกกสามเหลี่ยม (ผือ). *วารสารวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย*, 3(1), 32 – 44.
- สุวิธ ธีระไครต, และชญา หิรัญเจริญเวช. (2561). ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการใช้อินิเมชันเพื่อการเรียนรู้ของนักเรียนนักศึกษา. *วารสารวิชาการนวัตกรรมสื่อสารสังคม*, 6(2), 32 – 39.
- อัจฉริยพงศ์ จันทรคลัง, และเนติรัฐ วีระนาคินทร์. (2562). การพัฒนาแอนิเมชัน 2 มิติ กลอนลำอีสาน โดยการใช้การออกแบบแบบมีส่วนร่วม. *วารสารบัณฑิตศึกษาปริทรรศน์ วิทยาลัยสงฆ์นครสวรรค์*, 7(2), 71 – 82.
- อัญชลี รอดหงษ์ทอง, และสุชารัตน์ จันทนาพูนธยาน์. (2567). การพัฒนาสื่อการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง คำควบกล้ำ. ใน: รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติ “Soft Power พลังสร้างสรรค์ ขับเคลื่อนเศรษฐกิจไทย” ครั้งที่ 16 มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม (หน้า 739 – 746). นครปฐม: มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม.
- Abd Rashid, R., Mutalib, N. S. A., and Manan, D. H. A. (2022). Development of 3D Animation on How to Fight Covid19. *International Journal of Business and Technology Management*, 4(3), 190-201.
- Bülbül, A. H., and Kuzu, A. (2021). Emotional design of educational animations: Effects on emotion, learning, motivation and interest. *Participatory Educational Research*, 8(3), 344-355.
- Li, L. (2022). Application of Computer 3D Technology in Graphic Design of Animation Scene. In R. Dienstbier (Ed.), *2nd International Conference on Computer Graphics, Image and Virtualization (ICCGIV)* (pp. 42-45). Chongqing, China.
- Saitum, W., Triamornpan, C., Thitichaiyongkit, N., and Tipamornwiwat, N. (2014). 3D animation silent movie entitled “The Seed”: Research for level of understanding compare between male and female. *World Journal of Computer Application and Technology*, 2(4), 94-98.
- Saputra, D. I. S., Manongga, D., and Hendry, H. (2021). Animation as a creative industry: State of the art. In R. Dienstbier (Ed.), *5th International Conference on Information Technology, Information Systems and Electrical Engineering (ICITISEE)* (pp. 6-11). Purwokerto, Indonesia.
- Shalamberidze, M., Sokhadze, Z., and Tatvidze, M. (2019). Construction of the main transverse-vertical cross-sections for orthopedic shoe trees and 3D design of the shoe tree frame. *Bulletin of the Georgian Academy of Sciences*, 13(4), 20 – 26.
- Thrash, T. M., & Elliot, A. J. (2003). Inspiration as a psychological construct. *Journal of Personality and Social Psychology*, 84(4), 871–889. doi: 10.1037/0022-3514.84.4.871
- Wibowo, M. C., Nugroho, S., and Wibowo, A. (2024). The use of motion capture technology in 3D animation. *International Journal of Computing and Digital Systems*, 15(1), 975-987.

Zakir, S., Maiyana, E., Khomarudin, A. N., Novita, R., and Deurama, M. (2021). Development of 3D animation based hydrocarbon learning media. In R. Dienstbier (Ed.), **2nd Bukittinggi International Conference on Education (BICED) 2020** (p. 012008). Bukittinggi, Indonesia.

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการปลดปล่อยก๊าซมีเทน และก๊าซไนตรัสออกไซด์

กรณีศึกษา ฟาร์มเลี้ยงไก่เนื้อในจังหวัดชลบุรี ประเทศไทย

Carbon Footprint Assessment from Methane and Nitrous Oxide Emissions:

A Case Study of a Broiler Farm in Chonburi Province, Thailand

จิรพันธ์ จันฤชัย^{1*} อรุณย์ภัค พิทักษ์พงษ์¹ ชุตติชัย ลิ้มสุภสิน² และ ปพิชญา บุรกีจภาชัย³

Jiraphan Janluechai^{1*} Arunpak Pitakpong¹ Chutichai Limsupasin² and Paphichaya Burakitphachai³

¹สาขาวิชานาฏยศาสตร์และวัฒนธรรม คณะมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

²สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี 20131

³สาขาวิชานาฏยศาสตร์และวัฒนธรรม คณะมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก 65000

¹Program of Environmental Health, School of Public Health, University of Phayao,
Phayao Province, 56000

² Program of Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Burapha University,
Chonburi Province, 20131

³ Program of Environmental Health, Faculty of Public Health, Naresuan University,
Phitsanulok Province, 65000

*Corresponding author E-mail: 64224738@up.ac.th

Received 29 April 2025, Accepted 16 July 2025, Published 17 July 2025

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกประเภทก๊าซมีเทน (CH₄) และก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N₂O) รวมถึงคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรจากกิจกรรมการจัดการมูลไก่เนื้อที่กักเก็บในโรงเลี้ยง ณ ฟาร์มเลี้ยงไก่เนื้อในจังหวัดชลบุรี ประเทศไทย การประเมินดำเนินการโดยใช้วิธีการคำนวณตามหลักการของ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) และค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผลการศึกษาพบว่าการปลดปล่อย CH₄ มีค่าอยู่ในช่วง 2,576.21 – 2,674.97 kgCH₄ และ N₂O อยู่ในช่วง 2,596.22 – 2,813.88 kgN₂O-N ต่อวัน ตามลำดับ เมื่อพิจารณาสัดส่วนของการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดจากกองมูลไก่ที่ศึกษา พบว่า N₂O คิดเป็น 91% ในขณะที่ CH₄ คิดเป็น 9% การปลดปล่อย N₂O ที่สูงนี้สอดคล้องกับคุณสมบัติของมูลไก่ที่มีปริมาณไนโตรเจนสูงและสภาพแวดล้อมภายในกองมูลที่เอื้อต่อทั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันและเดนนิตริฟิเคชัน ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการผลิต N₂O นอกจากนี้ การที่ N₂O มีศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential, GWP) สูงถึง 298 เท่าของ CO₂ ทำให้การปลดปล่อย N₂O จากกองมูลไก่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสุขภาพของมนุษย์ ผลการศึกษานี้เป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญสำหรับองค์กรในการจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจก (Carbon Footprint for Organization, CFO) และใช้ประกอบการขอรับรองฉลากคาร์บอนฟุตพริ้นท์ตามข้อกำหนดขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) หรือ อบก. นอกจากนี้ งานวิจัยยังชี้ให้เห็นถึงประโยชน์ของค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อย (EF) ในการประเมินเบื้องต้น และเสนอแนะให้มีการศึกษาในอนาคตเพื่อจัดทำค่า (EF) ที่เฉพาะเจาะจงตามสายพันธุ์ไก่และช่วงเวลาการปลดปล่อย (กลางวันและกลางคืน)

รวมถึงการวัดภาคสนามจริง เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการประเมินและพัฒนากลยุทธ์การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคปศุสัตว์ได้อย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: คาร์บอนฟุตพริ้นท์ ภาวะโลกร้อน กองมูลไก่ การจัดการมูลสัตว์ ฟาร์มไก่เนื้อ

ABSTRACT

This research aimed to assess methane (CH_4) and nitrous oxide (N_2O) emissions and to calculate the organizational carbon footprint from activities related to outdoor poultry litter storage at a broiler farm in Chonburi Province, Thailand. The assessment was conducted using calculation methods based on the principles of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) and emission factors from relevant research. The results showed that CH_4 emissions ranged from 2,576.21 – 2,674.97 kg CH_4 per batch, and N_2O emissions ranged from 2,596.22 – 2,813.88 kg N_2O -N per batch. When considering the proportion of total greenhouse gas emissions from the studied poultry litter piles, N_2O accounted for 91%, while CH_4 accounted for 9%. The high N_2O emissions are consistent with the characteristics of poultry litter, which contains a high nitrogen content, and the heterogeneous micro-environments within the litter piles that facilitate both nitrification and denitrification processes, which are key factors in N_2O production. Furthermore, given that N_2O has a Global Warming Potential (GWP) 298 times greater than that of CO_2 , its emission from poultry litter significantly impacts climate change and human health. The findings of this study provide fundamental data for the organization's Carbon Footprint for Organization (CFO) assessment and for obtaining carbon footprint labels in accordance with the requirements of the Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization) or TGO. This research also highlights the utility of emission factors (EF) for preliminary assessments and suggests future studies to develop more specific (EF) based on broiler breeds and emission periods (day and night). Additionally, on-site measurements are recommended to enhance the accuracy of assessments and to develop sustainable strategies for reducing greenhouse gas emissions in the livestock sector.

Keyword: Carbon footprint, Global warming, Poultry manure, Animal Manure Management, Broiler Farm

บทนำ

ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมกำลังได้รับความสนใจทั่วโลก ทำให้ประเทศต่าง ๆ เริ่มตระหนักและให้ความสำคัญในการศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นโดยมีเป้าหมายเพื่อหาวิธีลดผลกระทบต่อชีวิตความเป็นอยู่ของมนุษย์ หนึ่งในปัญหาสำคัญที่ได้รับ ความสนใจอย่างมากในขณะนี้คือ ภาวะโลกร้อน (Global Warming) ซึ่งมีสาเหตุหลักมาจากการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gases, GHGs) จากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์อย่างต่อเนื่อง คาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2eq) การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและภาวะโลกร้อนเกิดจากการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศ ซึ่งส่วนใหญ่เป็น ผลจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยเฉพาะการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลในภาคอุตสาหกรรมและการคมนาคมขนส่ง ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีบทบาทสำคัญในการดักจับความร้อนในชั้นบรรยากาศ ทำให้อุณหภูมิโลกสูงขึ้น (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2018) การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศนี้นำไปสู่ผลกระทบด้าน

สิ่งแวดล้อมหลายประการ เช่น ภัยแล้ง ฝนตกหนัก ภัยพิบัติทางธรรมชาติที่ทวีความรุนแรง รวมถึงการสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพ (United Nations Environment Programme, 2020)

ภาคการเกษตรเป็นอีกหนึ่งแหล่งสำคัญของการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ ความหลากหลายทางชีวภาพ คุณภาพน้ำ สุขภาพดิน และองค์ประกอบของอากาศ (Aneja et al., 2009; Wyer et al., 2022) ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมและสภาพภูมิอากาศหลักที่เกิดจากการเกษตร ได้แก่ การปลดปล่อยแอมโมเนีย (NH_3) และก๊าซเรือนกระจก เช่น ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) และมีเทน (CH_4) โดยรวมแล้วภาคการเกษตรมีส่วนรับผิดชอบต่อการปลดปล่อย NH_3 มากกว่า 80% ของการปลดปล่อยทั่วโลก (Wyer et al., 2022) การจัดการมูลสัตว์เป็นแหล่งหลักของการปลดปล่อย NH_3 , N_2O และ CH_4 มูลสัตว์จะถูกเก็บในหลายรูปแบบ เช่น การกองในที่โล่งแจ้ง ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้กันทั่วไป โดยเฉพาะในฟาร์มเลี้ยงไก่เนื้อ

แม้ว่าการศึกษาเกี่ยวกับการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากมูลสัตว์จะมีการดำเนินการมาบ้าง เช่น การศึกษาในเดนมาร์กที่พบว่า การปลดปล่อยแอมโมเนียจากการจัดการมูลไก่เนื้อคงที่ (Nielsen et al., 2022) และการศึกษาอื่นที่แสดงว่าอุณหภูมิภายในกองเก็บมูลไก่มีผลต่อการปลดปล่อยก๊าซ (Clemens et al., 2006; Lemes et al., 2023) และความสูงของการกองมูลไก่มีผลต่อการปลดปล่อย CO_2 , CH_4 และ N_2O (Dong et al., 2011) อย่างไรก็ตาม การพึ่งพาผลลัพธ์จากการศึกษาขนาดเล็กหรือในห้องปฏิบัติการอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้ เนื่องจากอุณหภูมิและการปลดปล่อยก๊าซในการกองมูลไก่ขนาดเล็กอาจเบี่ยงเบนไปจากสภาพจริงในฟาร์มขนาดใหญ่ได้อย่างมาก การศึกษาการปลดปล่อยจากกองมูลไก่ขนาดใหญ่เผชิญกับความท้าทายทั้งทางปฏิบัติและทางเทคนิค จึงมีการศึกษาน้อยมากที่สามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับผลการปลดปล่อยที่สัมพันธ์กับขนาดของกองมูลไก่ในสภาพฟาร์มจริง

ดังนั้น จึงยังคงมีช่องว่างการวิจัย (Research Gap) ที่สำคัญในองค์ความรู้เกี่ยวกับการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ โดยเฉพาะจากการปลดปล่อยก๊าซมีเทนและไนตรัสออกไซด์ที่เกิดจากการจัดการมูลไก่เนื้อในฟาร์มขนาดใหญ่ภายใต้สภาพการเลี้ยงและภูมิอากาศจริงในประเทศไทย แม้ว่าการผลิตไก่ทั่วโลกจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะในประเทศกำลังพัฒนาอย่างประเทศไทย (Mottet and Tempio, 2017; FAOSTAT, 2024) แต่กลับมีการศึกษาน้อยมากที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากความสัมพันธ์ของขนาดของกองมูลไก่ในสภาพฟาร์มจริง (field-scale) การขาดข้อมูลที่แม่นยำในบริบทเฉพาะของประเทศไทยนี้ อาจทำให้การประมาณการการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคปศุสัตว์ไม่สะท้อนความเป็นจริง และส่งผลกระทบต่อพัฒนาการลดการปลดปล่อยก๊าซที่ไม่มีประสิทธิภาพ

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกหรือศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนสามารถประเมินได้จากการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิดที่เกิดขึ้นจริงหรือจากการวัดและแปลงหน่วยให้อยู่ในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2 eq) โดยใช้ค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนในรอบ 100 ปี (Global Warming Potential: GWP) ของ IPCC ของก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญต่าง ๆ ในหน่วยกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (KgCO_2eq) โดยระบุสูตรโมเลกุลและค่า GWP ของแต่ละก๊าซ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ถูกใช้เป็นค่าฐานอ้างอิงด้วยค่า GWP เท่ากับ 1 ในขณะที่ก๊าซมีเทน (CH_4) มีค่า GWP อยู่ที่ 28 และก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) มีค่า GWP อยู่ที่ 265 นอกจากนี้ ตารางยังแสดงค่า GWP ของก๊าซฟลูออรีนต่าง ๆ ซึ่งมีค่าสูงกว่ามาก เช่น เพอร์ฟลูออโรคาร์บอน ($\text{C}_n\text{F}_{2n+2}$) มีค่า GWP ระหว่าง 7,390-12,200, ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน ($\text{C}_n\text{H}_m\text{F}_p$) มีค่า GWP ระหว่าง 124-14,800, ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF_6) มีค่า GWP ที่ 22,800, และไนโตรเจนไตรฟลูออไรด์ (NF_3) มีค่า GWP ที่ 16,100 ข้อมูลค่า GWP (IPCC, 2014)

แนวโน้มการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในประเทศไทย ซึ่งเป็นประเทศกำลังพัฒนา มีความเสี่ยงสูงต่อผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และอยู่ในอันดับที่ 9 ของประเทศที่มีความเสี่ยงสูง (UNDP, 2022) ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทยน้อยกว่า 1% ของปริมาณการปล่อยทั่วโลก และต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของโลกเมื่อพิจารณาต่อหัวประชากร ในปี 2561 ภาคพลังงานเป็นส่วนที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดของประเทศไทย คิดเป็นร้อยละ 69.06 ของการปล่อยมลพิษทั้งหมด ประเทศไทยตั้งเป้าหมายที่จะลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงร้อยละ 30 จากระดับที่คาดการณ์ไว้ภายในปี 2030 และอาจเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 40 โดยขึ้นอยู่กับการสนับสนุนด้านการพัฒนา การถ่ายทอดเทคโนโลยี แหล่งเงินทุน และการสร้างขีดความสามารถที่เพียงพอและเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ประเทศไทยจะยังคงพยายามอย่างเต็มที่เพื่อบรรลุเป้าหมายระยะยาวของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกภายในปี 2050 และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ภายในปี 2065

ดังนั้น การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการปลดปล่อยก๊าซมีเทนและก๊าซไนตรัสออกไซด์ กรณีศึกษาฟาร์มเลี้ยงไก่เนื้อในจังหวัดชลบุรี ประเทศไทย เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำคัญสำหรับการบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกขององค์กร และสนับสนุนการบรรลุเป้าหมายการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศต่อไป

วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อประเมินก๊าซมีเทน CH_4 และไนตรัสออกไซด์ N_2O จากกองมูลไก่ ของฟาร์มเลี้ยงไก่เนื้อแห่งหนึ่งในจังหวัดชลบุรี
- 2) เพื่อประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของกรจากกิจกรรมที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า CO_2eq

วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการหาค่าก๊าซเรือนกระจกจากกองมูลไก่ ก๊าซเรือนกระจกที่ศึกษาและคำนวณได้แก่ ก๊าซมีเทน CH_4 และไนตรัสออกไซด์ N_2O เพื่อนำมาคำนวณค่าศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนในหน่วย CO_2eq ของฟาร์มเลี้ยงไก่เนื้อแห่งหนึ่งในจังหวัดชลบุรี โดยกำหนดกรอบแนวคิดการวิจัยแสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

ผู้วิจัยทำการศึกษาการปล่อยก๊าซมีเทน CH_4 และไนตรัสออกไซด์ N_2O จากการจัดการมูลไก่ อีกทั้งสูตรในการคำนวณการปลดปล่อยมีเทนและไนตรัสออกไซด์จากกองมูลไก่ได้จากเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกองมูลไก่ และรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิจากฝ่ายบัญชีของฟาร์มเลี้ยงไก่เนื้อแห่งหนึ่งในจังหวัดชลบุรี แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รวบรวมข้อมูลทุติยภูมิที่ใช้ในการคำนวณ

ข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data)	แหล่งที่มา (Source)	แนวทางการตรวจสอบความถูกต้อง (Verification Approaches)
จำนวนไก่	ข้อมูลจากฝ่ายบัญชี (Accounting Department Data)	1) เปรียบเทียบกับบันทึกการเลี้ยงประจำวันของฟาร์ม (Farm Daily Logbooks) และบันทึกการรับเข้า-ส่งออกไก่ (Inflow/Outflow Records) เพื่อยืนยันความสอดคล้องของตัวเลข 2) ตรวจสอบความครบถ้วนของข้อมูลในแต่ละรอบการลงไก่ในเล้าของแต่ละรุ่นตลอดช่วงเวลาศึกษา 3) สัมภาษณ์ผู้จัดการฟาร์มหรือพนักงานที่รับผิดชอบการบันทึกข้อมูลเพื่อยืนยันความถูกต้องของกระบวนการบันทึก
ระยะเวลาในการเลี้ยง	ข้อมูลจากฝ่ายบัญชี (Accounting Department Data)	1) ตรวจสอบความสอดคล้องกับกำหนดการเลี้ยงไก่ของฟาร์มและบันทึกการเริ่มต้น-สิ้นสุดรอบการผลิตจริง 2) ตรวจสอบว่ามีข้อมูลระยะเวลาเลี้ยงสำหรับทุกรอบการผลิตที่ทำการศึกษา
น้ำหนักไก่	ข้อมูลจากฝ่ายบัญชี (Accounting Department Data)	1) เปรียบเทียบกับบันทึกการชั่งน้ำหนักไก่สุ่มตัวอย่าง หรือข้อมูลน้ำหนักไก่เฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดรอบการเลี้ยง (Harvest Weight) 2) ตรวจสอบความสมเหตุสมผลของน้ำหนักไก่เทียบกับอายุที่ระบุตามมาตรฐานการเจริญเติบโตของสายพันธุ์ไก่เนื้อ 3) สอบถามขั้นตอนการบันทึกน้ำหนัก และวิธีการชั่งน้ำหนักที่ใช้ในฟาร์มเพื่อประเมินความน่าเชื่อถือของข้อมูล

1. ขั้นตอนการคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

การคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกประเภท CH_4 และ N_2O จากกองมูลไก่เนื้อ ดำเนินการตามลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้ โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อย (Emission Factor, EF) ตามหลักการที่เป็นที่ยอมรับในระดับสากล และมีการประมวลผลข้อมูลทั้งหมดด้วยโปรแกรม Microsoft Excel เพื่อความถูกต้องและรวดเร็วในการประมวลผลข้อมูล

1.1 การจัดการมูลสัตว์ (กองมูลไก่)

1.1.1 การคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทน (CH_4)

ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทน (CH_4) สำหรับแต่ละรุ่นการเลี้ยงคำนวณตามสมการที่ 1 โดยใช้ข้อมูลจำนวนไก่ที่เลี้ยงและระยะเวลาในการเลี้ยงจากข้อมูลทุติยภูมิ และอ้างอิงค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยจาก (Zhu, Z. et al., 2020) และ IPCC (2006) ซึ่งเป็นแหล่งข้อมูลมาตรฐานที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคปศุสัตว์ ตามสมการที่ (1)

สูตรการหาการปลดปล่อยก๊าซมีเทน (CH₄)

$$E_{CH_4} = N \times T \times EF \quad (1)$$

เมื่อ	E_{CH_4}	คือ การปลดปล่อยก๊าซมีเทน (CH ₄) (kgCH ₄)
	T	คือ ระยะเวลาในการเลี้ยง (วัน)
	N	คือ จำนวนไก่ที่เลี้ยง (ตัว)
	EF	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อย 0.02 kgCH ₄ /ตัว/ปี (Zhu, Z. et al, 2020; ICPP, 2006)

1.1.2 การคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N₂O)

การคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N₂O) ดำเนินการเป็นสองขั้นตอนหลัก ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การคำนวณปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total_N) ในมูลสัตว์ ในขั้นตอนนี้ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่ขับถ่ายออกมาโดยไก่แต่ละรุ่นจะถูกคำนวณ โดยอาศัยข้อมูลอัตราการขับถ่ายไนโตรเจน (CD) น้ำหนักไก่เฉลี่ย ระยะเวลาการเลี้ยง และจำนวนไก่ทั้งหมดในแต่ละรุ่น ตามสมการที่ (2)

สูตรการหาการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ N₂O

$$Total_N = (CD \times W \times T) N \quad (2)$$

เมื่อ	Total _N	คือ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (kgN)
	CD	คือ อัตราการขับถ่ายของไก่ 1.10 kgN/1,000 kg animal mass/วัน
	W	คือ น้ำหนักตัวไก่ (kg/ตัว)
	T	คือ ระยะเวลาในการเลี้ยง (วัน)
	N	คือ จำนวนไก่ในการเลี้ยง (ตัว)

ขั้นตอนที่ 2: การคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ (E_{N₂O}) เมื่อได้ค่า Total_N จากขั้นตอนที่ 1 แล้ว ปริมาณการปลดปล่อย N₂O จะถูกคำนวณโดยการคูณ Total_N ด้วยค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยที่เหมาะสมตามสมการที่ (3) โดยอ้างอิงค่าสัมประสิทธิ์จาก Zhu, Z. et al. (2020) และ IPCC (2006)

$$E_{N_2O} = Total_N \times EF \quad (3)$$

เมื่อ	E_{N_2O}	คือ การปลดปล่อยไนตรัสออกไซด์ (N ₂ O)
	Total _N	คือ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (kgN)
	EF	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อย 0.02 kgN ₂ O-N/kgN (Zhu, Z. et al, 2020; IPCC, 2006)

1.1.3 การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint, CF)

ขั้นตอนสุดท้ายคือการรวมปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้ง CH₄ และ N₂O จากแต่ละรุ่น แล้วแปลงให้อยู่ในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO₂eq) เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบและรวมผลได้ การแปลงนี้ทำโดยการคูณปริมาณก๊าซแต่ละชนิดด้วยค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential: GWP) ในรอบ 100 ปี ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานจาก Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2014) โดยใช้ค่า GWP ของ CH₄ เท่ากับ 28 และ N₂O เท่ากับ 265 ดังแสดงในสมการที่ (4)

สูตรการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (CF)

$$CF = AD \times EF \quad (4)$$

เมื่อ	CF	คือ คาร์บอนฟุตพริ้นท์ (kgCO ₂ eq)
	DA	คือ กิจกรรม (ค่าของ E _{CH₄} และ E _{N₂O}) จาก (1) และ (2)
	EF	คือ ค่าสัมประสิทธิ์ที่มีศักยภาพในการกักเก็บก๊าซเรือนกระจก (CH ₄ =28, N ₂ O=265)

2. ข้อจำกัดและความไม่แน่นอนของวิธีการและผลลัพธ์

การประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกด้วยวิธีการคำนวณตามค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อย (EF) มีข้อจำกัดและความไม่แน่นอนบางประการที่ควรพิจารณา ดังนี้

2.1 ความผันแปรของค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อย (EF Variability): ค่า EF ที่ใช้ในการคำนวณ (0.02 KgCH₄/ตัว/ปี และ 0.02 kgN₂O-N/kgN) เป็นค่ามาตรฐานที่พัฒนาขึ้นจากงานวิจัยในบริบทที่หลากหลาย ซึ่งอาจไม่สะท้อนถึงความผันแปรของปัจจัยเฉพาะถิ่นของฟาร์มที่ศึกษาได้อย่างสมบูรณ์ เช่น ชนิดของสายพันธุ์ไก่ที่เลี้ยงโดยละเอียด, รูปแบบการจัดการมูลไก่ที่แตกต่างกัน, อุณหภูมิและความชื้นในสภาพภูมิอากาศจริงของจังหวัดชลบุรีที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละวันหรือฤดู ปัจจัยเหล่านี้ล้วนส่งผลต่อกระบวนการทางชีวเคมีและชีวภาพที่ผลิตก๊าซเรือนกระจก

2.2 ข้อจำกัดของการคำนวณ (N₂O): การคำนวณ N₂O ที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ไม่ได้รวมถึงปัจจัยด้านสภาพอากาศบางประการอย่างละเอียด เช่น ผลกระทบโดยตรงของปริมาณฝนหรือความชื้นในอากาศที่อาจส่งผลให้การปลดปล่อย N₂O ลดลงจากค่าที่คำนวณได้ (Kamp and Feilberg, 2024) ซึ่งอาจนำไปสู่ความคลาดเคลื่อนในการประเมินปริมาณ N₂O ที่ปลดปล่อยจริง

2.3 ลักษณะข้อมูลทุติยภูมิ: แม้จะมีการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลทุติยภูมิแล้ว แต่ข้อมูลที่ได้จากบันทึกทางการเงินหรือการจัดการฟาร์มอาจมีรายละเอียดไม่เพียงพอเท่ากับการเก็บข้อมูลปฐมภูมิด้วยเครื่องมือวัดโดยตรงซึ่งอาจส่งผลต่อความแม่นยำของตัวแปรนำเข้าบางตัวในสมการ

2.4 การประเมินเชิงระบบ (System Boundary): การศึกษานี้มุ่งเน้นการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการมูลไก่เป็นหลัก ซึ่งเป็นแหล่งปลดปล่อยที่สำคัญ แต่ไม่ได้ครอบคลุมแหล่งปลดปล่อยอื่น ๆ ที่อาจเกิดขึ้นในฟาร์มไก่เนื้อ เช่น การผลิตอาหารสัตว์ การใช้พลังงาน หรือการขนส่ง ซึ่งอาจมีส่วนในการก่อให้เกิดคาร์บอนฟุตพริ้นท์รวมของฟาร์ม

ดังนั้น ผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ควรถูกพิจารณาว่าเป็นค่าประมาณการ (estimation) ที่เป็นไปตามหลักการมาตรฐานสากล แต่ยังคงมีความไม่แน่นอนที่เกิดจากความผันแปรของปัจจัยเฉพาะถิ่น ซึ่งเน้นย้ำถึงความจำเป็นของการศึกษาภาคสนามโดยตรงในอนาคตเพื่อเพิ่มความแม่นยำของข้อมูลในบริบทของประเทศไทย

1. ภาพรวมผลการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการปลดปล่อยก๊าซมีเทน (CH_4) และก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ขององค์กร ดำเนินการตามแนวทางการประเมินของ IPCC (2006) โดยใช้ค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential, GWP) ในรอบ 100 ปี จาก IPCC (2014) ซึ่งได้แก่ CH_4 เท่ากับ 28 และ N_2O เท่ากับ 265

ตารางที่ 2 แสดงผลการประเมินปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนและก๊าซไนตรัสออกไซด์ในแต่ละรุ่นการเลี้ยง และคาร์บอนฟุตพริ้นท์รวมในหน่วยคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

รุ่น	ปริมาณการปลดปล่อย (kgCH_4)	ปริมาณการปลดปล่อย ($\text{kgN}_2\text{O}-\text{N}$)	ปริมาณการปลดปล่อยรวม (kgCO_2eq)
1	2,576.21	2,596.22	760,132.18
2	2,637.02	2,975.12	862,243.36
3	2,629.19	3,029.63	876,470.27
4	2,636.77	2,710.18	792,027.26
5	2,567.52	2,556.49	749,360.41
6	2,674.97	2,813.88	820,678.36
รวม	15,721.68	16,681.52	4,860,911.84

2. ผลการปลดปล่อยก๊าซมีเทน CH_4

การคำนวณการปลดปล่อยก๊าซมีเทน CH_4 จากข้อมูลไก่ของในแต่ละรุ่น ดังนี้ 2,576.21 kgCH_4 , 2,637.02 kgCH_4 , 2,629.19 kgCH_4 , 2,636.77 kgCH_4 , 2,567.52 kgCH_4 และ 2,674.97 kgCH_4 ตามลำดับ มีการศึกษาก่อนหน้านี้แสดงให้เห็นว่า 14–51% ของคาร์บอนอินทรีย์รวม (TOC) ในวัสดุตั้งต้นระหว่างการทำปุ๋ยหมักหรือมูลไก่สามารถถูกปล่อยออกมาในรูปของก๊าซ CH_4 และ CO_2 สู่ชั้นบรรยากาศ (Wang et al., 2015) โดยการสูญเสียคาร์บอนไดออกไซด์เป็นส่วนใหญ่ของมวลคาร์บอนที่สูญเสียไปทั้งหมด ในขณะที่การปลดปล่อยก๊าซ CH_4 อาจคิดเป็นสัดส่วนน้อยกว่า 10% (Hao et al., 2004; Mulbry and Ahn, 2014) อีกทั้งยังมีหลายปัจจัยต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทน CH_4 เช่น ระยะเวลาในการเก็บ (การกองไว้ในโรงเลี้ยง) สภาพภูมิอากาศ (อุณหภูมิ ปริมาณความชื้น) เป็นต้น (Pardo et al., 2015) อย่างไรก็ตาม ข้อมูลเกี่ยวกับผลกระทบขององค์ประกอบของกองหมักต่อการปล่อยมีเทน CH_4 ของกองมูลไก่ ในระดับอุตสาหกรรมการเกษตร การเลี้ยงไก่เนื้อ ยังมีอย่างจำกัด

3) ผลการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ N_2O

การคำนวณก๊าซไนตรัสออกไซด์ N_2O จากข้อมูลไก่ของในแต่ละรุ่นดังนี้ 2,596.22 $\text{kgN}_2\text{O}-\text{N}$, 2,975.12 $\text{kgN}_2\text{O}-\text{N}$, 3,029.63 $\text{kgN}_2\text{O}-\text{N}$, 2,710.18 $\text{kgN}_2\text{O}-\text{N}$, 2,556.49 $\text{kgN}_2\text{O}-\text{N}$ และ 2,813.88 $\text{kgN}_2\text{O}-\text{N}$ ซึ่งการคำนวณไม่นับปัจจัยที่มีผลต่อการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ N_2O เนื่องจากในภาวะที่มีฝนตกหรือความชื้นในอากาศทำให้การปลดปล่อยอาจลดลงจากการคำนวณ (Kamp and Feilberg, 2024) ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) เกิดขึ้นตามธรรมชาติในดินผ่านกระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification) และดีไนตริฟิเคชัน (denitrification) โดยไนตริฟิเคชันคือการออกซิเดชันของแอมโมเนียมไปเป็นไนเตรตในสภาพแวดล้อมที่มีออกซิเจน และดีไนตริฟิเคชันคือการลดไนเตรตไปเป็นก๊าซไนโตรเจน (N_2) ในสภาวะไม่มีออกซิเจน ไนตรัสออกไซด์เป็นสารระหว่างทางที่เกิดปฏิกิริยาของดีไนตริฟิเคชันและเป็นผลพลอยได้จากไนตริฟิเคชันที่รั่วไหลออกจากเซลล์จุลินทรีย์ไปยังดินและในที่สุดก็เข้าสู่ชั้นบรรยากาศ หนึ่งในปัจจัยหลักที่ควบคุมการเกิดปฏิกิริยานี้คือความพร้อมของไนโตรเจนอินทรีย์ในดิน

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ผลการปลดปล่อยก๊าซมีเทน (CH_4) และไนตรัสออกไซด์ (N_2O) จากกองมูลไก่ โดยพิจารณาสูตรคำนวณ

ก๊าซเรือนกระจก	มีเทน (CH_4)	ไนตรัสออกไซด์ (N_2O)
สูตรการคำนวณที่ใช้	$E_{\text{CH}_4} = N \times T \times \text{EF} \quad (1)$ โดย $\text{EF} = 0.02 \text{ kgCH}_4/\text{ตัว/ปี}$ (Zhu, Z. et al, 2020; ICPP, 2006)	1) จำนวนปริมาณไนโตรเจนรวม $\text{Total}_N = (\text{CD} \times \text{W} \times \text{T}) \text{ N} \quad (2)$ 2) จำนวนการปลดปล่อย N_2O $E_{\text{N}_2\text{O}} = \text{Total}_N \times \text{EF}$ โดย $E_{\text{N}_2\text{O}} = 0.02 \text{ kgN}_2\text{O-N/kgN}$ (Zhu, Z. et al, 2020; IPCC, 2006)
ปริมาณที่คำนวณได้ (ต่อรุ่น)	- ค่าต่ำสุด: 2,567.52 kgCH_4 - ค่าสูงสุด: 2,674.97 kgCH_4 - ค่าเฉลี่ยโดยประมาณ: 2,620.28 kgCH_4 (จาก 6 รุ่น) - มีการกระจายตัวของค่าใกล้เคียงกันในแต่ละรุ่น	- ค่าต่ำสุด: 2,556.49 $\text{kgN}_2\text{O-N}$ - ค่าสูงสุด: 3,029.63 $\text{kgN}_2\text{O-N}$ - ค่าเฉลี่ยโดยประมาณ: 2,797.42 $\text{kgN}_2\text{O-N}$ (จาก 6 รุ่น) - มีความผันผวนของค่าระหว่างรุ่นมากกว่า CH_4 เล็กน้อย
ตัวแปรหลักที่มีผลต่อผลลัพธ์ (จากสูตร)	- จำนวนไก่ (N) เป็นตัวแปรสำคัญที่ส่งผลโดยตรงต่อปริมาณการปลดปล่อย - ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อย (EF) ถูกกำหนดเป็นค่าคงที่	- จำนวนไก่ (N) ส่งผลต่อปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total_N) - น้ำหนักไก่ (W) ยิ่งน้ำหนักมากยิ่งขับถ่ายไนโตรเจนมาก - ระยะเวลาในการเลี้ยง (T) ยิ่งเลี้ยงนานยิ่งขับถ่ายไนโตรเจนมาก - อัตราการขับถ่ายไนโตรเจน (CD) เป็นค่าคงที่ที่กำหนดปริมาณไนโตรเจนที่ขับถ่าย - ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อย (EF) ถูกกำหนดเป็นค่าคงที่
ข้อสังเกตและข้อจำกัดของการคำนวณ	- การคำนวณใช้ค่า EF คงที่ ซึ่งอาจไม่สะท้อนความผันแปรจริงที่เกิดจากปัจจัยอื่น ๆ - ข้อมูลระบุอายุอนุกรม, ความชื้น, ระยะเวลาการเก็บ, และองค์ประกอบกองมูล เป็นปัจจัยสำคัญ แต่ไม่ได้ถูกรวมในการคำนวณโดยตรงผ่านสูตรนี้ - งานวิจัยก่อนหน้านี้ชี้ว่า CH_4 เป็นสัดส่วนน้อยของคาร์บอนที่สูญเสีย	- การคำนวณไม่ได้รวมปัจจัยสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการปลดปล่อย N_2O เช่น ฝนตกหรือความชื้นในอากาศ ซึ่งอาจลดการปลดปล่อยจริง (Kamp and Feilberg, 2024) - ความพร้อมของไนโตรเจนอนินทรีย์ในดิน เป็นปัจจัยควบคุมสำคัญแต่ไม่ได้เป็นตัวแปรในสูตรคำนวณโดยตรง - ค่า EF เป็นค่าคงที่เช่นเดียวกับ CH_4

ก๊าซเรือนกระจก	มีเทน (CH ₄)	ไนตรัสออกไซด์ (N ₂ O)
นัยยะสำคัญสำหรับการวิจัยและ คาร์บอนฟุตพริ้นท์	- ความผันผวนของปริมาณการปล่อย CH₄ ที่คำนวณได้ส่วนใหญ่มาจากความแตกต่างของจำนวนไก่และระยะเวลาเลี้ยงในแต่ละรุ่น - แม้สัดส่วนการปล่อย CH₄ จะน้อย แต่ด้วยค่า GWP ที่ 28 เท่าของ CO₂ การลด CH₄ จึงมีความสำคัญต่อการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์โดยรวม	- ความผันผวนของ N₂O คำนวณได้จากตัวแปรที่ซับซ้อนกว่า (จำนวนไก่, น้ำหนัก, ระยะเวลา, อัตราขับถ่าย N) - N₂O มีค่า GWP สูงมากถึง 265 เท่าของ CO₂ ทำให้ปริมาณ N₂O ที่ปลดปล่อยมีผลกระทบอย่างมากต่อคาร์บอนฟุตพริ้นท์รวมของฟาร์ม และควรเป็นเป้าหมายหลักของการลดการปล่อย

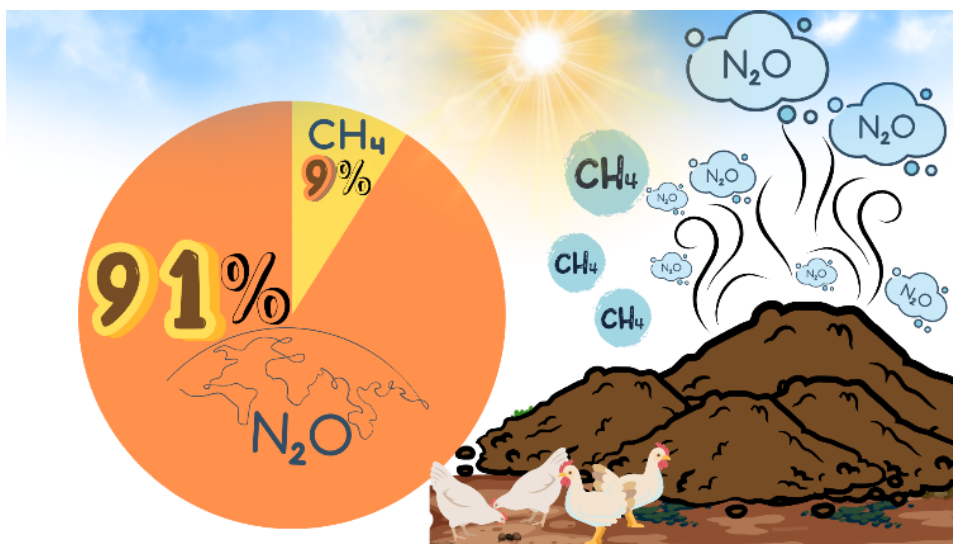
สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัยการประเมินการปลดปล่อยก๊าซมีเทน CH₄ และก๊าซไนตรัสออกไซด์ N₂O จากกองมูลไก่ ของฟาร์มเลี้ยงไก่เนื้อแห่งหนึ่งในจังหวัดชลบุรี การคำนวณใช้ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยตามที่ ICPP (2006) และสูตรที่ใช้ในการคำนวณได้จากการทบทวนวรรณกรรมต่าง ๆ จากนั้นนำผลสัมฤทธิ์ที่ได้ มารวมกันเพื่อที่จะหาค่าศักยภาพการก่อก๊าซเรือนกระจกในหน่วยคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า CO₂eq ไก่ที่เลี้ยงทั้งหมดในรอบ 1 ปี คือ 7,550,537 ตัวต่อปี และมีทั้งหมด 6 รุ่นการเลี้ยง โดยรุ่นที่ รุ่นที่ 1 ถึง รุ่นที่ 6 มีจำนวนไก่ 1,237,263 ตัว 1,266,464 ตัว 1,262,704 ตัว 1,266,348 ตัว 1,233,068 ตัว และ 1,284,690 ตัว ตามลำดับ โดยผลการวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ดังนี้

ส่วนที่ 1 การหาค่าการปลดปล่อยก๊าซมีเทน CH₄ มีการปลดปล่อยอยู่ที่ 15,721.68 kgCH₄

ส่วนที่ 2 การหาค่าการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ N₂O มีการปลดปล่อยอยู่ที่ 16,681.52 kgN₂O-N

ส่วนที่ 3 การหาค่าศักยภาพการก่อก๊าซเรือนกระจกในหน่วยคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า CO₂eq 4,860.911 tCO₂eq

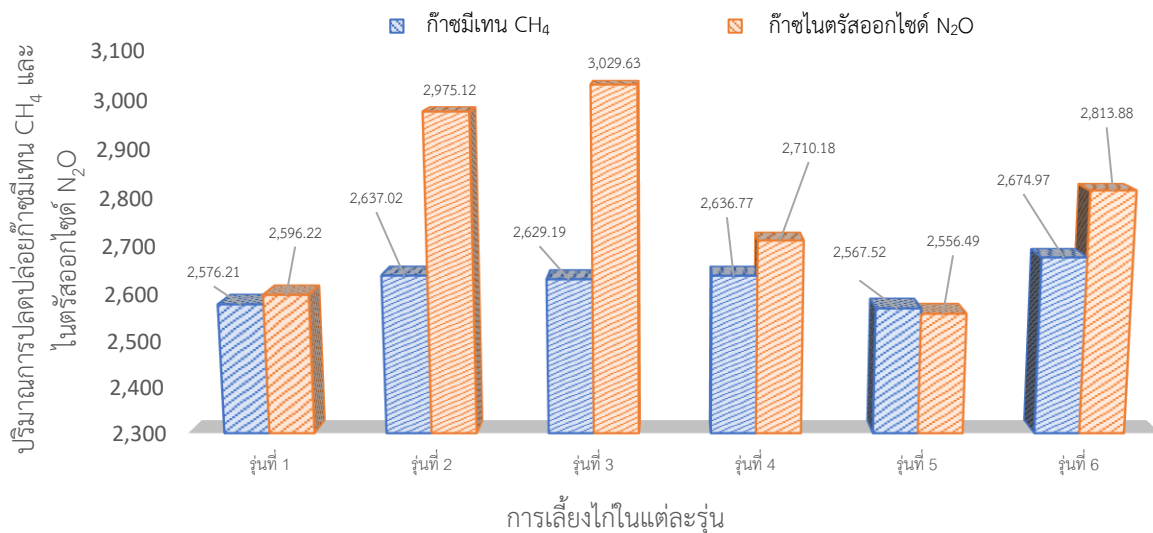


ภาพที่ 2 สัดส่วนของก๊าซมีเทน และไนตรัสออกไซด์

ซึ่งทำให้เห็นว่ามูลไก่ที่กองไว้ในที่โล่งแจ้งมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากถึง 4,855.883 tCO₂eq ในการวิจัยนี้เป็นการประเมินการปลดปล่อยก๊าซมีเทน CH₄ และไนตรัสออกไซด์ N₂O เพียงแค่กิจกรรมเดียวเท่านั้น

อภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาการประเมินก๊าซมีเทน CH₄ และก๊าซไนตรัสออกไซด์ N₂O และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรในหน่วยเทียบเท่า CO₂eq ซึ่งการศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกองมูลไก่เป็นการศึกษาครั้งแรกขององค์กรแห่งนี้ พบว่าการปลดปล่อย CH₄ มีค่าอยู่ในช่วง 2,576.21 – 2,674.97 kg CH₄ และ N₂O อยู่ในช่วง 2,596.22 – 2,813.88 kg N₂O -N ต่อรุ่นตามลำดับ (ภาพที่ 4) โดยเมื่อพิจารณาสัดส่วนของการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดจากกองมูลไก่ที่กองไว้ในที่โล่งแจ้ง โดยผลการศึกษาสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Zhu et al., 2020) เนื่องด้วยมูลไก่ที่กองไว้ในที่โล่งแจ้งนั้นยังมีการปลดปล่อยก๊าซมีเทน CH₄ และไนตรัสออกไซด์ N₂O 9% และ 91% ตามลำดับ มูลไก่มีปริมาณไนโตรเจน (N) สูง (3-5% ของน้ำหนักแห้ง) อยู่ในรูปของกรดยูริก (C₅H₄N₄O₃) (40-70%) โปรตีนในอาหารสัตว์ (10-40%) ยูเรีย (CH₄N₂O) (4-12%) และแอมโมเนีย (NH₃) (4-20%) (Bhatnagar et al., 2022) โดยจะขึ้นอยู่กับประเภทของอาหารและสายพันธุ์ไก่ (Nahm, 2003) เป็นที่ทราบกันดีว่ามูลสัตว์ปีกมีปริมาณไนโตรเจนสูงกว่ามูลสัตว์เคี้ยวเอื้อง การย่อยสลายยูเรีย กระบวนการย่อยสลายยูเรีย (urea hydrolysis) โดยเอนไซม์ urease ที่มีอยู่ในมูลสัตว์ เป็นขั้นตอนแรกที่สำคัญในการเปลี่ยนไนโตรเจนอินทรีย์ให้เป็นแอมโมเนียม (NH₄⁺) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นหลักสำหรับไนตริฟิเคชัน (Nitrification) การเปลี่ยนแอมโมเนียมไอออน (NH₄⁺) ไปเป็นแอมโมเนียมไอออน (NH₃⁺) โดยแบคทีเรียกลุ่ม *Nitrosomonas* และ *Nitrobacter* ซึ่งเกิดขึ้นในสภาวะที่มีออกซิเจนดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) (ไร้ออกซิเจนบางส่วน) การเปลี่ยน NO₃⁻ ไปเป็น N₂ โดยมี N₂O เป็นสารตัวกลาง ซึ่งเกิดขึ้นในสภาวะไร้ออกซิเจน ในกองมูลไก่ขนาดใหญ่จะมีสภาพที่ทับซ้อน โดยมีชั้นที่มีออกซิเจน (ด้านบน) และชั้นที่ขาดออกซิเจน (ด้านล่าง) ทำให้เกิดสภาวะที่เอื้อต่อทั้งสองกระบวนการพร้อมกัน และนำไปสู่การปลดปล่อย N₂O สูงสุดในงานวิจัยนี้



ภาพที่ 3 ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทน CH₄ และไนตรัสออกไซด์ N₂O

ซึ่งอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม สภาพเศรษฐกิจรวมถึงสภาพทางสังคม และการทำงานของมนุษย์ เมื่อสภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงจะส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิตได้บ่อยมากขึ้น เช่น พายุ อากาศร้อนจัด น้ำท่วม ภัยแล้ง และไฟป่า อันตรายจากสภาพอากาศเหล่านี้ส่งผลต่อสุขภาพทั้งทางตรงและทางอ้อม เพิ่มความเสี่ยงต่อการเสียชีวิตจากโรคไม่ติดต่อ และการแพร่กระจายของโรคติดเชื้อ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศกำลังส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้งปรากฏการณ์ด้านอุณหภูมิที่สูงขึ้นและรุนแรง เช่น ความผันผวนของของอุณหภูมิ การตกของฝนที่แปรปรวน และการระเหยของน้ำทะเลที่สูงขึ้น (WHO, 2023) นอกเหนือไปจากผลกระทบต่อสตรีที่มีครรภ์ในสังคมหลายแห่ง กับความเสี่ยงดังกล่าวแตกต่างกันนั้นเกี่ยวข้องกับแนวทางการดำรงชีพ การตั้งครุฑและการเป็นแม่ทำให้มีความเสี่ยงต่อความร้อน โรคติดเชื้อ การติดเชื้อจากอาหาร และมลพิษทางอากาศมากขึ้น (Arroyo et al., 2016; Ngo and Horton, 2016; Zhang et al., 2017) การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยเฉพาะ N_2O ที่มีศักยภาพในการทำให้โลกร้อนสูงถึง 298 เท่าของ CO_2 ก่อให้เกิดผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ซึ่งนำไปสู่ปรากฏการณ์สภาพอากาศสุดขั้ว และส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ ทั้งโดยตรงและโดยอ้อม รวมถึงประเด็นความเสี่ยงต่อสตรีมีครรภ์ ดังที่ WHO (2023) และงานวิจัยอื่น ๆ ได้เน้นย้ำไว้ ผลการศึกษาในครั้งนี้จึงตอกย้ำถึงความจำเป็นเร่งด่วนในการจัดการแหล่งปลดปล่อย N_2O จากภาคปศุสัตว์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากกองมูลไก่ ซึ่งในกรณีนี้สามารถลดการปล่อยก๊าซมีเทน CH_4 และไนตรัสออกไซด์ N_2O ได้โดยการสร้างสิ่งปกคลุมมูลไก่ เช่น หญ้าแห้ง ฟางข้าว หรือแม้กระทั่งสร้างอาคารสถานที่เก็บโดยเฉพาะ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Kamp J. N. and Feilberg A., 2024) โดยศึกษากองมูลไก่ไว้ในที่กลางแจ้งจากกองมูลไก่เนื้อขนาด 22 ตัน ในระยะเวลา 44 วัน โดยการวัดการปล่อยก๊าซในระดับฟาร์มจากกองมูลไก่ที่มีการคลุมและไม่มีการคลุม โดยใช้วิธีการวัดแบบ Backward Lagrangian Stochastic ผลการศึกษาพบว่า มีรูปแบบการปล่อยก๊าซที่แตกต่างกันอย่างชัดเจนในแต่ละช่วงเวลาของการวัด โดยการปล่อยก๊าซในช่วงที่มีการคลุมกองมูลไก่อ่ต่ำกว่าช่วงที่ไม่ได้คลุมอย่างมีนัยสำคัญ การลดลงของการปล่อยก๊าซจากการคลุมกองมูลไก่อ่มีค่าอยู่ระหว่าง 92–95% สำหรับ NH_3 , 25–40% สำหรับ CH_4 และ N_2O 82–89% แม้งานวิจัยนี้จะเป็นการศึกษาครั้งแรกขององค์กร แต่ก็อาจมีข้อจำกัด เช่น การใช้ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อย (EF) ที่เป็นค่ามาตรฐาน ซึ่งอาจไม่ได้สะท้อนความผันแปรของปัจจัยเฉพาะถิ่นอย่างเต็มที่ (เช่น ชนิดของไก่ที่เลี้ยงละเอียด การจัดการมูลเฉพาะ สภาพภูมิอากาศที่แตกต่างกันในแต่ละวัน/ฤดู) หรือการที่การคำนวณ N_2O ไม่ได้นับรวมปัจจัยความชื้น

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะจากการศึกษา

1) ค่าการปลดปล่อยก๊าซมีเทน (CH_4) และไนตรัสออกไซด์ (N_2O) จากกองมูลไก่ที่ประเมินได้ สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญประกอบการขอรับรองผลและขึ้นทะเบียนคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร ตามข้อกำหนดขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) หรือ อบก. (TGO) เนื่องจากการศึกษาครั้งนี้เป็นครั้งแรกขององค์กรในการประเมินแหล่งปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมการจัดการมูลไก่ ผลการประเมินนี้จะช่วยให้องค์กรมีความเข้าใจอย่างลึกซึ้งเกี่ยวกับแหล่งการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญ และเป็นก้าวแรกที่สำคัญในการกำหนดเป้าหมายและวางแผนกลยุทธ์การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างมีประสิทธิภาพในอนาคต

2) งานวิจัยนี้ได้แสดงให้เห็นถึงประโยชน์ของค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อย (Emission Factor, EF) ในการคำนวณปริมาณก๊าซมีเทน (CH_4) และไนตรัสออกไซด์ (N_2O) จากกิจกรรมการจัดการมูลไก่ โดยมีรายละเอียดเพิ่มเติม ดังนี้

- **ประโยชน์ของค่า Emission Factor (EF):** ค่า EF เป็นเครื่องมือมาตรฐานที่ได้รับการยอมรับในระดับสากล โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (IPCC) ซึ่งทำให้การคำนวณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมีความน่าเชื่อถือและสามารถนำไปเปรียบเทียบกับผลการศึกษาอื่น ๆ ได้ นอกจากนี้ การใช้ค่า EF ยังช่วยให้การประเมินปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมต่าง ๆ เป็นไปได้อย่างสะดวก รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะในสถานการณ์ที่ข้อมูลการวัดภาคสนามโดยตรงมีจำกัดหรือไม่สามารถดำเนินการได้ การมีค่า EF ช่วยให้องค์กรสามารถระบุและทำความเข้าใจได้อย่างชัดเจนว่ากิจกรรมใด (ในกรณีนี้คือการจัดการมูลไก่) เป็นแหล่งปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญที่สุด ซึ่งเป็นข้อมูลตั้งต้นที่จำเป็นสำหรับการพิจารณาแนวทางการลดการปล่อยก๊าซต่อไป

- การนำไปประยุกต์ใช้ในการจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจกขององค์กร (Carbon Footprint for Organization: CFO): การใช้ค่า EF ที่ได้จากงานวิจัยนี้ร่วมกับข้อมูลกิจกรรม (Activity Data) เช่น จำนวนไถที่เลี้ยง หรือ ปริมาณมูลไก่ที่เกิดขึ้น จะช่วยให้องค์กรสามารถคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากกิจกรรมการจัดการมูล ไก่ได้อย่างแม่นยำ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการจัดทำ CFO โดยผลลัพธ์ที่แปลงเป็นหน่วยเทียบเท่าคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂eq) จะเป็น ข้อมูลเชิงปริมาณที่ใช้ในการจัดทำรายงานการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกขององค์กรเพื่อวัตถุประสงค์ภายใน (เช่น การติดตามและ ประเมินผล) และภายนอก (เช่น การยื่นขอการรับรองจาก อบก. หรือการเปิดเผยข้อมูลต่อสาธารณะ) ซึ่งเป็นการแสดงความมุ่งมั่น และความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อมขององค์กร

ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาครั้งต่อไป

จัดทำค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซมีเทน CH₄ และไนตรัสออกไซด์ N₂O ของแต่ละสายพันธุ์ไก่เนื้อหรือการ พัฒนาค่าสัมประสิทธิ์ที่ยังไม่มีการจัดทำ เช่น การปลดปล่อยในช่วงเวลากลางวันและกลางคืน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ข้อมูลจากฝ่ายบัญชีของฟาร์มเลี้ยงไก่เนื้อแห่งหนึ่งในจังหวัดชลบุรี และ นางสาวปพิชญา บุรภิภาชัย ในการผลักดัน และคอยให้คำแนะนำ ตลอดการทำวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- พรพรรณ โพธิ์ประสิทธิ์, อธิวิทย์ เปี้ยคำภา, ชัยภูมิ บัญชาศักดิ์, วิริยา ลุ่งใหญ่ และ เซาร์วิทย์ ระฆังทอง. (2556). การประมาณ ค่าการปลดปล่อยมีเทนและไนตรัสออกไซด์จากไก่ไข่ใน 13 ฟาร์ม. **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร** 44 (1) (พิเศษ) 231-234 ค้นจาก https://ansku.files.wordpress.com/2013/04/p09_oral.pdf
- Aneja, V. P., Schlesinger, W. H., and Erisman, J. W. (2009). Effects of agriculture upon the air quality and climate: Research, policy, and regulations. **Environmental Science and Technology**, 43(12), 4234–4240. doi: 10.1021/es8024403
- Bhatnagar, N., Ryan, D., Murphy, R., and Enright, A. M. (2022). A comprehensive review of green policy, anaerobic digestion of animal manure and chicken litter feedstock potential–Global and Irish perspective. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 154, 111884. doi: 10.1016/j.rser.2021.111884
- Clemens, J., Trimbom, M., Weiland, P., and Amon, B. (2006). Mitigation of greenhouse gas emissions by anaerobic digestion of cattle slurry. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 112(2–3), 171–177. doi: 10.1016/j.agee.2005.08.016
- Dong, H., Zhu, Z., Zhou, Z., Xin, H., and Chen, Y. (2011). Greenhouse gas emissions from swine manure stored at different stack heights. **Animal Feed Science and Technology**, 166–167, 557–561. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2011.04.039
- Food and agriculture organization of the United Nations (FAOSTAT). (2024). **FAO statistical database**. Retrieved from <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>.
- Hao, X., Chang, C., and Larne, F. (2004). Carbon, Nitrogen balances and greenhouse gas emission during cattle feedlot manure composting. **Journal of Environmental Quality**. 33 (1), 37–44. doi: 10.2134/jeq2004.3700

- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2018). **Global Warming of 1.5°C: Summary for Policymakers**. Retrieved from <https://www.ipcc.ch/sr15/>
- Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC. (2014). **Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of working groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Retrieved from chrome- https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2006). **Guidelines for national greenhouse gas inventories: Prepared by the national greenhouse gas inventories**. Retrieved from <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>
- Jiang, J., Stevenson, D. S., Uwizeye, A., Tempio, G., and Sutton, M. A. (2021). A climate dependent global model of ammonia emissions from chicken farming. **Biogeosciences**, 18(1), 135–158. doi:10.5194/bg-18-135-2021
- Kamp J.N. and Feilberg A., (2024). Covering reduces emissions of ammonia, methane, and nitrous oxide from stockpiled broiler litter. **Biosystems Engineering** 248 (2024) 73–81. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2024.10.002
- Lemes, Y. M., Nyord, T., Feilberg, A., and Kamp, J. N. (2023). Effect of covering deep litter stockpiles on methane and ammonia emissions analyzed by an inverse dispersion method. **Agricultural Science and Technology**, 3(5), 399–412. doi: 10.1021/acsagscitech.2c00289
- Mottet, A., and Tempio, G. (2017). Global poultry production: Current state and future outlook and challenges. **World's Poultry Science Journal**, 73(2), 245–256. doi: 10.1017/S0043933917000071
- Mulbry, W., and Ahn, H.K., (2014). Greenhouse gas emissions during composting of dairy manure: Influence of the timing of pile mixing on total emissions. **Biosystem Engineering** 126, 117–122. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2014.08.003.
- Nielsen, O.-K., Plejdrup, M. S., Winther, M., Nielsen, M., Gyldenkaerne, S., Mikkelsen, M. H., et al. (2022). Denmark's national inventory report 2022. Emission inventories 1990-2020 - submitted under the unitednations framework convention on climate change and the kyoto protocol. Aarhus university, DCE – Danish centre for environment and energy. **Scientific Report** 494, 969.
- Nahm, K. H. (2003). Evaluation of the nitrogen content in poultry manure. **World's Poultry Science Journal**, 59(1), 77–88. doi: 10.1079/WPS20030004
- Pardo, G., Moral, R., Aguilera, E. and Del Prado, A. (2015). Gaseous emissions from management of solid waste: A systematic review. **Glob. Chang. Biol.** 21, 1313–1327. doi: 10.1111/gcb.12806
- United Nations Environment Programmer (UNEP). (2020). **Emission Gap Report 2020**. Retrieved from <https://www.unep.org/emissions-gap>
- UNDP. (2022). **Global Climate Promise, Thailand Asia and the Pacific**. Retrieved from <https://climatepromise.undp.org/What-we-do/where-we-work/Thailand>
- Wyer, K. E., Kelleghan, D. B., Blanes-vidal, V., Schauburger, G., and Curran, T. P. (2022). Ammonia emissions from agriculture and their contribution to fine particulate matter: A review of implications for human health. **Journal of Environmental Management**, 323, Article 116285. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116285>
- World health organization (WHO). (2023). **Climate Change**. Retrieved from <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health>

- Wang, X., Cui, H., Shi, J., Zhao, X., Zhao, Y., and Wei, Z. (2015). Relationship between bacterial diversity and environmental parameters during composting of different raw materials. **Bioresource Technology**, 198, 395–402. doi: 10.1016/j.biortech.2015.09.041
- Zhu, Z., Li, L., Dong, H., and Wang, Y. (2020). Ammonia and greenhouse gas emissions of different types of livestock and poultry manure during storage. **Transactions of the ASABE**. 63(6): 1723-1733. doi: 10.13031/trans.14079

การพัฒนาเครื่องหยอดเมล็ดพืชอัตโนมัติด้วยระบบนิวเมติกส์ Development of automatic seed planting machine using pneumatic system

เมืองมล เสนเพ็ง และ ศิวกร แก้วรัตน์*

Muangmol Senpheng and Siwakorn Kaewrat*

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย จังหวัดเลย 42000

Faculty of Industrial Technology, Loei Rajabhat University, Loei Province, 42000

*Corresponding author E-mail: siwakorn.kae@lru.ac.th

Received 28 February 2025, Accepted 20 May 2025, Published 1 August 2025

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องหยอดเมล็ดพืชแบบอัตโนมัติที่ควบคุมด้วยระบบนิวเมติกส์ สำหรับหยอดเมล็ดพืชลงในถาดเพาะเมล็ด เพื่อลดภาระงานของเกษตรกรจากที่ใช้วิธีการหยอดเมล็ดพืชด้วยมือลงในถาดเพาะเมล็ด เป็นทางเลือกใหม่สำหรับผู้ประกอบการหรือเกษตรกร ทำให้ทำงานได้รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งจะช่วยลดต้นทุนการผลิต และเพิ่มผลผลิต การพัฒนาเครื่องหยอดเมล็ดพืชแบบอัตโนมัติที่ควบคุมด้วยระบบนิวเมติกส์ มีขนาด กว้าง 50 ซม. ยาว 90 ซม. สูง 60 ซม. ใช้ถาดเพาะเมล็ดพืช ขนาด 34x54 ซม. ที่มีจำนวนช่องเพาะ 50 หลุม ใช้หัวหยอดเมล็ดพืช 3 ขนาด คือ ขนาด 2.5, 1.32, และ 0.84 มม. สำหรับหยอดเมล็ดพืชลงในถาดเพาะเมล็ดจำนวน 5 ชนิด ได้แก่ เมล็ดเมล่อน ผักกาดหอม กระเทียม พริก และมะเขือเทศ และควบคุมการทำงานของเครื่องด้วยโปรแกรม Festo FluidSim 4.2 โดยกำหนดให้หยอดเมล็ดพืชลงในถาดเพาะเมล็ด หลุมละ 1-4 เมล็ด มีถาดสำหรับหยอดเมล็ดแต่ละชนิด จำนวน 20 ถาด รวม 100 ถาด ผลการทดลองหยอดเมล็ดพืช 5 ชนิด ที่หัวหยอดเมล็ดพืชขนาดต่าง ๆ พบว่า 1) เมล็ดเมล่อน มีขนาดใหญ่และยาว ต้องใช้หัวหยอดขนาดใหญ่ หัวหยอดที่แม่นยำที่สุดคือ 2.5 มม. 2) เมล็ดกระเทียม มีขนาดเล็กและกลม ต้องใช้หัวหยอดขนาดเล็ก หัวหยอดที่แม่นยำที่สุดคือ 1.32 มม. 3) เมล็ดผักกาดหอม มีขนาดเล็กและกลม ต้องใช้หัวหยอดขนาดเล็ก หัวหยอดที่แม่นยำที่สุดคือ 1.32 มม. 4) เมล็ดพริก มีขนาดเล็กและเบา ต้องใช้หัวหยอดขนาดเล็ก หัวหยอดที่แม่นยำที่สุดคือ 0.84 มม. และ 5) เมล็ดมะเขือเทศ มีขนาดเล็กและเบา ต้องใช้หัวหยอดขนาดเล็ก หัวหยอดที่แม่นยำที่สุดคือ 0.84 มม. จากการทดลองทั้งหมด 300 ครั้ง พบว่า เครื่องหยอดเมล็ดพืชมีความแม่นยำ 96% และมีค่าความผิดพลาด 4% สามารถหยอดเมล็ดพืชลงถาด 1 ถาด (50 หลุม) ใช้เวลาประมาณ 1 นาที และหากเทียบกับการทำงานของมนุษย์ใช้เวลาประมาณ 15 นาที

คำสำคัญ : นิวเมติกส์ โปรแกรมจำลอง FluidSIM เครื่องหยอดเมล็ดพืช

ABSTRACT

This research aims to develop an automatic seed planting machine controlled by a pneumatic system for planting seeds into seed trays to reduce the workload of farmers from the method of planting seeds by hand into seed trays. It is a new alternative for entrepreneurs or farmers, allowing them to work faster and more efficiently, which will help reduce production costs and increase productivity. Development of an automatic pneumatic seed planter with dimensions of 50 cm wide, 90 cm long, and 60 cm high. It uses a 34x54 cm seed tray with 50 holes. It uses 3 sizes of seed droppers: 2.5, 1.32, and 0.84 mm to drop seeds

into 5 types of seed trays: melon, lettuce, kale, chili, and tomato. The machine is controlled with Festo FluidSim 4.2 program, specifying to drop 1-4 seeds per hole in the seed trays. There are 20 trays for each type of seed, totaling 100 trays. The experiment results of dropping 5 types of seeds with different sizes of seed droppers found that 1) Melon seeds are large and long, require a large dropper head, and the most accurate dropper head is 2.5 mm 2) Kale seeds are small and round, requiring a small dropper head. The most accurate dropper head is 1.32 mm 3) Lettuce seeds are small and round, require a small dropper head, the most accurate dropper head is 1.32 mm 4) Chili seeds are small and light, require a small dropper head, the most accurate dropper head is 0.84 mm 5) Tomato seeds are small and light, require a small dropper head, the most accurate dropper head is 0.84 mm From a total of 300 trials, it was found that the seed dropper has an accuracy of 96% and an error of 4%. It can drop seeds into 1 tray (50 holes) in about 1 minute, and if compared with human work, it takes about 15 minutes.

Keywords: Pneumatic, Festo FluidSim, Seed planter

Introduction

The problem in the current agricultural system is the lack of labor. The method of dropping seeds on seedling trays by hand takes a long time to drop seeds causes fatigue and takes a lot of time to work because the seeds are small. If people are used to drop seeds without expertise there will be a problem of dropping too many seeds into the holes which wastes seeds and results in higher costs. The current technology is a lot of progress and it is easy to find materials and equipment for building agricultural machine. They can be ordered domestically to develop cultivation, save labor for farmers, increase yields, and reduce damage from seedling cultivation.

The researcher has developed system of pneumatically controlled seed planting machine for planting seedlings in seed trays with a width and length of 34x54 cm and 50 holes. This reduce farmers working time and the cost of hiring labor, and to provide fast and efficient work. This will be a new alternative for entrepreneurs or farmers who still use the seed planting method by planting seeds in seedling trays.

There are many research which was shown papers in pneumatically controlled seed sowing machines and the field of work in sowing machine to grow the seeds for this planting tray, followed by:

Kaewrat and Senpheng (2023) proposed that the computer numerical control for automatic seed sowing machine to grow the seeds for this planting tray by TB6560 stepper motor driver board and Arduino Uno and stepping motor for x and z axis. It was concluded that the accuracy of the automatic sowing machine was 89.95%, the error was 10.05%.

Arteaga et al. (2020) proposed that automation of a seed on tray seeder machine to fully automate. It can reduce the number of personnel by 50% compared to the manual method and can drop 87% of the seeds, which is the highest efficiency when using a pressure of 0.2 to 0.3 MPa in the pressure pump.

Wang and Xiong (2023) proposed that low-cost fault diagnosis of pneumatic systems with exergy and machine learning: concept, verification, and interpretation. The result is that multiple

downstream cylinder faults can be accurately diagnosed with a single upstream sensor at a low cost compared with pressure and flow data, the xerometer data has high stability and accuracy and is less sensitive to various algorithms.

Szczęśniak and Szczęśniak (2022) proposed that fast designing ladder diagram of programmable logic controller for a technological process. It presents a method of designing a sequential system, which allows to create a ladder electro-pneumatic system. The ladder diagram consists of two parts: one part is responsible for controlling the valve coils, the other is responsible for the operation of the memory blocks. The signals that control the transition to the next state are the signals described on the boundaries of the graph division. Synthesis of the control system and its verification are carried out using the computer-aided program FluidSim from Festo.

Winarso et al. (2022) proposed that design and fabrication of automatic metal plate cutting machine. The results showed the machine design has several advantages, such as faster production processes, relatively less energy consumption and more efficient use of labor, thus increasing productivity.

Olubunmi et al. (2022) proposed that archetypal model of a breathable air-circuit in an electro-pneumatic ventilator device. It was shown that the pressure platform in the pipe may not appear if the ventilator evacuation time is less than 1.6 s. A 5/2 solenoid valve is considered the best when the flow rate is constant. The prototype model of the pneumatic circuit developed in this research can be effectively applied in the design of patient interface devices, especially in ventilators and neonatal incubators.

Yang and Li (2021) proposed that the research and development of a novel pneumatic-electric hybrid actuator. The results show that the pneumatic-electric hybrid actuator has satisfactory movement characteristics, including high speed, low overshoot and low load sensitivity. The positioning accuracy is ± 0.01 mm with a positioning time of 2 seconds, which is better than the current pneumatic positioning actuator and pneumatic-electric hybrid actuator.

Methodology

1. Pneumatic system

In the structure of any modern automation device, it is easy to see that there are many different elements and components that coexist: electrical, mechanical, pneumatic and hydraulic. Pneumatic systems play a role and have a reason for their development, as each technology has advantages that make it more suitable for certain types of applications than others.

The diagram describes the circuit structure of a pneumatic automation system, from the compressed air supply to the functional connections of the components and the dialogues related to the interconnection of the components. In this structural diagram, all the steps that the fluid takes to start and activate the automated system, machine or equipment are observed as Figure 1.

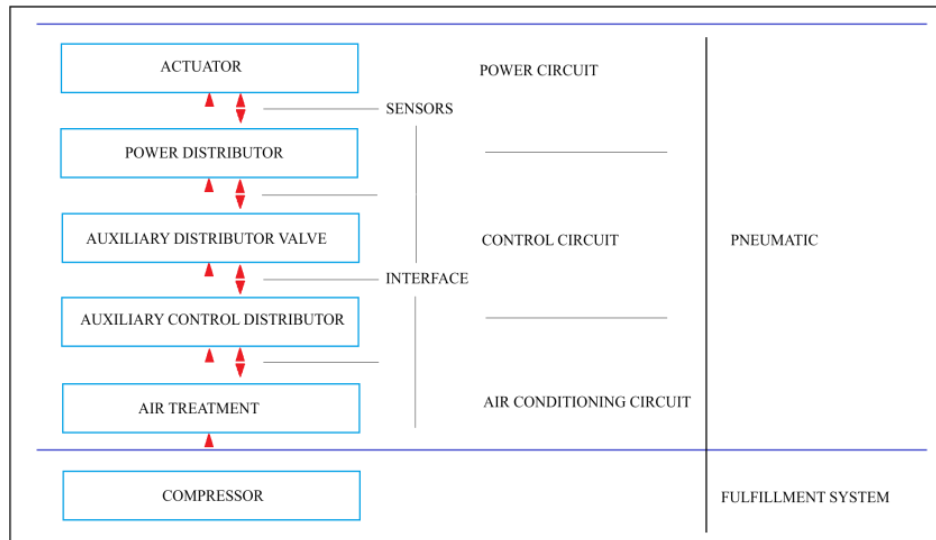


Figure 1 The circuit structure of a pneumatic

Compressed air is an important component for pneumatic run on a compressor. Once the air is compressed, it is sent to the user, the operator involved in the automation system. The power needed to compress a volume of air at the discharge pressure is obtained by means of the following as equation (1).

$$N = Q \times Pa \times 3.5 \times (r^{2.852} - 1) \quad (1)$$

P_a Suction pressure

P_e Discharge pressure

r P_e/P_a (Pascal) Compression ratio

Q (nm^3/s) Suction flow rate

Q_L (m^3/s) Discharge flow rate

Air treatment, the compressed air to be supplied must be treated to remove any foreign particles floating in the air by means of suitable filtration and to reduce and stabilize the pressure, which in the network varies to a lower and constant value than the value in the supply system, and the lubricating mist and oil should be supplied to the moving parts of the equipment. The structure of the air treatment device is as follows: Filter, Regulator and Lubricator.

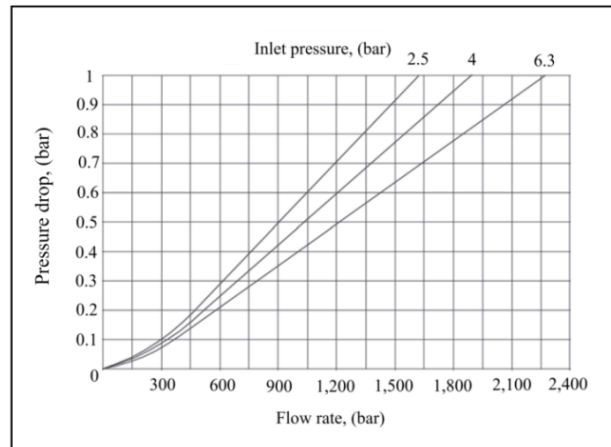


Figure 2 The flow rate diagram

These diagrams are useful in selecting the appropriate filter. If the flow rate requirement may require a standard filter 900 NL/min with a working pressure of approximately 6 bar, increasing from the flow rate axis up to the curve of 6.3 bar respectively, we can detect a pressure drop of 0.35 bar on the vertical axis respectively. This means that during the absorption of the mentioned flow rate, the downstream filter pressure will decrease to approximately 5.9 bar. Furthermore, the diagram shows that if the air demand increases significantly, the pressure drop also increases and should become unacceptable at a value of approximately 1 bar. In these cases, it is necessary to select a larger device.

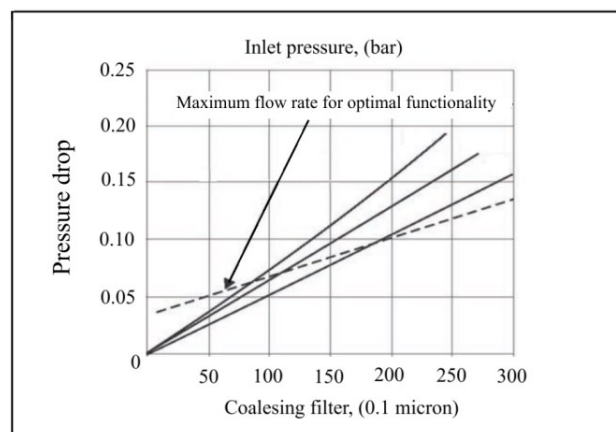


Figure 3 The coalescing filter

For a Coalescing filter of the same size, the flow rate will be lower due to the porosity of the filter cartridge. Therefore, the indications described in the relevant diagram should be observed. For optimum operation, the total flow rate and pressure drop values included in the area below the dashed line are considered valid.

Actuator, pneumatic components are the final part of the system that performs mechanical functions and performs various operations. The actuators that perform other types of movement or rotation are called cylinders. It is linear and moves in a straight line about its own axis, from the retracted (-) axis position to the extended (+) axis position. The cylinder performs mechanical work by applying a force appropriate to the point of application. The force exerted by a pneumatic cylinder is given by means of the following as equation (2).

$$F = P \times A \quad (2)$$

F (T, kg, N) = Force
P (kg/cm²) = Pressure
A (cm²) = Piston Area

Another type of actuator is called run on produced when the pressure value is lower than the atmospheric value and absolute vacuum is produced when there is no atmospheric pressure. Vacuum is defined as the condition of a space free of matter or which contains only rarefied gases. The earth's atmosphere exercises on the planet surface at the sea level pressure equal to 101kPa (1.013bars). The value of this pressure is influenced by altitude for example at a height of 3,000 m the pressure is equal to 70kPa. Atmospheric pressure is strictly correlated with vacuum.

The table below describes the conversions between different units of measurement and the equivalent values for different values as Table 1.

Table 1 The conversions between different units of measurement

Vacuum mbar	Vacuum %	Vacuum kPa	Vacuum mHg	Vacuum torr
0	0	0	0	0
-100	10	-10	-75	-75
-133	13.3	-13.3	-100	-100
-200	20	-20	-150	-150
-267	26.7	-26.7	-200	-200
-300	30	-30	-225	-225
-400	40	-40	-300	-300
-500	50	-50	-375	-375
-533	53.3	-53.3	-400	-400
-600	60	-60	-450	-450
-667	66.7	-66.7	-500	-500
-700	70	-70	-525	-525
-800	80	-80	-600	-600
-900	90	-90	-675	-675
-920	92	-90	-690	-690

For example, if the air compressor uses 2 NL/sec of fuel when fed at 6 bar, the compressor must be able to deliver at least $2 \times 6 = 12$ NL/min. The energy delivered by pumps is the product of the suction flow rate and the vacuum level as equation (3).

$$\text{Power} = \text{flow rate} \times \text{vacuum level} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{Vacuum level (bar)} &= \text{vacuum level} \\ \text{Power (NL/min)} &= \text{compressor power} \\ \text{Energy delivered (NL/sec)} &= \text{flow rate} \end{aligned}$$

We can calculate the efficiency as equation (4).

$$\text{Efficiency} = \frac{\text{Supplied flow rate}}{\text{Consumed flow rate}} \quad (4)$$

Table 2 The power is product of the flow rate and the vacuum level

Flow rate [NL/s]	Vacuum degree % [-K Pa]	Supplied power [NL/min]
10.9	0	0
5.7	10	57
3.8	20	76
2.5	30	75
1.4	40	56
1.1	50	55
0.8	60	48
0.48	70	33.6
0	80	0

2. Methods

The methods of pneumatically controlled seeds sowing machines for planting seeds consists of the process of simulating the movement and control of the pneumatic using the fluid simulation software (FluidSim). The fluid simulation software (FluidSim) is one of the computer software for the demonstration of the simulation of fluid flow, especially the flow of air. Festo Didactic, Germany, has developed this pneumatic fluid simulation software. This software is a support program for the demonstration of the simulation of fluid (air), especially in the pneumatic circuit system.

Results and Discussions

1. Design and results process

The design process of the automatic pneumatically controlled seeds planting machine, the team has divided the operation steps and methods into 9 steps as follows:

1. Start pressing the S3 Start switch to start the operation of the solenoid valve Z3, cylinder B, moving the seeds drop head into the seeds box for 1 second.
2. Vacuum generator, Solenoid valve C sucks up the seeds.
3. Solenoid valve Z3, cylinder B, moves the seeds drop head up for 1 second.
4. Solenoid valve Z4, cylinder A, moves the seeds drop head to the seeds drop pipe for 1 second.
5. Solenoid valve Z2, cylinder C, Vacuum generator releases the seeds into the seedling tray.
6. Motor Z5 moves forward for 1 second to move the seeds drop head to the 2nd row.
7. Solenoid valve Z3, cylinder 1, moves the seeds drop head into the seeds box for 1 second and sucks the seeds into the seedling tray in each row and repeat the operation 10 times.
8. The seeds box will hit the limit switch, input S2, which is attached to the end of the track, to reverse the motor rotation and move to the starting point.
9. When the motor rotates back, it will hit the limit switch, input S1, which is attached to the head of the rail. The motor will stop working and is ready to start a new start tray.

The results of design pneumatically controlled seeds sowing machines for planting seeds using fluid simulation software are shown in Figure 4.

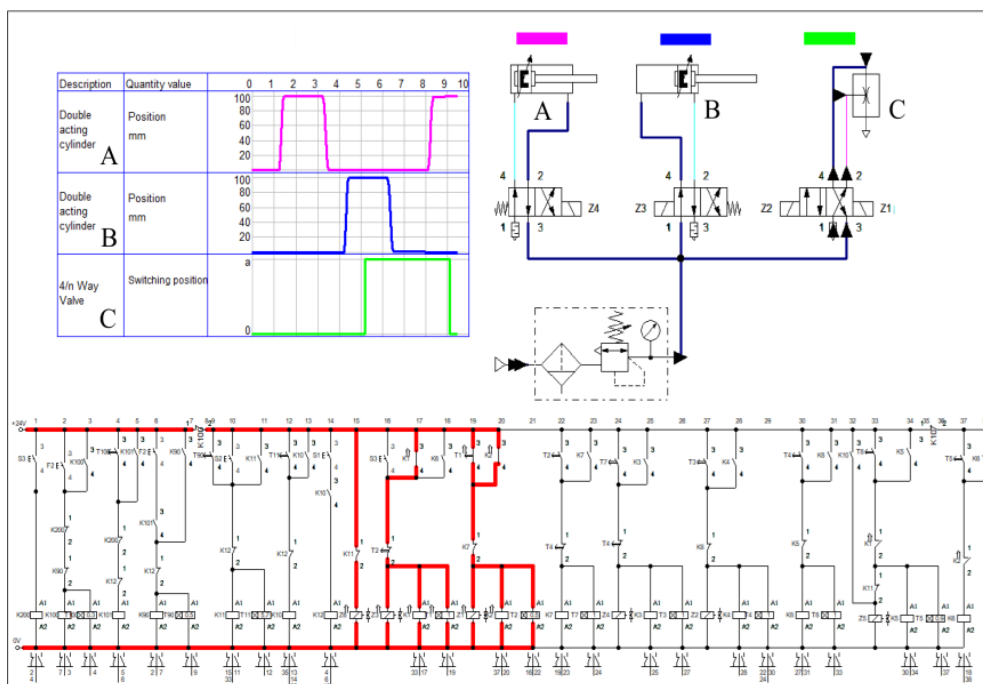


Figure 4 The results of design

The manufacturing process of this pneumatically controlled seed sowing machines for planting seeds is as follows:

1. Making frame
2. Making the cylinder holders
3. Installation of a tube and fitting
4. Setup the cylinder
5. Assembly process
6. Testing process
7. Finishing

The result of the manufacturing process and the prototype of automatic pneumatically controlled seeds planting machine is shown in Figure 5 and Figure 6.

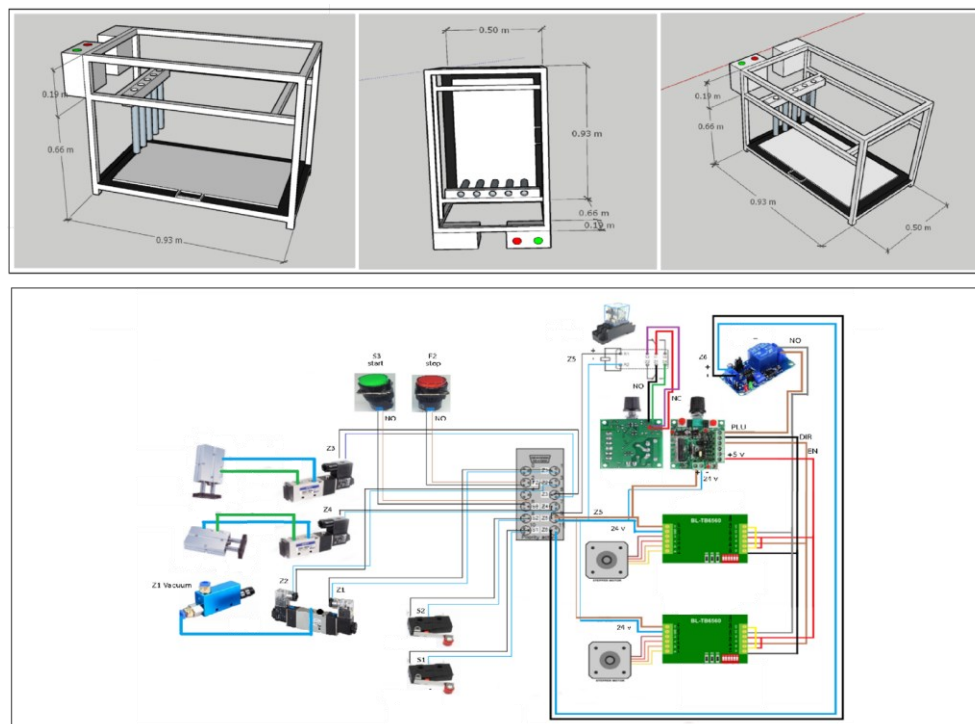


Figure 5 The results of manufacturing process

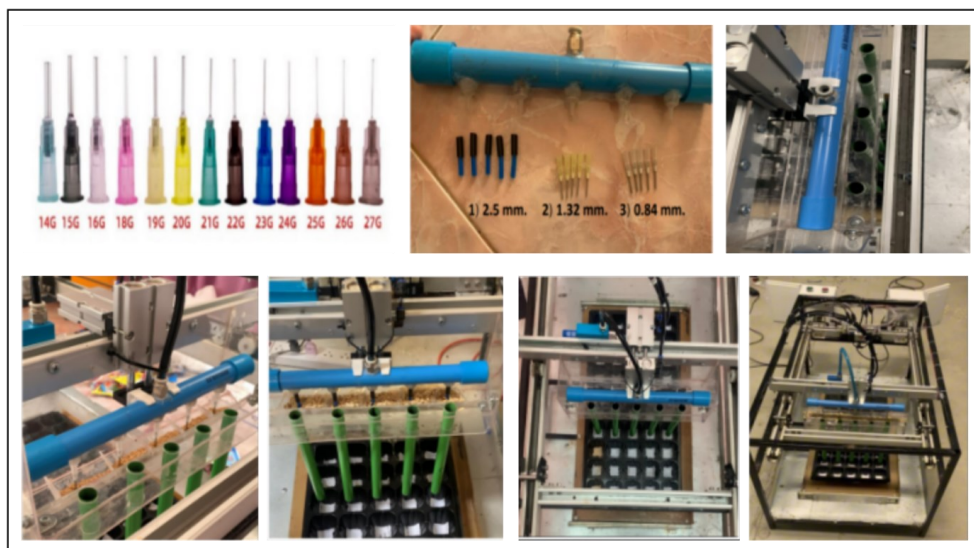


Figure 6 The prototype of automatic seed planting machine using pneumatic system

The result of percentage of seeds planting experiments with a dropper head size of 2.5 mm in Figure 7.

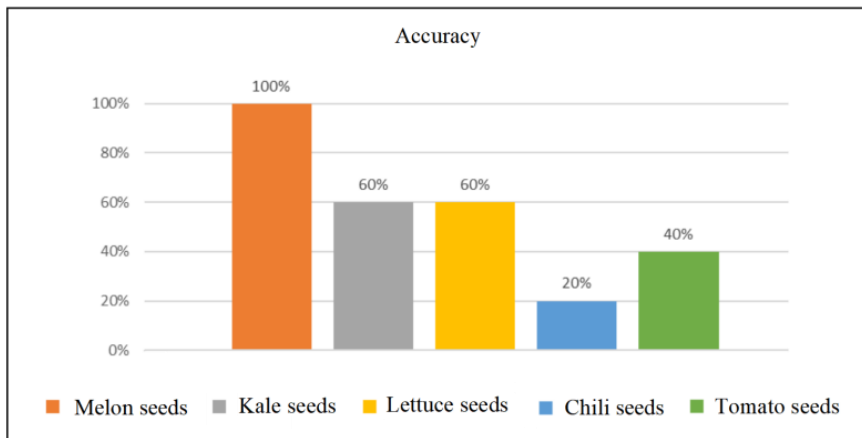


Figure 7 The percentage of seeds planting experiments with a dropper head size of 2.5 mm.

Results of the experiment on dropping seeds of all 5 types, the size of the seeds drop head used for dropping seeds is 2.5 mm. Melon seeds are the most suitable and have a high accuracy of 100% because melon seeds are large and long in shape, so a large drop head of 2.5 mm is required.

The result of percentage of seeds planting experiments with a dropper head size of 1.32 mm in Figure 8.

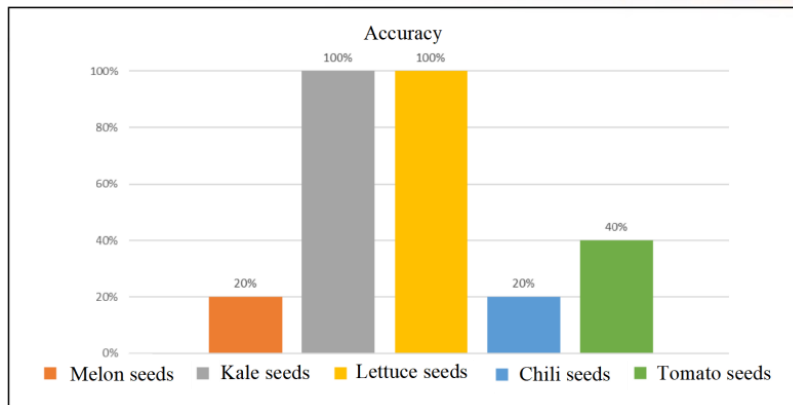


Figure 8 The percentage of seeds planting experiments with a dropper head size of 1.32 mm

The results of the experiment on dropping seeds of all 5 types, kale and lettuce seeds were the most suitable and high accuracy of 100% because of kale and lettuce seeds are small, round, and light, they must use a dropper head is 1.32 mm

The result of percentage of seeds planting experiments with a dropper head size of 0.84 mm in Figure 9.

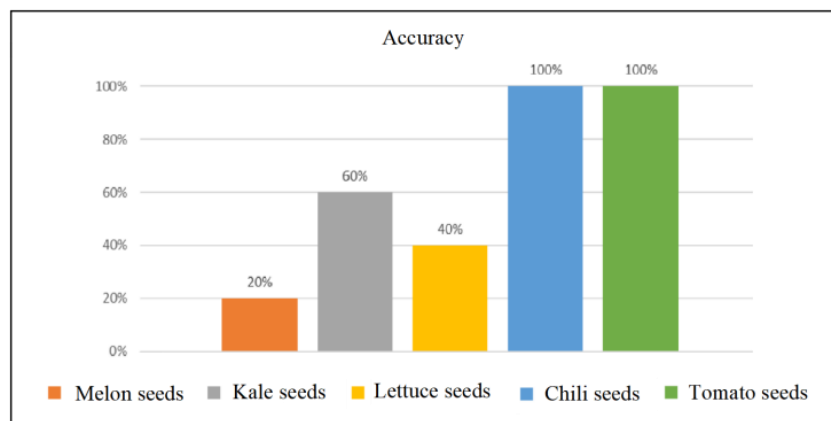


Figure 9 The percentage of seeds planting experiments with a dropper head size of 0.84 mm

The results of the experiment on dropping seeds of all 5 types, kale and lettuce seeds were the most suitable and high accuracy of 100% because of chili and tomato seeds are small, round size and light weight. They must use a dropper head is 0.84 mm

Percentage suitability of each type of seeds to which size of dropper head is illustrated in Figure 10.

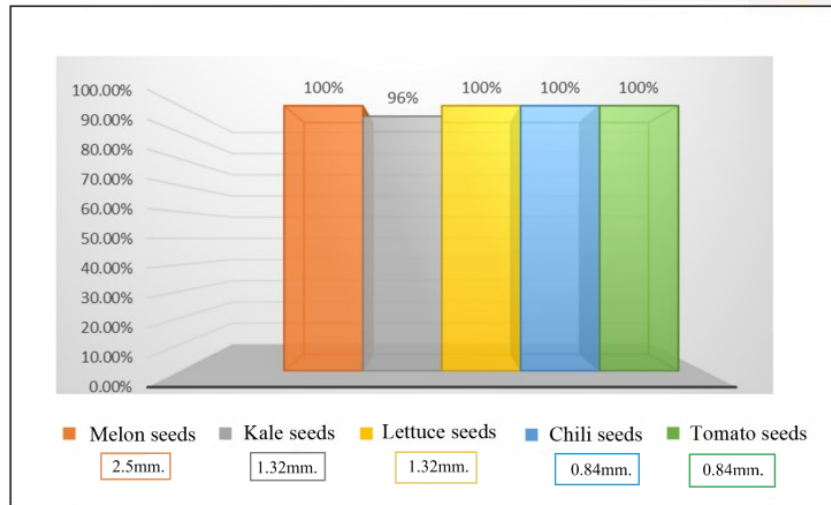


Figure 10 The percentage suitability of each type of seeds to which size of dropper head

The results of the experiment on dropping 5 types of seeds at 3 sizes of dropper heads, namely 2.5 mm, 1.32 mm and 0.84 mm were as follows: 1) Melon seeds are large and long, they require large size droppers. The most accurate dropper head is 2.5 mm. 2) Kale seeds are small and round, they require small size droppers. The most accurate dropper head is 1.32 mm 3) Lettuce seeds are small and round, they require small size droppers. The most accurate dropper head is 1.32 mm 4) Chili seeds, because chili seeds are small and light, they require small size droppers. The most accurate dropper head is 0.84 mm and 5) Tomato seeds are small and light, they require small size droppers. The most accurate dropper head is 0.84 mm.

The experimental results are consistent with the work of Kaewrat and Senpheng (2023) who proposed a computer numerical control system for an automatic seeding machine for sowing seeds in seed trays, using a TB6560 stepper motor control board, Arduino Uno, and stepping motors for X and Z axes. It can be concluded that the automatic seeding machine has an accuracy of 89.95%, a tolerance of 10.05%, and can reduce the number of personnel by 50% compared to the manual method, and the number of seeds can be reduced by 87%, which is consistent with Arteaga et al. (2020) The automatic seeding machine has high stability and accuracy, similar to Wang and Xiong (2023) ; Yang and Li (2021) and the validation is performed using Festo's FluidSim computer-aided program, similar to SzczeŚniak and SzczeŚniak (2022)

Conclusions

The development of automatic seeds planter for seedling trays with pneumatic system, the researcher has tested the automatic seeds planter for seedling trays which can work according to the intended objectives as follows: 1) The results of the experiment of planting all types of seeds 60 times from a total of 300 tests. The operation of the solenoid valve and the movement of the stepper motor moved to the correct position 100%. 2) The machine operation in planting seeds from a total of 300 tests. The accuracy of this automatic seeds planter is 96%.

In conclusion, the results of the experiment on dropping 5 types of seeds at 3 sizes of dropper heads, namely 2.5 mm, 1.32 mm and 0.84 mm were as follows:

1. Melon seeds are large and long, they require large size droppers. The most accurate dropper head is 2.5 mm.

2. Kale seeds are small and round, they require small size droppers. The most accurate dropper head is 1.32 mm.

3. Lettuce seeds are small and round, they require small size droppers. The most accurate dropper head is 1.32 mm.

4. Chili seeds, because chili seeds are small and light, they require small size droppers. The most accurate dropper head is 0.84 mm.

5. Tomato seeds are small and light, they require small size droppers. The most accurate dropper head is 0.84 mm.

The most accurate dropper head is 0.84 mm, from a total of 300 tests, the accuracy of this seeds planter is 96% and the error is 4%. It can drop seeds in 1 tray (50 holes) in 1 minutes, when compared to human work, it takes about 15 minutes.

Acknowledgements

This research was funded by the Research Support Fund, Loei Rajabhat University, managed by the Faculty of Industrial Technology, Fiscal Year 2024. We would like to thank the Faculty of Industrial Technology, Loei Rajabhat University, for supporting the research budget and facilitating throughout the process until this research was successfully completed.

References

- Arteaga, O., Amores, K., Terán, H., Cangui, R., Ramírez, A., Hurtado, S., ... Chuquimarca, B. (2020). Automation of a seed on tray seeder machine. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, 872 012003, doi: 10.1088/1757-899X/872/1/012003
- Kaewrat, S. and Senpheng, M. (2023). The computer numerical control for automatic seed sowing machine. **NU. International Journal of Science**, 20(1), 14-25.
- Olubunmi, E. I., Adetunla, A., Amudipe, S., Adeoye, A. and Glucksberg, M. (2022). An archetypal model of a breathable air-circuit in an electro-pneumatic ventilator device. **Heliyon**, 8 (5), e09378, ScienceDirect, doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e09378
- Szczęśniak, A. and Szczeniak, Z. (2022). Fast Designing Ladder Diagram of Programmable Logic Controller for a Technological Process. **INTL Journal of Electronic and Telecommunication**, 68(4), 709-714. doi: 10.24425/ijet.2022.141189
- Wang, Z., zhu, H. and xiong, W. (2023). Low-cost Fault Diagnosis of Pneumatic Systems with Exergy and Machine Learning: Concept, Verification, and Interpretation. **JFPS International Journal of Fluid Power System**, 16(1), 24-32. doi: 10.5739/jfpsj.16.24
- Winarso, R., Wibowo, R., Qur'aini P. and Pamungkas, T. (2022). Design and Fabrication of Automatic Metal Plate Cutting Machine. **International Conference on Sustainable Engineering and Technology June 7th, 2022** (21-27) Yogyakarta: Indonesia.
- Yang, J. and Li, X. (2021). Research and development of a novel pneumatic-electric hybrid actuator. **Journal of Mechanical Science and Technologies**, 35(6), doi: 10.1007/s12206-021-0530-3

การเพิ่มศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลช้างโดยใช้ถังหมักแบบไร้อากาศ: กรณีศึกษา ณ บ้านท่าดีหมี อำเภอเชียงคาน จังหวัดเลย Enhancing Biogas Production Potential from Elephant Dung Using Anaerobic Digesters: A Case Study at Tha Dee Mee Village, Chiang Khan District, Loei Province

กานดา ปุ่มสิน¹ ศิริรัตน์ แจ่มกรณ์¹ สว่าง กุลวงษ์² สุชาสินี ครุฑทะกะ² ชีรภัทร์ อนุชาติ³ และ ศรุติวงศ์ บุญคง^{2*}
Kanda Pumsin¹ Sirirat Jangkorn¹ Sawang Kullawong² Suthasinee Kruttaga²
Teerapat Anuchat³ and Saruttiwong Boonkong^{2*}

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย จังหวัดเลย 42000

²สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย จังหวัดเลย 42000

³สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย จังหวัดเลย 42000

¹Program of Environmental Science, Faculty of Science and Technology, Loei Rajabhat University,
Loei Province, 42000

²Program of Animal Science, Faculty of Science and Technology, Loei Rajabhat University,
Loei Province, 42000

³Program of Physics, Faculty of Science and Technology, Loei Rajabhat University,
Loei Province, 42000

*Corresponding author E-mail: Saruttiwong.boon@lru.ac.th

Received 16 June 2025, Accepted 25 July 2025, Published 3 August 2025

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลช้างโดยใช้ถังหมักแบบไร้อากาศ กรณีศึกษา ณ บ้านท่าดีหมี อำเภอเชียงคาน จังหวัดเลย โดยออกแบบการทดลองด้วยการผสมมูลช้างกับน้ำในอัตราส่วน 2:1 และแบ่งการทดลองออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ T1 (กลุ่มควบคุมไม่เติมกากน้ำตาล) T2 (เติมกากน้ำตาล 10%) T3 (เติมกากน้ำตาล 15%) และ T4 (เติมกากน้ำตาล 20%) ทำการเก็บข้อมูลปริมาณก๊าซมีเทน (CH₄) และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S) ทุก 3 วัน เป็นระยะเวลา 30 วัน ผลการทดลองพบว่า การเติมกากน้ำตาลมีผลต่อการผลิต CH₄ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) โดยกลุ่ม T3 ให้ปริมาณ CH₄ สูงที่สุดในช่วงวันที่ 21-30 แสดงถึงประสิทธิภาพสูงสุดในการเร่งการผลิตก๊าซชีวภาพ ขณะที่กลุ่ม T4 ให้ค่า CH₄ สูงที่สุดในช่วงวันที่ 3-18 แต่มีแนวโน้มลดลงในช่วงปลายการทดลอง เมื่อเปรียบเทียบค่าสูงสุดโดยรวม กลุ่ม T3 แสดงผลดีกว่ากลุ่ม T4 ส่วนกลุ่มควบคุม (T1) ให้ปริมาณ CH₄ ต่ำที่สุดตลอดระยะเวลาการทดลอง ด้าน H₂S พบแนวโน้มลดลงในทุกกลุ่มตามระยะเวลา โดยกลุ่ม T3 และ T4 ให้ค่าต่ำกว่า T1 และ T2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) โดยเฉพาะกลุ่ม T3 ซึ่งมีค่าต่ำที่สุดในช่วงปลายการทดลอง อย่างไรก็ตาม ระดับ H₂S ที่ตรวจวัดได้ยังคงอยู่ในระดับสูง ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยและความทนทานของระบบในระยะยาว สรุปได้ว่า การเติมกากน้ำตาลในระดับ 15% มีประสิทธิภาพสูงสุดทั้งในการเพิ่มปริมาณ CH₄ และลดการปล่อย H₂S อย่างมีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของมูลช้างในการเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตพลังงานชีวภาพที่เหมาะสมต่อการประยุกต์ใช้ในระดับชุมชน โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีการเลี้ยงช้างเพื่อการท่องเที่ยว

คำสำคัญ: มูลช้าง ก๊าซชีวภาพ ถังหมักไร้อากาศ กากน้ำตาล พลังงานทดแทน

ABSTRACT

This study aimed to enhance the biogas production potential from elephant dung using an anaerobic digestion system. The case study was conducted at Ban Tha Dee Mee, Chiang Khan District, Loei Province, Thailand. The experimental design involved mixing elephant dung with water at a ratio of 2:1 and dividing the samples into four treatment groups: T1 (control, no molasses added), T2 (10% molasses), T3 (15% molasses), and T4 (20% molasses). Data on methane (CH_4) and hydrogen sulfide (H_2S) production were collected every three days over a 30-day period. The results revealed that molasses supplementation had a statistically significant effect on CH_4 production ($p < 0.05$). Group T3 produced the highest CH_4 levels during days 21–30, indicating optimal performance in enhancing biogas yield. Although T4 produced the highest CH_4 levels between days 3–18, its performance declined in the final stage of a process. Based on peak CH_4 values, T3 exhibited superior performance compared to T4. The control group (T1) consistently yielded the lowest CH_4 production. Regarding H_2S , a general downward trend was observed across all groups over time. Groups T3 and T4 exhibited significantly lower H_2S concentrations than T1 and T2 ($p < 0.05$), with T3 showing the lowest levels toward the end of the experiment. Nevertheless, H_2S concentrations remained relatively high across all treatments, which could impact on the long-term safety and durability of the system. In conclusion, supplementing with 15% molasses demonstrated the highest efficiency in maximizing methane production and significantly reducing hydrogen sulfide emissions. The results highlight elephant dung as a promising substrate for sustainable energy production, with relevance to community-scale applications in regions engaged in elephant tourism.

Keywords: Elephant dung, Biogas, Anaerobic digester, Molasses, Renewable energy

บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีการเลี้ยงสัตว์หลากหลายชนิด ซึ่งรวมถึง “ช้าง” ถือเป็นสัตว์ประจำชาติที่มีบทบาทสำคัญทั้งในเชิงวัฒนธรรม เศรษฐกิจ และการท่องเที่ยว โดยเฉพาะในบางพื้นที่ เช่น บ้านท่าดีหมี อำเภอยางตลาด จังหวัดเลย ซึ่งชุมชนได้มีการพัฒนาการเลี้ยงช้างร่วมกับกิจกรรมท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ เพื่อสร้างรายได้และอนุรักษ์วิถีชีวิตของช้างไทยให้ยั่งยืน อย่างไรก็ตาม แม้ว่าการเลี้ยงช้างจะก่อให้เกิดผลดีในหลายด้าน แต่ในอีกมุมหนึ่งกลับเป็นต้นกำเนิดของของเสียอินทรีย์ในปริมาณมาก โดยเฉพาะ “มูลช้าง” ซึ่งหากขาดการจัดการอย่างเหมาะสม อาจก่อให้เกิดปัญหาทางสิ่งแวดล้อมได้

ช้างเป็นสัตว์ขนาดใหญ่ที่บริโภคอาหารปริมาณมากต่อวัน โดยเฉลี่ยคิดเป็น 5–10% ของน้ำหนักตัว ซึ่งหมายความว่า ช้างน้ำหนัก 3,000 กิโลกรัม อาจกินอาหารมากถึง 300 กิโลกรัมต่อวัน และขับถ่ายมูลประมาณ 100–150 กิโลกรัมต่อวันต่อเชือก (Manokhoon et al., 2023) หากคำนวณในระดับชุมชน เช่น บ้านท่าดีหมี ซึ่งมีการเลี้ยงช้างอยู่จำนวน 4 เชือก พบว่ามีปริมาณมูลช้างเกิดขึ้นเฉลี่ยมากกว่า 500 กิโลกรัมต่อวัน ปัจจุบัน ชาวบ้านส่วนหนึ่งจะรวบรวมมูลช้างไปใช้ในเชิงเกษตร เช่น การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ หรือหมักทิ้งไว้ในบ่อเก็บ แต่กระบวนการเหล่านี้ยังขาดประสิทธิภาพและมาตรฐานด้านสุขอนามัย อีกทั้งยังไม่สามารถควบคุมกลิ่นหรือผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมได้อย่างเป็นระบบ

สถานการณ์ดังกล่าวชี้ให้เห็นถึงความจำเป็นในการแสวงหาวิธีการจัดการของเสียจากมูลช้างที่มีความยั่งยืนและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม หนึ่งในแนวทางที่ได้รับความสนใจอย่างแพร่หลาย คือการ นำมูล ช้างไปผลิต “ก๊าซชีวภาพ” (Biogas) ซึ่งเป็นพลังงานทดแทนในรูปของ CH_4 ผ่านกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion) โดยอาศัย จุลินทรีย์ที่สามารถย่อยอินทรีย์วัตถุในของเสียและเปลี่ยนให้เป็นพลังงานสะอาด ซึ่งสามารถนำไปใช้ในครัวเรือน เช่น การหุงต้ม หรือการผลิตไฟฟ้าระดับชุมชน (Sawatdeenarunat et al., 2023)

อย่างไรก็ตาม การผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลช้างยังพบปัญหาข้อจำกัดหลายประการ เนื่องจากองค์ประกอบของมูลช้าง มีลักษณะเฉพาะที่ต่างจากมูลสัตว์ชนิดอื่น กล่าวคือมีเส้นใยสูง เนื่องจากช้างเป็นสัตว์กินพืช (Hindgut fermenters) ทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดขึ้นได้ช้า อีกทั้งยังอาจทำให้เกิดการอุดตันภายในระบบหมัก หากไม่มีการเตรียมวัตถุดิบหรือควบคุม สัดส่วนของส่วนผสมอย่างเหมาะสม (Sukasem and Prayoonkham, 2017) ดังนั้นเพื่อให้การผลิตก๊าซชีวภาพมีประสิทธิภาพ มากขึ้น จึงมีความจำเป็นต้องศึกษาวิธีการปรับปรุงสูตร เช่น การเติมวัสดุพลังงานเสริม เช่น กากน้ำตาล (Molasses) หรือการ ควบคุมอัตราส่วนของมูลสัตว์ต่อน้ำให้เหมาะสม เพื่อเพิ่มศักยภาพของกระบวนการย่อยสลาย

จากการศึกษาของ Kasantikul (2022) ชี้ให้เห็นว่าการเติมกากน้ำตาลในอัตราส่วนที่เหมาะสม เช่น 50% ต่อขยะ อินทรีย์ 1 กิโลกรัม จะสามารถเพิ่มปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพได้สูงกว่าระดับอื่น ๆ โดยให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 1.17–1.46 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับระดับการเติมที่ต่ำกว่า ซึ่งกากน้ำตาลซึ่งมีราคาถูกและอุดมด้วยน้ำตาลธรรมชาติ ถือเป็นแหล่งพลังงาน ที่เหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์กลุ่มเมทาโนเจน (Methanogens) ซึ่งเป็นกลุ่มจุลินทรีย์หลักในการผลิต CH_4 (Romaniuk et al., 2022) นอกจากนี้ การศึกษาของ Manokhoo et al. (2023) ยังพบว่าอัตราส่วนของมูลช้างต่อน้ำในสัดส่วน 2:1 จะช่วย ส่งเสริมปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ซึ่งเป็นขั้นตอนแรกของกระบวนการหมักให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น และส่งผลให้ได้ปริมาณก๊าซ สูงขึ้นอย่างชัดเจน ในบริบทของบ้านท่าดีหมี่ ซึ่งมีความพร้อมด้านทรัพยากรธรรมชาติ วัตถุดิบ (มูลช้าง) และแรงงานในชุมชน การนำระบบผลิตก๊าซชีวภาพมาใช้ ถือเป็นโอกาสสำคัญในการแก้ปัญหาของเสียให้เป็นพลังงานสะอาด พร้อมลดผลกระทบทาง สิ่งแวดล้อมและยกระดับคุณภาพชีวิตของชาวบ้าน โดยเฉพาะในช่วงที่ต้นทุนพลังงานจากภายนอกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่าง ต่อเนื่อง นอกจากนี้ยังเป็นการเสริมสร้างภาพลักษณ์ด้านความยั่งยืนให้กับแหล่งท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ ซึ่งสอดคล้องกับแนว ทางการพัฒนาพลังงานทดแทนของประเทศไทย

คณะผู้วิจัยจึงได้ออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาแนวทางการเพิ่มศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลช้างในระดับ ชุมชน โดยใช้ระบบถังหมักแบบไร้อากาศ (Anaerobic Digester) พร้อมทั้งประเมินประสิทธิภาพของสูตรการหมักที่มีการเติม กากน้ำตาลในสัดส่วนต่าง ๆ และควบคุมอัตราส่วนของมูลช้างต่อน้ำ เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการเพิ่มผลผลิตก๊าซ ชีวภาพและลดปริมาณของเสียในระบบอย่างมีประสิทธิภาพ การวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายเพื่อพัฒนาเทคโนโลยีที่สามารถใช้ได้จริง ในระดับชุมชนและนำไปต่อยอดในพื้นที่เลี้ยงช้างอื่น ๆ ทั่วประเทศ เพื่อส่งเสริมการจัดการทรัพยากรอย่างยั่งยืนและสนับสนุน การใช้พลังงานสะอาดในอนาคต

วิธีการวิจัย

การวางแผนการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองภาคสนาม โดยใช้ รูปแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเติมกากน้ำตาลในระดับต่าง ๆ ต่อปริมาณและคุณภาพ ของก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากการหมักมูลช้างในระดับชุมชน

การเตรียมวัสดุและอุปกรณ์

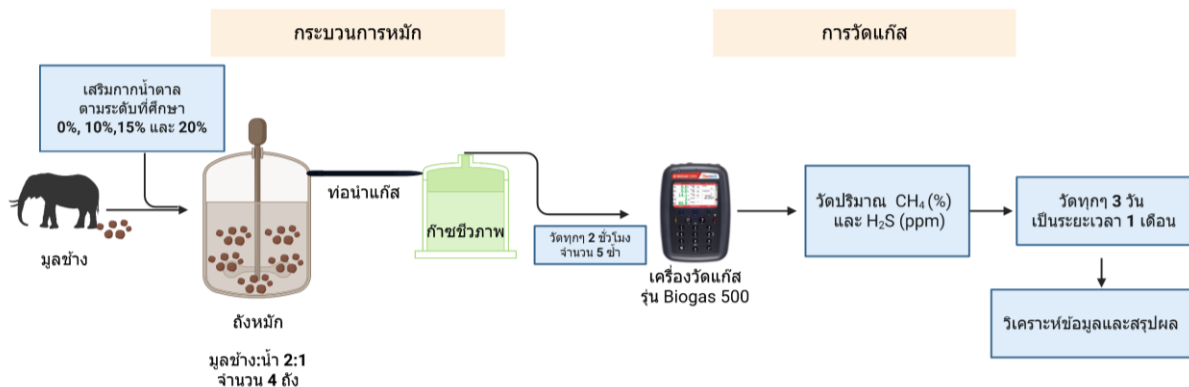
วัสดุที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย มูลช้างสด ซึ่งเก็บจากพื้นที่บ้านท่าดีหมี่ อำเภอเชียงคาน จังหวัดเลย และกากน้ำตาล (Molasses) ที่ได้จากโรงงานผลิตน้ำตาลในพื้นที่ โดยมูลช้างและน้ำจะถูกผสมในอัตราส่วน 2:1 ตามที่วิธีการของ Manokhoon et al. (2023) แสดงดังภาพที่ 1

ถังหมักที่ใช้เป็น ถังพลาสติกชนิดปิด ขนาด 200 ลิตร จำนวน 4 ถัง โดยที่บริเวณหัวถังติดตั้งท่อพีวีซี (PVC) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว สำหรับใช้เติมวัสดุเข้าไปในถัง และติดตั้งท่อขนาด 6 นิ้ว (¾ นิ้ว) เป็นท่อนำก๊าซชีวภาพออกจากถัง โดยเชื่อมต่อกับท่อส่งก๊าซเพื่อการวัดปริมาณก๊าซ

การออกแบบการทดลอง

แบ่งการทดลองออกเป็น 4 กลุ่มการทดลอง โดยระดับของกากน้ำตาลที่เลือกใช้พิจารณาจากข้อมูลของ Kasantikul (2022) และความคุ้มค่าในการผลิตก๊าซชีวภาพระดับชุมชน ในแต่ละกลุ่มมีการวัดปริมาณก๊าซทุก ๆ 2 ชั่วโมง จำนวน 5 ชั่วโมงต่อกลุ่มทดลอง ได้แก่

- T1: มูลช้าง : น้ำ อัตราส่วน 2:1 ไม่เติมกากน้ำตาล (กลุ่มควบคุม)
- T2: มูลช้าง : น้ำ อัตราส่วน 2:1 เติมกากน้ำตาล 10% โดยปริมาตร
- T3: มูลช้าง : น้ำ อัตราส่วน 2:1 เติมกากน้ำตาล 15% โดยปริมาตร
- T4: มูลช้าง : น้ำ อัตราส่วน 2:1 เติมกากน้ำตาล 20% โดยปริมาตร



ภาพที่ 1 แผนภาพการดำเนินการวิจัยการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลช้าง

การเก็บข้อมูล

เก็บข้อมูลในช่วงระยะเวลาการหมักรวม 30 วัน โดยเก็บข้อมูลทุก 3 วัน และในแต่ละวันเก็บข้อมูลปริมาณก๊าซชีวภาพทุก 2 ชั่วโมง โดยวัดสัดส่วน (%) ก๊าซมีเทน (CH_4) และ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) หน่วย ppm โดยใช้เครื่องวัดก๊าซชีวภาพแบบดิจิทัลรุ่น BIOGAS 5000 (Geotech, UK) แสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 การเก็บข้อมูลการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลช้างโดยใช้เครื่องวัดก๊าซชีวภาพ

การวิเคราะห์ทางสถิติ

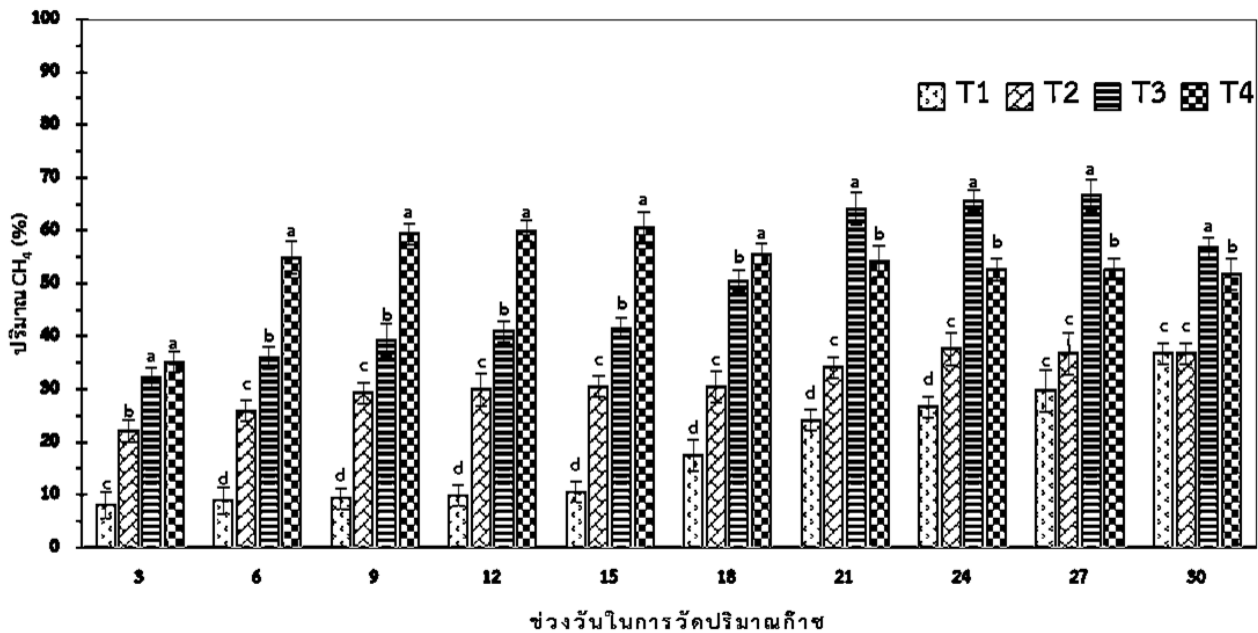
การเก็บรวบรวมข้อมูลในการศึกษาครั้งนี้ ได้เก็บตัวอย่างมูลช้าง ณ บ้านท่าดีหมี อำเภอยางตลาด จังหวัดเลยเพื่อทำการเปรียบเทียบระดับของกากน้ำตาลที่มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ ข้อมูลที่ได้จากการทดลองจะนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรมสถิติสำเร็จรูป SAS (Freund and Littell, 2000)

ผลการวิจัย และวิจารณ์ผลการวิจัย

ผลการศึกษาปริมาณก๊าซมีเทน (CH_4) จากมูลช้าง

จากผลการศึกษาปริมาณ CH_4 ตามช่วงวัน ในการเก็บข้อมูลการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลช้างโดยการเติมกากน้ำตาลในระดับต่าง ๆ พบว่า การเติมกากน้ำตาลส่งผลต่อปริมาณ CH_4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แสดงดังภาพที่ 3 การวิเคราะห์ปริมาณ CH_4 แบบรายวัน ให้เห็นรูปแบบการทำงานของระบบหมักที่แตกต่างกันในแต่ละกลุ่ม โดยเฉพาะในช่วงวันที่ 6-15 ซึ่งถือเป็นเวลาที่จุลินทรีย์เมทาโนเจนเข้าสู่ระยะเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็ว การเติมกากน้ำตาลในระดับ 10-15% ส่งผลให้จุลินทรีย์มีแหล่งพลังงานเพียงพอ ทำให้สามารถเปลี่ยนสารตั้งต้นไปเป็น CH_4 ได้อย่างมีประสิทธิภาพ กลุ่ม T2 แม้จะมีการเติมกากน้ำตาลเพียง 10% แต่ก็สามารถเร่งกระบวนการหมักได้ดีกว่ากลุ่มควบคุม (T1) อย่างชัดเจน แสดงให้เห็นว่าแม้การเติมสารเสริมพลังงานเพียงเล็กน้อยก็สามารถช่วยกระตุ้นระบบให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเชิงบวกได้ โดยในกลุ่มทดลองที่เติมกากน้ำตาลพบว่า ปริมาณ CH_4 สูงกว่ากลุ่มควบคุม (T1) อย่างชัดเจนตลอดระยะเวลา 30 วันของการทดลอง ทั้งนี้กลุ่มที่เติมกากน้ำตาลในอัตราร้อยละ 15 (T3) ให้ปริมาณ CH_4 สูงที่สุดในช่วงวันที่ 21-30 แสดงถึงประสิทธิภาพสูงสุดในการเร่งการผลิตก๊าซชีวภาพ ขณะที่กลุ่ม T4 ให้ค่า CH_4 สูงที่สุดในช่วงวันที่ 3-18 แต่มีแนวโน้มลดลงในช่วงปลายการทดลอง

ในช่วงวันที่ 3–12 ปริมาณ CH_4 เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในทุกกลุ่ม โดยเฉพาะในกลุ่ม T4 ที่สามารถผลิต CH_4 ได้เกิน 60% ตั้งแต่วันที่ 9 ซึ่งเร็วกว่ากลุ่มอื่น ขณะที่ T3 สามารถผลิต CH_4 ได้ใกล้เคียงกับ T4 แสดงถึงการตอบสนองที่ดีของจุลินทรีย์เมทาโนเจนิกต่อการเติมกากน้ำตาลในระดับที่เหมาะสม (Sawatdeenarunat et al., 2023) กลุ่ม T2 ที่เติมกากน้ำตาล 10% แม้จะมีปริมาณ CH_4 สูงกว่ากลุ่มควบคุม แต่ยังต่ำกว่ากลุ่ม T3 และ T4 อย่างมีนัยสำคัญ ช่วงกลางถึงปลายการทดลอง (วันที่ 15–30) กลุ่ม T3 ยังคงรักษาระดับ CH_4 ได้สูงสุด โดยเฉพาะในวันที่ 21–27 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความเสถียรของระบบการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่มีการเติมกากน้ำตาลในระดับปานกลาง ส่งผลให้จุลินทรีย์ในกลุ่มเมทาโนเจนสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่ถูกยับยั้งจากภาวะกรดหรือสารพิษสะสม (Romaniuk et al., 2022) ในขณะที่กลุ่ม T4 ซึ่งเติมกากน้ำตาล 20% แม้จะมีค่า CH_4 สูงในช่วงต้น (วันที่ 6–15) แต่กลับมีแนวโน้มลดลงช่วงปลาย โดยเฉพาะวันที่ 27–30 แสดงถึงภาวะ “Overloading” ซึ่งอาจรบกวนสมดุลของระบบและทำให้จุลินทรีย์เมทาโนเจนทำงานลดลง (Kasantikul, 2022) อย่างไรก็ตาม กลุ่ม T3 ไม่พบปัญหาดังกล่าว แสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนกากน้ำตาลร้อยละ 15 เป็นระดับที่เหมาะสมที่สุดในการส่งเสริมประสิทธิภาพและความเสถียรของกระบวนการหมัก กลุ่มควบคุม T1 มีปริมาณ CH_4 ต่ำที่สุดตลอดการทดลอง (เฉลี่ยต่ำกว่า 50%) แสดงให้เห็นว่ามูลช้างเพียงอย่างเดียวโดยไม่มีสารเสริมพลังงาน อาจไม่สามารถสร้างสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตก๊าซชีวภาพได้ เนื่องจากองค์ประกอบของมูลช้างมีลักษณะเป็นเส้นใยสูง (High lignocellulose) ทำให้จุลินทรีย์เข้าถึงแหล่งคาร์บอนได้ช้า (Manokhoo et al., 2023) จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า การเติมกากน้ำตาลในระดับ 15% โดยปริมาตรมีประสิทธิภาพสูงสุดในการเพิ่มปริมาณ CH_4 จากมูลช้าง ทั้งในแง่ของอัตราเร็วและความเสถียรของระบบ เมื่อนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบกับรายงานของ De Vrieze (2014) ซึ่งศึกษาการใช้วัสดุชีวมวลร่วมกับสารให้พลังงานสูง เช่น น้ำตาลทรายแดง และกากน้ำตาล พบว่า การเติมสารที่มีคาร์บอนสูงในอัตราที่เหมาะสมจะช่วยส่งเสริมการเจริญของจุลินทรีย์ในกลุ่มเมทาโนเจน โดยเฉพาะกลุ่ม Methanosaeta และ Methanosarcina ซึ่งมีบทบาทในการผลิต CH_4 จากสารอินทรีย์ระยะสุดท้าย อย่างไรก็ตาม หากเติมมากเกินไปจะส่งผลให้กรดไขมันระเหย (VFA) สะสม และลดค่า pH จนถึงระดับที่ยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ ซึ่งสอดคล้องกับผลในกลุ่ม T4 ที่พบปัญหาการผลิต CH_4 ลดลงในช่วงปลายการทดลอง เมื่อพิจารณา ค่าเฉลี่ยของปริมาณ CH_4 รายสัปดาห์ในแต่ละกลุ่มพบว่า กลุ่ม T3 มีค่าเฉลี่ยสูงสุดในสัปดาห์ที่ 4 (วันที่ 22–28) โดยมีค่ามากกว่า 65% แสดงถึงประสิทธิภาพในการรักษาเสถียรภาพของระบบอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่กลุ่ม T4 แม้จะเริ่มต้นดีแต่กลับลดลงเหลือเพียงประมาณ 55% ในสัปดาห์สุดท้าย ซึ่งสามารถสันนิษฐานได้ว่าการเติมกากน้ำตาลในระดับ 20% อาจเกินความสามารถในการย่อยของระบบที่ใช้ในการทดลองนี้ ส่งผลให้เกิดภาวะ Over-acidification ซึ่งเป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์ที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อม ในเชิงเศรษฐศาสตร์การผลิต การเติมกากน้ำตาลในระดับ 15% ยังถือว่าเป็นอัตราที่คุ้มค่ามากที่สุด เมื่อพิจารณาต้นทุนของกากน้ำตาลกับผลผลิตก๊าซที่ได้ โดยสามารถให้ผลผลิต CH_4 สูงอย่างต่อเนื่องโดยไม่ต้องเติมสารปรับสมดุลเพิ่มเติมเหมือนในกลุ่ม T4 ที่อาจต้องใช้สารกันกรด เช่น โซเดียมไบคาร์บอเนต เพื่อรักษาค่า pH ซึ่งจะเพิ่มต้นทุนการผลิตในระยะยาว โดยเฉพาะเมื่อระบบถูกนำไปใช้งานในระดับครัวเรือนหรือชุมชนที่มีข้อจำกัดด้านทรัพยากร



ภาพที่ 3 ปริมาณก๊าซมีเทน (CH_4) เฉลี่ย (%) ตามช่วงวันเก็บข้อมูล

จากผลการศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลช้าง พบว่ายังมีข้อจำกัดสำคัญด้านองค์ประกอบของมูลช้าง โดยเฉพาะปริมาณเส้นใยอาหารที่สูงมาก ซึ่งเป็นผลมาจากระบบย่อยอาหารของช้างที่จัดอยู่ในกลุ่มสัตว์กินพืชที่มีระบบย่อยอาหารแบบกระเพาะเดี่ยวขนาดใหญ่ (Hindgut fermenter) โดยมีลำไส้ใหญ่และ Cecum ขนาดใหญ่ที่ทำหน้าที่ย่อยเส้นใยจากพืชด้วยจุลินทรีย์ ที่มีประสิทธิภาพในการย่อยเซลลูโลสต่ำกว่าสัตว์เคี้ยวเอื้อง เช่น วัวหรือควาย ส่งผลให้มูลช้างมีลักษณะที่ย่อยสลายยาก ต้องอาศัยการปรับสภาพเบื้องต้น เช่น การเตรียมเชื้อ การเติมสารร่วม หรือการควบคุมสัดส่วนความชื้น เพื่อช่วยกระบวนการย่อยสลายเกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Sukasem and Prayoonkham, 2017) เมื่อเปรียบเทียบกับมูลวัวหรือมูลควาย ซึ่งเป็นสัตว์เคี้ยวเอื้องที่มีระบบย่อยอาหารที่สามารถสลายเส้นใยได้อย่างมีประสิทธิภาพ พบว่าการผลิต CH_4 จากมูลของสัตว์เคี้ยวเอื้องนั้นมีแนวโน้มสูงและเสถียรมากกว่าอย่างชัดเจน งานวิจัยของ Sawatdeenarunat et al. (2025) รายงานว่ามูลวัวสามารถผลิต CH_4 ได้สูงถึง 70–80% ภายในช่วงเวลา 15–20 วัน ซึ่งแสดงถึงศักยภาพที่สูงกว่ามูลช้าง นอกจากนี้ มูลสุกรมีองค์ประกอบของคาร์บอนและไนโตรเจนที่สมดุล เนื่องจากอาหารสุกรได้มีการให้คุณค่าของโภชนาการตรงตามระยะและความต้องการของสัตว์ ส่งผลให้กระบวนการหมักเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ มูลสุกรสามารถเริ่มผลิต CH_4 ได้ตั้งแต่วางแรกของการหมัก และให้ค่าความเข้มข้นของก๊าซใกล้เคียงกับมูลวัว (Cruz et al., 2022) ตรงกันข้ามกับมูลช้างที่แม้จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้เมื่อผ่านการจัดการที่เหมาะสม เช่น T4 ในการทดลอง แต่ผลผลิต CH_4 ก็ยังแสดงแนวโน้มคงที่หรือลดลงในระยะยาว ซึ่งอาจเกิดจากการสะสมของเส้นใยที่ย่อยยาก ทำให้จุลินทรีย์หมักทำงานได้ลดลง ในส่วนของมูลไก่แม้จะมีสารอาหารสูงโดยเฉพาะโปรตีน แต่กลับมีข้อจำกัดในด้านความเป็นพิษของแอมโมเนียที่เกิดจากการย่อยสลายโปรตีน ซึ่งสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ผลิต CH_4 ได้ หากไม่มีการควบคุมอย่างเหมาะสม การหมักมูลไก่จึงมักให้ผลผลิต CH_4 ต่ำและระบบไม่เสถียร (Song et al., 2023) โดยภาพรวมแล้วมูลช้างจะสามารถนำมาผลิตก๊าซชีวภาพได้ แต่ต้องผ่านกระบวนการจัดการและปรับสภาพที่มากกว่ามูลจากสัตว์เคี้ยวเอื้องหรือสุกร ซึ่งแสดงให้เห็นถึงข้อจำกัดเชิงเทคนิคและต้นทุนในการดำเนินงาน หากนำไปประยุกต์ใช้ในระดับชุมชนหรือสถานประกอบการจริง จำเป็นต้องมีการวางระบบที่เหมาะสม โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีมูลช้างจำนวนมาก เพื่อให้การผลิตก๊าซชีวภาพเกิดประโยชน์สูงสุดและคุ้มค่าทั้งในด้านพลังงานและการจัดการสิ่งแวดล้อม

การผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลช้างเป็นหนึ่งในแนวทางการจัดการของเสียที่มีศักยภาพ ทั้งในด้านการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและการผลิตพลังงานทดแทน อย่างไรก็ตาม มูลช้างมีลักษณะเฉพาะที่ย่อยสลายได้ยาก ส่งผลให้ต้องมีการปรับระบบหมักแบบไร้ออกซิเจน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต CH_4 หนึ่งในปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการผลิตก๊าซชีวภาพคือ อัตราส่วนของมูลสัตว์ต่อน้ำ ซึ่งมีผลโดยตรงต่อการย่อยสลายและการผลิตก๊าซชีวภาพ หากมีปริมาณของแข็งสูงเกินไป อาจนำไปสู่การสะสมของกรดอินทรีย์ ซึ่งทำให้ค่า pH ลดลงจนเกิดภาวะเป็นกรดในระบบ ส่งผลกระทบต่อการทำงานของจุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญในการผลิต CH_4 ในทางกลับกัน หากระบบมีความเจือจางมากเกินไป จะทำให้สารตั้งต้นมีความเข้มข้นต่ำ ส่งผลให้ผลผลิตก๊าซลดลงเช่นกัน (Katuwal and Bohara, 2009) อีกหนึ่งปัจจัยที่สำคัญคือการเสริมแหล่งพลังงานเพิ่มเติม เนื่องจากมูลช้างมีคาร์บอนต่ำและเส้นใยสูง จึงจำเป็นต้องปรับสมดุลของสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) การเติมน้ำตาลหรือวัสดุที่มีคาร์โบไฮเดรตสูง สามารถเพิ่มค่า C/N ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมคือ 20:1 ถึง 30:1 ซึ่งช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และเพิ่มอัตราการผลิต CH_4 (Gunaseelan, 2004) ในส่วนของอุณหภูมิและค่า pH ยังเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์โดยเฉพาะกลุ่มเมทาโนเจน ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการผลิต CH_4 การควบคุมให้อยู่ในช่วง Mesophilic ($35\text{--}40^\circ\text{C}$) หรือ Thermophilic ($50\text{--}60^\circ\text{C}$) เป็นสิ่งจำเป็น โดยค่า pH ควรอยู่ระหว่าง 6.5–7.5 เพื่อให้จุลินทรีย์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด ในช่วง Thermophilic จะมีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้เร็วกว่าช่วง Mesophilic ซึ่งทำให้การรักษาอุณหภูมิให้สม่ำเสมอมีความสำคัญมากขึ้น (Angelidaki and Ahring, 1994) การออกแบบระบบการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลช้างจึงต้องคำนึงถึงปัจจัยเหล่านี้อย่างรอบคอบ เพื่อให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตได้สูงสุด นอกจากนี้การพัฒนาระบบให้มีความมั่นคงและสามารถรักษาอุณหภูมิได้อย่างเหมาะสมจะช่วยสนับสนุนการผลิตพลังงานสะอาดในระดับชุมชนอย่างยั่งยืน

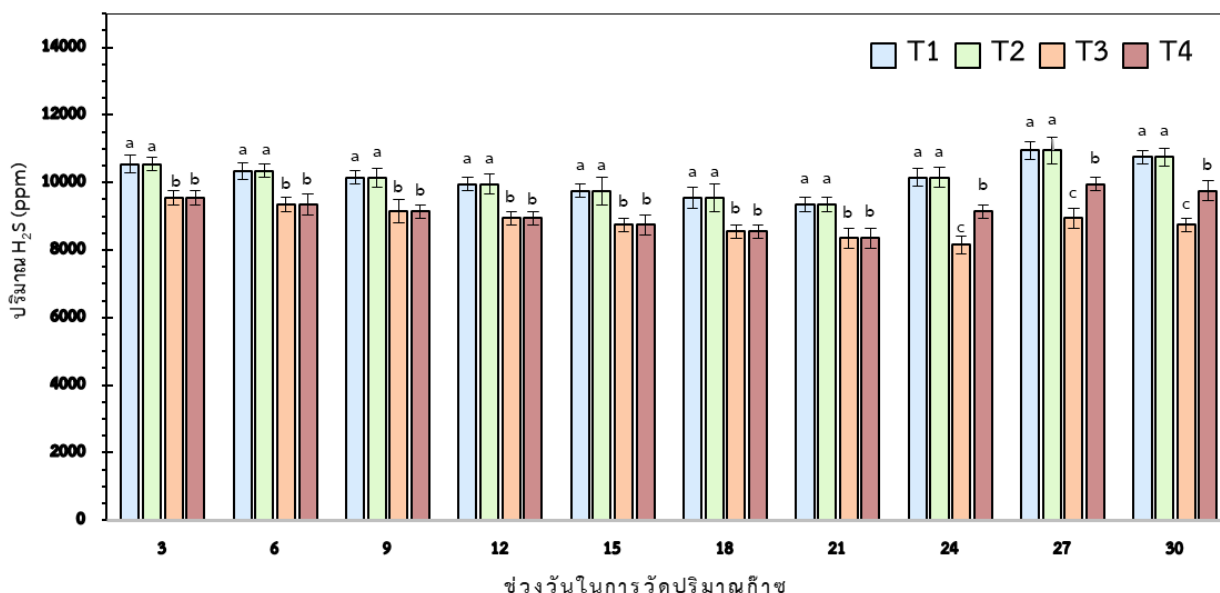
ผลการศึกษาปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) จากมูลช้าง

ไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นก๊าซที่เกิดขึ้นจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ โดยจุลินทรีย์จำพวก Sulfate-Reducing Bacteria (SRB) ทำหน้าที่เปลี่ยนซัลเฟตให้เป็น H_2S ซึ่งก๊าซชนิดนี้มีผลเสียต่อระบบผลิตก๊าซชีวภาพและอุปกรณ์ เนื่องจากมีฤทธิ์กัดกร่อนสูงและเป็นอันตรายต่อสุขภาพมนุษย์หากสะสมในปริมาณมาก (Sreekrishnan et al., 2004)

จากภาพที่ 4 แสดงปริมาณ H_2S ในหน่วย ppm ที่เกิดขึ้นระหว่างวัน (3 ถึง 30) ภายใต้ 4 สภาวะการทดลอง ปริมาณ H_2S มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องในทุกกลุ่มทดลองเมื่อเวลาผ่านไปจากวันที่ 3 ถึงวันที่ 21 แสดงให้เห็นว่ากระบวนการหมักหรือย่อยสลายสารอินทรีย์มีประสิทธิภาพในการลดการปล่อย H_2S ตามเวลา กลุ่ม T1 และ T2 ให้ค่าการผลิต H_2S สูงที่สุดในทุกช่วงเวลา และไม่แตกต่างกันทางสถิติ กลุ่ม T3 และ T4 ให้ค่าการผลิต H_2S ต่ำกว่า T1 และ T2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยเฉพาะช่วงวันที่ 24–30 ซึ่ง T3 เริ่มมีค่าต่ำกว่า T4 อย่างชัดเจน และกลุ่ม T3 มีค่าต่ำที่สุดในหลายช่วงเวลา โดยเฉพาะปลายการทดลอง แสดงถึงศักยภาพในการลดการปล่อย H_2S ได้ดีที่สุด จากผลที่ได้ T3 จึงอาจมีสภาวะที่มีผลในการยับยั้งการเกิด H_2S ได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่อย่างไรก็ตามปริมาณ H_2S ในระบบยังคงมีอยู่สูงมาก ซึ่งเมื่อไฮโดรเจนซัลไฟด์รวมไอน้ำจะเป็นกรดซัลฟูริกหรือกรดกำมะถัน มีฤทธิ์กัดกร่อนโลหะ ทำให้เตาหรือเครื่องยนต์เป็นสนิมและอุปกรณ์ได้ นอกจากนี้ยังเป็นอันตรายต่อสุขภาพหากสูดดมเป็นเวลานานๆ การกำจัด H_2S ออกจากก๊าซชีวภาพจึงมีความจำเป็น

จากผลการทดลองที่แสดงดังภาพที่ 4 พบว่าในทุกช่วงเวลาของการวัดค่าปริมาณ H_2S (ppm) กลุ่ม T1 ให้ค่าการผลิต H_2S สูงที่สุด รองลงมาเป็น T2, T3 และ T4 ตามลำดับ โดยเฉพาะในช่วงวันที่ 24–30 กลุ่ม T1 ยังคงรักษาระดับความเข้มข้นของ H_2S ได้สูงกว่า 10,000 ppm ขณะที่ T4 อยู่ในช่วงต่ำสุดที่ประมาณ 8,000–8,500 ppm ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการจัดการในกลุ่ม T3 และ T4 มีผลต่อการลดปริมาณ H_2S ได้อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์ชนิดอื่น พบว่า ค่า H_2S มักอยู่ในช่วง 2,000–6,000 ppm (Boonyuang and Nirunsin, 2023) ในกรณีของมูลช้าง ซึ่งมีลักษณะเด่นคือมีเส้นใยสูงแต่ปริมาณโปรตีนน้อยกว่าสัตว์ปีกหรือสุกร จึงไม่น่าจะก่อให้เกิดปริมาณ H_2S สูง อย่างไรก็ตาม ค่าที่แสดงในกราฟโดยเฉพาะกลุ่ม T1 ที่ให้ H_2S สูงกว่า 10,000 ppm อาจชี้ให้เห็นว่ามีองค์ประกอบอื่นที่เอื้อต่อการเกิดซัลเฟอร์ เช่น วัตถุดิบร่วมในการหมัก หรือสภาพแวดล้อมต่างๆ แม้ว่ากลุ่ม T3 จะให้ค่าการปล่อย H_2S ต่ำที่สุด แต่ค่าดังกล่าวยังคงอยู่ในระดับที่ถือว่าสูงกว่าค่ามาตรฐานที่ปลอดภัยสำหรับการใช้งานเชื้อเพลิงชีวภาพในอุปกรณ์เครื่องจักรหรือเครื่องยนต์ โดยทั่วไป

ค่าปลอดภัยควรอยู่ไม่เกิน 100 ppm สำหรับการใช้งานในระบบเผาไหม้ เนื่องจาก H_2S สามารถจับตัวกับไอน้ำกลายเป็นกรดซัลฟิวริก ซึ่งมีฤทธิ์กัดกร่อนโลหะอย่างรุนแรง ทำให้เกิดความเสียหายต่อท่อก๊าซ เตาเผา และอุปกรณ์การผลิตไฟฟ้าต่าง ๆ (Pudi et al., 2022)



ภาพที่ 4 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) เฉลี่ย (ppm) ตามช่วงวันเก็บข้อมูล

จากการศึกษาวิธีการลดปริมาณ H_2S ในระบบผลิตก๊าซชีวภาพ พบว่าการใช้วัสดุดูดซับหรือการเติมสารเคมีที่มีคุณสมบัติเฉพาะในการดักจับหรือเปลี่ยนแปลงซัลเฟอร์ให้ไม่อยู่ในรูปที่ก่อให้เกิด H_2S เป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพ (Ahmad et al., 2021) ซึ่งได้มีรายงานของ วงศ์วิวรรธ และสุนันทา (2555) มีการเลือกใช้วัสดุที่มีราคาถูก ง่าย และใช้งานได้ในระดับชุมชน ได้ทำการประเมินประสิทธิภาพของวัสดุดูดซับชนิดต่าง ๆ ในการกำจัด H_2S จากระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบ Anaerobic Covered Lagoon โดยได้เปรียบเทียบวัสดุดูดซับ 4 ประเภท ได้แก่ ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon: AC), ชักลิ่งเหล็กไม่ผ่านการปรับสภาพ (Fresh Iron Shaving: FA), ชักลิ่งเหล็กที่ปรับสภาพด้วยกรด (FH) และวัสดุผสมระหว่าง AC กับ FA (AF) เพื่อประเมินประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นของ H_2S ที่พบในก๊าซชีวภาพ ก่อนเข้าสู่ระบบดูดซับ ก๊าซชีวภาพที่ได้จากระบบมีองค์ประกอบหลัก ได้แก่ CH_4 อยู่ในช่วง 42.60–44.70%, และ H_2S มีความเข้มข้นอยู่ระหว่าง 1,080–1,403 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของ H_2S แยกรายวัสดุจะพบว่า ก่อนการดูดซับ AC มีความเข้มข้นของ H_2S ที่ 1,334 มิลลิกรัมต่อลิตร FH ที่ 1,403 มิลลิกรัมต่อลิตร FA ที่ 1,205 มิลลิกรัมต่อลิตร และ AF ที่ 1,082 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ หลังผ่านกระบวนการดูดซับ พบว่าวัสดุ FA หรือชักลิ่งเหล็กไม่ปรับสภาพมีประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัด H_2S โดยลดเหลือเพียง 358.8 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นอัตราการกำจัดสูงถึง 70.22% รองลงมาคือวัสดุผสม AF (ถ่านกัมมันต์ร่วมกับชักลิ่งเหล็กไม่ปรับสภาพ) ซึ่งสามารถลด H_2S ลงเหลือ 610.7 มิลลิกรัมต่อลิตร (43.61%) ส่วนการใช้ถ่านกัมมันต์เพียงอย่างเดียว (AC) ลดเหลือ 937.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (29.72%) และชักลิ่งเหล็กปรับสภาพด้วยกรด (FH) มีประสิทธิภาพต่ำที่สุด โดยลดได้เพียง 15.37% ผลการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า วัสดุดูดซับประเภทเหล็ก โดยเฉพาะชักลิ่งเหล็กไม่ผ่านการปรับสภาพ มีศักยภาพในการลด H_2S ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าวัสดุประเภทอื่น การเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในกระบวนการจัดการก๊าซชีวภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ที่มีการผลิตก๊าซจากมูลสัตว์ที่มีแนวโน้มปล่อย H_2S ในระดับสูงจากการศึกษาดังกล่าววิธีการลดปริมาณ H_2S ในระบบผลิตก๊าซชีวภาพ พบว่ามีแนวทางที่หลากหลายและครอบคลุมทั้งเชิงกายภาพ เคมี และชีวภาพ ยังมีข้อสังเกตบางประการที่ควรพิจารณาเพิ่มเติมเพื่อการประยุกต์ใช้ในระดับพื้นที่และการต่อยอด

งานวิจัยในอนาคต แม้ว่าการใช้ขี้กลิ้งเหล็กไม่ปรับสภาพ (FA) จะแสดงประสิทธิภาพในการดูดซับ H_2S ได้สูงที่สุด แต่ข้อจำกัดในการจัดหาและความปลอดภัยของวัสดุโลหะในระดับชุมชนยังคงเป็นอุปสรรคสำคัญ เช่น ความเสี่ยงในการเกิดสนิม ความยุ่งยากในการจัดการหลังการใช้งาน และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหากมีการสะสมของโลหะหนักในระบบ นอกจากนี้การทดลองยังจำกัดอยู่ในสภาวะแวดล้อมที่ควบคุม จึงควรมีการประเมินความเหมาะสมในสถานการณ์จริงที่อาจมีปัจจัยแปรผันมากกว่า อย่างไรก็ตาม ปัญหาสำคัญที่พบในระบบหมักก๊าซชีวภาพ คือ H_2S ซึ่งเป็นก๊าซพิษที่มีกลิ่นเหม็นรุนแรง มีฤทธิ์กัดกร่อนสูง และส่งผลเสียต่ออุปกรณ์ภายในระบบ เช่น ท่อส่งก๊าซ ถังหมัก และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า รวมถึงลดคุณภาพของก๊าซชีวภาพที่ได้ ดังนั้น การควบคุมและลดการผลิต H_2S ตั้งแต่ต้นทางของกระบวนการหมักจึงเป็นแนวทางที่มีความสำคัญ ทั้งในแง่ของประสิทธิภาพระบบและต้นทุนการดำเนินงานในระยะยาว แนวทางหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการลดการผลิต H_2S คือการปรับค่า pH ของระบบหมักให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม โดยจุลินทรีย์กลุ่มซัลเฟต Sulfate-Reducing Bacteria (SRB) ซึ่งเป็นกลุ่มจุลินทรีย์หลักที่ผลิต H_2S มักเจริญได้ดีในสภาวะที่เป็นกรดอ่อน หากค่าพีเอชของระบบอยู่ในระดับต่ำกว่าที่เหมาะสม จุลินทรีย์กลุ่มนี้จะสามารถเพิ่มจำนวนได้อย่างรวดเร็วและผลิต H_2S ในปริมาณมาก การควบคุมค่า pH ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยเฉพาะในช่วง pH 6.8–7.2 ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของจุลินทรีย์ผลิต CH_4 จะช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของ SRB ได้อย่างมีประสิทธิภาพ การใช้สารปรับสภาพ เช่น โซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) หรือหินปูนบดละเอียด ($CaCO_3$) จึงเป็นแนวทางสำคัญที่ช่วยรักษาค่าพีเอชให้มีความเสถียรและป้องกันการเพิ่มขึ้นของ H_2S ในระบบ (Larsen et al., 2010) นอกจากค่า pH แล้ว อุณหภูมิยังเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลโดยตรงต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบหมัก โดยทั่วไปกระบวนการหมักจะดำเนินการในช่วงอุณหภูมิ Mesophilic ($35-40^\circ C$) หรือ Thermophilic ($50-55^\circ C$) ซึ่งเอื้อต่อการทำงานของกลุ่มเมทาโนเจน อย่างไรก็ตาม SRB บางชนิดสามารถเจริญได้ในช่วงอุณหภูมิที่แคบกว่า หากอุณหภูมิของระบบไม่สม่ำเสมอหรือแปรปรวน จุลินทรีย์กลุ่ม SRB อาจได้รับความได้เปรียบในการแข่งขัน ทำให้การผลิต H_2S เพิ่มขึ้น การรักษามอุณหภูมิให้คงที่ในช่วงที่เหมาะสมจึงเป็นแนวทางสำคัญที่ช่วยลดกิจกรรมของ SRB และเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิต CH_4 ในระบบ (Chen et al., 2008) ในส่วนองค์ประกอบของวัตถุดิบที่นำเข้าสู่ระบบหมักก็มีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เช่นกัน โดยเฉพาะอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 20–30:1 ซึ่งจะช่วยให้กระบวนการหมักเกิดขึ้นได้อย่างสมดุล หากวัตถุดิบที่ใช้มีปริมาณไนโตรเจนหรือซัลเฟตสูงเกินไป จะทำให้ SRB มีโอกาสในการเจริญเติบโตมากขึ้นและเพิ่มการผลิต H_2S วัตถุดิบที่มีคาร์บอนสูงและไนโตรเจนต่ำ เช่น กากน้ำตาล เศษผัก หรือฟางข้าว จึงเหมาะสำหรับการใช้งานในระบบหมัก เนื่องจากจะช่วยลดความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่ SRB ต้องการและส่งเสริมการทำงานของกลุ่มเมทาโนเจน ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ส่งผลให้ปริมาณ H_2S ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (Lee et al., 2014) จะเห็นได้ว่าการควบคุมการผลิต H_2S ในระบบหมักก๊าซชีวภาพสามารถดำเนินการได้ผ่านการจัดการสภาพแวดล้อมในระบบอย่างรอบด้าน ทั้งในเชิงเคมี ได้แก่ การควบคุมค่าพีเอช เชิงกายภาพ ได้แก่ การควบคุมอุณหภูมิ และเชิงชีวภาพ ได้แก่ การจัดสรรองค์ประกอบของวัตถุดิบที่เหมาะสม การดำเนินการควบคุมในทุกมิติอย่างสอดคล้องกัน จะช่วยลดความเสี่ยงในการเกิด H_2S เพิ่มคุณภาพของก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ ลดต้นทุนในการบำบัดสารพิษ และยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ในระบบหมักได้อย่างยั่งยืน ซึ่งหากมีการต่อยอดองค์ความรู้ด้านการควบคุม H_2S ร่วมกับการออกแบบระบบการหมักที่เหมาะสม ก็จะสามารถพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานชีวภาพให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในบริบทของพื้นที่เลี้ยงช้างของประเทศไทยต่อไป

สรุปผลการวิจัย

การผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลช้างโดยใช้ถังหมักแบบไร้อากาศ โดยการเติมกากน้ำตาลในระดับ 15% เป็นการเพิ่มแหล่งคาร์บอนที่เหมาะสม ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เมทาโนเจนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้ปริมาณ CH_4 เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้การเติมกากน้ำตาลที่ระดับร้อยละ 15 ยังช่วยลดปริมาณ H_2S ซึ่งเป็นสาเหตุของกลิ่นไม่พึงประสงค์และความเป็นพิษในระบบหมัก การศึกษาครั้งนี้จึงสามารถสรุปได้ว่าการใช้กากน้ำตาลในระดับร้อยละ 15 จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่เหมาะสมสำหรับการเพิ่มศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลช้างในระดับชุมชนและสถานประกอบการต่อไป

ข้อเสนอแนะ

ควรมีการทดลองเพิ่มเติมเพื่อทดสอบการเติมวัสดุเสริมอื่น ๆ เช่น วัสดุดูดซับ H_2S เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดปัญหากลิ่น ในระดับชุมชนหรือสถานประกอบการส่งเสริมให้ชุมชนในพื้นที่ที่มีการจัดตั้งระบบถังหมักชีวภาพอย่างเป็นระบบ และมีการจัดการมูลช้างอย่างยั่งยืน เพื่อสนับสนุนการวิจัยต่อยอดเพื่อพัฒนาโมเดลพลังงานชีวภาพในพื้นที่เลี้ยงช้างของประเทศต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏเลย โครงการการพัฒนาแหล่งเรียนรู้ชุมชนด้านการจัดการขยะเหลือทิ้งทางการเกษตรและต่อยอดการผลิตภัณฑ์ที่ได้จากนวัตกรรมในพื้นที่บ้านท่าดีหมี่ ตำบลปากตม อำเภอเชียงคาน จังหวัดเลย หมายเลขโครงการ 650205109 และขอบคุณสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม สาขาวิชาฟิสิกส์ และสาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ในการสนับสนุนงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- วงศ์วิวรรธ ธนศิลป์ และ สุนันทา เลาวัญศิริ. (2555) การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากก๊าซชีวภาพโดยใช้ถ่านกัมมันต์และเหล็ก. ใน: รายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 9. (หน้า 419 - 427). นครปฐม: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.
- Ahmad, W., Sethupathi, S., Kanadasan, G., Lau, L. C., and Kanthasamy, R. (2021). A review on the removal of hydrogen sulfide from biogas by adsorption using sorbents derived from waste. **Chemical Engineering**, 37(3), 407-431.
- Angelidaki, I., and Ahring, B. (1994). Anaerobic thermophilic digestion of manure at different ammonia loads: effect of temperature. **Water research**, 28(3), 727-731.
- Boonyuang, Y., and Nirunsin, R. (2023). **Development of biogas production from elephant dung by using anaerobical digestate as inoculum**. (Master's thesis). Maejo University, Thailand.
- Chen, Y., Cheng, J. J., and Creamer, K. S. (2008). Inhibition of anaerobic digestion process: a review. **Bioresource Technology**, 99(10), 4044-4064.
- Cruz, I. A., Chuenchart, W., Long, F., Surendra, K., Andrade, L. R. S., Bilal, M., . . . Ferreira, L. F. R. (2022). Application of machine learning in anaerobic digestion: Perspectives and challenges. **Bioresource Technology**, 345, 126433.
- De Vrieze, J. (2014). **Methanosaeta vs. Methanosarcina in anaerobic digestion: the quest for enhanced biogas production**. (Doctoral dissertation). Ghent University, Belgium.
- Freund, R., and Littell, R. (2000). **SAS system for regression** : John Wiley & Sons.
- Gunaseelan, V. N. (2004). Biochemical methane potential of fruits and vegetable solid waste feedstocks. **Biomass and bioenergy**, 26(4), 389-399.
- Kasantikul, B. (2022). Improvement Biogas Generating by the Fermenting Barrel for Biogas Production from Organic Waste for Household Use. **Engineering Access**, 8(1), 37-44.
- Katuwal, H., and Bohara, A. K. (2009). Biogas: A promising renewable technology and its impact on rural households in Nepal. **Renewable and sustainable energy reviews**, 13(9), 2668-2674.

- Larsen, T. A., Maurer, M., Eggen, R. I., Pronk, W., and Lienert, J. (2010). Decision support in urban water management based on generic scenarios: The example of NoMix technology. **Journal of environmental management**, 91(12), 2676-2687.
- Lee, J. K., Responde, D. J., Cissell, D. D., Hu, J. C., Nolta, J. A., and Athanasiou, K. A. (2014). Clinical translation of stem cells: insight for cartilage therapies. **Critical reviews in biotechnology**, 34(1), 89-100.
- Manokhoon, P., Boonyungyuen, W., and Rangseesuriyachai, T. (2023). Anaerobic Compost Production from Elephant Dung in Combination with Elephant Food Wastes and Fermented Slurry by Biogas recirculation. **Journal of Engineering and Innovation**, 16(2), 38-48.
- Pudi, A., Rezaei, M., Signorini, V., Andersson, M. P., Baschetti, M. G., and Mansouri, S. S. (2022). Hydrogen sulfide capture and removal technologies: A comprehensive review of recent developments and emerging trends. **Separation and Purification Technology**, 298, 121448.
- Romaniuk, W., Rogovskii, I., Polishchuk, V., Titova, L., Borek, K., Shvorov, S., . . . Didur, V. (2022). Study of technological process of fermentation of molasses vinasse in biogas plants. **Processes**, 10(10), 2011.
- Sawatdeenarunat, C., Charnnok, B., Nirunsin, R., Chaiprapat, S., and Chu, C.-Y. (2025). Simultaneous biomethane and hydrochar recovery from washed elephant dung: The effects of inoculum source, substrate to inoculum ratio, and hydrothermal temperature. **Carbon Resources Conversion**, 8(1), 100297.
- Sawatdeenarunat, C., Saipa, S., and Suaisom, P. (2023). Anaerobic digestion of elephant camp-derived wastes: methane potential, kinetic study, and biorefinery platform. **Biomass Conversion and Biorefinery**, 13(7), 6175-6184.
- Song, Y., Qiao, W., Zhang, J., and Dong, R. (2023). Process performance and functional microbial community in the anaerobic digestion of chicken manure: a review. **Energies**, 16(12), 4675.
- Sreekrishnan, T., Kohli, S., and Rana, V. (2004). Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques—a review. **Bioresource Technology**, 95(1), 1-10.
- Sukasem, N., and Prayoonkham, S. (2017). Biomethane recovery from fresh and dry water hyacinth anaerobic co-digestion with pig dung, elephant dung and bat dung with different alkali pretreatments. **Energy Procedia**, 138, 294-300.

การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อจัดการศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่น ตำบลบ้านแก่ง จังหวัดนครสวรรค์

Development of an Information Management System for Local Arts, Culture and Wisdom in Ban Kaeng Sub-District, Nakhon Sawan Province

วิรัช กาฬภักดี เยาวเรศ กาฬภักดี* จักรพันธ์ จันทร์เขียว และ มัจรี สุพรรณ

Wiruch Karapukdee Yaowares Karapakdee* Jakaphun Junkhiew and Matjaree Suphan

สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ธุรกิจ คณะบริหารและการจัดการ มหาวิทยาลัยเจ้าพระยา

จังหวัดนครสวรรค์ 60000

Program of Business Computer, Faculty of Administrator and Management,

Chaopraya University, Nakhon Sawan Province, 60000

*Corresponding author E-mail: yaowares.k@cpu.ac.th

Received 22 May 2025, Accepted 21 September 2025, Published 22 September 2025

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ 2 ประการคือ 1) เพื่อพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อจัดการศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่น ตำบลบ้านแก่ง จังหวัดนครสวรรค์ และ 2) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานระบบสารสนเทศเพื่อจัดการศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่น ตำบลบ้านแก่ง จังหวัดนครสวรรค์ กลุ่มตัวอย่าง คือ ผู้นำชุมชน และผู้นำท้องถิ่น ที่ใช้งานระบบสารสนเทศฯ จำนวน 30 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย 1) ระบบสารสนเทศเพื่อจัดการศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่น ตำบลบ้านแก่ง จังหวัดนครสวรรค์ 2) แบบประเมินประสิทธิภาพการใช้งานระบบสารสนเทศฯ สถิติที่ใช้ คือ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิจัยพบว่า 1) ระบบสารสนเทศเพื่อจัดการศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่น ตำบลบ้านแก่ง จังหวัดนครสวรรค์ สามารถบริหารจัดการข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่น สามารถค้นหาและแสดงข้อมูลศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่น ได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว โดยข้อมูลที่แสดงประกอบด้วย 3 รูปแบบ ได้แก่ ภาพถ่าย 2 มิติ วิดีโอ ไฟล์ PDF และแสดงตำแหน่งพิกัด เส้นทาง และแผนที่ศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่นออนไลน์ 2) ประสิทธิภาพการใช้งานระบบสารสนเทศเพื่อจัดการศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่น ตำบลบ้านแก่ง จังหวัดนครสวรรค์ 5 ด้าน ได้แก่ ด้านตรงตามความต้องการของผู้ใช้ระบบ ด้านการทำงานได้ตามหน้าที่ของระบบ ด้านความง่ายต่อการใช้งานระบบ ด้านประสิทธิภาพของระบบ และด้านการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลในระบบ เฉลี่ยอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x} = 4.74$, S.D. = 0.44)

คำสำคัญ: ระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ ศิลปวัฒนธรรม ภูมิปัญญาท้องถิ่น

ABSTRACT

The objectives of this study were: 1) to develop an information management system for local arts, culture, and wisdom in Ban Kaeng sub-district, Nakhon Sawan Province (MISLACWBK), and 2) to investigate the effectiveness of MISLACWBK. The sample group consisted of 30 community and local leaders who had used the MISLACWBK. The research instruments included: 1) MISLACWBK system and 2) a performance evaluation form for MISLACWBK. The statistical methods used for data analysis were mean and standard deviation.

The results were as follows. 1) MISLACWBK was capable of managing information on local arts, culture, and wisdom. It could search and display the information conveniently and quickly. The information was displayed in three formats: 2 D photos, videos, and PDF files. In addition, the system provided coordinates, routes and online maps of local arts, culture, and wisdom. 2) The effectiveness of MISLACWBK, assessed across five aspects, namely, functional requirements, functional accuracy, usability, system performance, and security, were rated at the highest average level ($\bar{x} = 4.74$, S.D. = 0.44).

Keywords: Management Information System, Art and Cultural, Local Wisdom

บทนำ

ศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่น เป็นรากฐานสำคัญของศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาของชาติ เพราะเป็นสิ่งที่แสดงถึงวิถีการดำเนินชีวิต ความคิด ความเชื่อ ค่านิยม จารีต ประเพณี พิธีกรรม และภูมิปัญญาของคนในชุมชน อันบ่งบอกถึงความเป็นอัตลักษณ์ ที่สะท้อนถึงวิถีชีวิตของชุมชน แต่ปัจจุบันศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่นหลายอย่างกำลังจะถูกกลืนหายไป เพราะไม่ได้รับการเอาใจใส่ในการสืบสานทำนุบำรุงให้เจริญงอกงามจากผู้ที่เป็นเจ้าของวัฒนธรรม ซึ่งสาเหตุดังกล่าวอาจเกิดจากปัจจัยหลายประการ เช่น การเปลี่ยนแปลงของค่านิยมตามยุคสมัย การเผยแพร่วัฒนธรรมข้ามชาติ เป็นต้น (งามนิจ, 2556) บ้านแก่งเป็นชุมชนเก่าแก่ของชาวไทยมอญ และไทดำ มีวิถีวัฒนธรรมประเพณีที่สืบทอดกันมาอย่างยาวนาน โดยชนชาวมอญที่ตั้งรกรากและอาศัยอยู่ที่บ้านมอญ หมู่ 1 ตำบลบ้านแก่ง อพยพมาจากย่านปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี และย่านสามโคก จังหวัดปทุมธานี ราว 200 ปีที่ผ่านมา เมื่อพบว่าดินเหนียวในตำบลบ้านแก่งเหมาะแก่การทำเครื่องปั้นดินเผา ชาวมอญซึ่งมีความชำนาญในการทำเครื่องปั้นดินเผายู่แล้วจึงหันมาประกอบอาชีพทำเครื่องปั้นดินเผา และมีการสืบทอดภูมิปัญญาและกรรมวิธีการผลิตที่เป็นอัตลักษณ์ของบ้านมอญสู่รุ่นลูกหลาน จนได้รับการขึ้นทะเบียนสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ เครื่องปั้นดินเผาบ้านมอญ (กรมทรัพย์สินทางปัญญา, 2561) ชุมชนไทดำบ้านวังหอยก เป็นชาวไทดำที่เดินทางมาจากจังหวัดเพชรบุรีโดยใช้เรือเป็นยานพาหนะ ได้ขึ้นจากเรือที่ท่าเรือจางตรงบริเวณต้นแม่น้ำเจ้าพระยา จากนั้นลงเรือเล็กเดินทางต่อไปยังอำเภอบ้านแก่ง จนกระทั่งมาตั้งชุมชนบ้านวังหอยก ตำบลบ้านแก่ง จึงปักหลักตั้งถิ่นฐานอยู่ประจำที่นี้จนถึงปัจจุบัน (ศูนย์ข้อมูลกลางทางวัฒนธรรม กระทรวงวัฒนธรรม, 2565) ปัจจุบันแม้วิถีชีวิตไทดำจะแตกต่างไปจากเดิม แต่วิถีวัฒนธรรมด้านภาษา ประเพณีวัฒนธรรม ยังคงเป็นมรดกของชุมชน เป็นแหล่งเรียนรู้ของหน่วยงานต่างๆ ทัวไป มีการตั้งกลุ่มอาชีพทอผ้าไทดำวังหอยก มีศูนย์วัฒนธรรมไทดำ หมู่ที่ 2 ตำบลบ้านแก่ง ให้ประชาชนทั่วไปและนักท่องเที่ยวมาเยี่ยมชมวิถีชีวิตและซื้อสินค้าที่สะท้อนอัตลักษณ์ไทดำ แต่อย่างไรก็ตาม ในส่วนของบริหารจัดการข้อมูลศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่นของตำบลบ้านแก่งนั้น มีการจัดเก็บข้อมูลไว้หลายที่แยกกัน และหลายรูปแบบ เช่น รูปแบบเอกสาร รูปไฟล์ดิจิทัล รวมถึงการจัดกระจายอยู่ในตัวบุคคล การเผยแพร่และการถ่ายทอดบางส่วนจะมีการจัดแสดงที่พิพิธภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาบ้านมอญ ศูนย์วัฒนธรรมไทดำบ้านวังหอยก บางส่วนเผยแพร่ผ่านโซเชียลมีเดีย และเว็บไซต์ของหน่วยงานต่าง ๆ

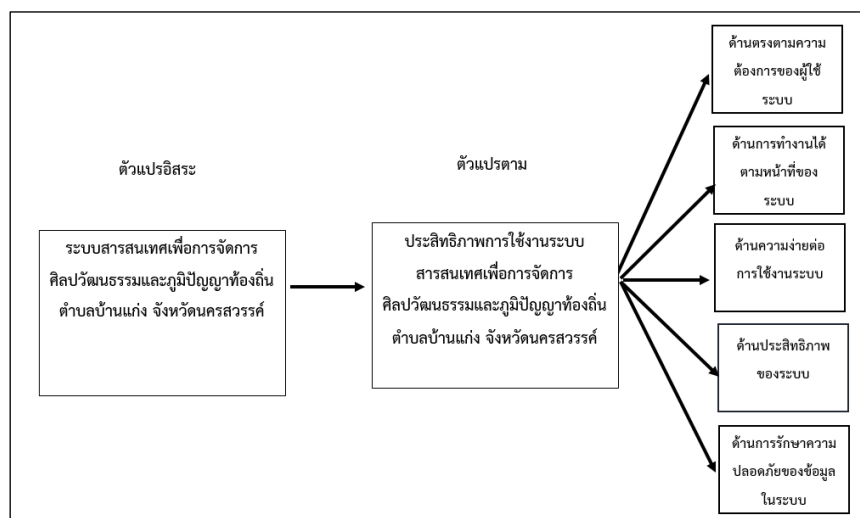
และการถ่ายทอดโดยบุคคล ซึ่งไม่มีระบบกลางในการบริหารจัดการทำให้มีความเสี่ยงหลายประการ เช่น ความขัดแย้งของข้อมูล การสูญหายของข้อมูล ปัญหาด้านความปลอดภัยของข้อมูล และปัญหาด้านการจัดการและความสม่ำเสมอของข้อมูล นอกจากนี้ยังมีผลต่อความเร็วและประสิทธิภาพในการเข้าถึงข้อมูล ซึ่งมีความสำคัญในการอนุรักษ์ สืบทอด และเผยแพร่ความรู้เกี่ยวกับวัฒนธรรมต่าง ๆ ของตำบลบ้านแก่ง

ปัจจุบันเทคโนโลยีสารสนเทศมีพัฒนาการที่เจริญก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว และเข้ามามีบทบาทและความสำคัญอย่างมากในการดำเนินงานของทั้งภาครัฐและเอกชน และยังมีแนวโน้มที่จะมีบทบาทสำคัญมากยิ่งขึ้นในอนาคต เพราะเป็นเครื่องมือในการจัดการสารสนเทศให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพนับตั้งแต่ การผลิต การจัดเก็บ การประมวลผล และการเรียกใช้สารสนเทศ การแลกเปลี่ยนและใช้ทรัพยากรสารสนเทศร่วมกันทำให้เกิดประโยชน์ร่วมกันอย่างเต็มที่ โดยเทคโนโลยีสารสนเทศเข้ามามีบทบาทในการทำกิจกรรมต่าง ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการปฏิบัติงาน สามารถจัดเก็บข้อมูลได้ปริมาณมาก สืบค้นข้อมูลได้ง่ายและรวดเร็ว ประหยัดเวลา สอดคล้องกับความเปลี่ยนแปลงของสังคมข้อมูลข่าวสาร (พิเชษฐ์ และปวีณา, 2563) ที่ผ่านมามีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศในหลายด้าน เช่น การศึกษา ธุรกิจ การแพทย์ และความบันเทิง เป็นต้น (มูห์หมัดสาเก็ร, 2567)

จากสภาพปัญหาและความสำคัญข้างต้น คณะผู้วิจัยได้เล็งเห็นความสำคัญของระบบสารสนเทศสำหรับนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการบริหารจัดการข้อมูลศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่น ตำบลบ้านแก่ง จังหวัดนครสวรรค์ อย่างเป็นระบบ ตั้งแต่การจัดเก็บข้อมูลการประมวลผลข้อมูล การเรียกใช้และเผยแพร่สารสนเทศในรูปแบบที่สอดคล้องกับสังคมข้อมูลข่าวสาร เพื่อเป็นการอนุรักษ์ และสืบสานศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่นของตำบลบ้านแก่งให้คงอยู่ และพัฒนาให้เกิดคุณค่าและมูลค่าในการพัฒนาเชิงพื้นที่โดยชุมชนสามารถนำมาเป็นทุนในการพัฒนาคุณภาพชีวิตได้อย่างยั่งยืนต่อไป

วิธีการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงประยุกต์ (Applied research) โดยการประยุกต์ใช้ความรู้และวิทยาการด้านการพัฒนาระบบสารสนเทศ ร่วมกับเทคโนโลยี Global Positioning System เพื่อพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่น ตำบลบ้านแก่ง จังหวัดนครสวรรค์ จากนั้นทำการประเมินประสิทธิภาพการใช้งานระบบสารสนเทศฯ โดยคณะผู้วิจัยได้กำหนดกรอบแนวคิดในการวิจัยดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงกรอบแนวคิดในการวิจัย

จากภาพที่ 1 ระบบสารสนเทศเพื่อจัดการศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่น ตำบลบ้านแก่ง จังหวัดนครสวรรค์ คณะผู้วิจัยได้พัฒนาตามวงจรการพัฒนาแบบ (System Development Life Cycle : SDLC) (ฐาปณี, 2562) และได้ทำการประเมินประสิทธิภาพการใช้งานระบบสารสนเทศ ตามหลักการโมเดลคุณภาพซอฟต์แวร์ ISO 25010 (Britton, 2021) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1.1 ประชากร คือ ผู้นำชุมชน ผู้นำท้องถิ่นของตำบลบ้านแก่ง อำเภอเมืองนครสวรรค์ จังหวัดนครสวรรค์ จำนวน 42 คน

1.2 กลุ่มตัวอย่าง คือ ผู้นำชุมชน ผู้นำท้องถิ่นของตำบลบ้านแก่ง อำเภอเมืองนครสวรรค์ จังหวัดนครสวรรค์ จำนวน 30 คน ซึ่งคณะผู้วิจัยใช้วิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) (สร้อยญา, 2565) โดยพิจารณาเลือกเฉพาะผู้นำชุมชน ผู้นำท้องถิ่น ที่เกี่ยวข้องกับศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่น ตำบลบ้านแก่ง และใช้งานระบบสารสนเทศฯ ซึ่งเพียงพอและเหมาะสมการศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานระบบสารสนเทศในครั้งนี้ เนื่องจากเน้นความเข้าใจเชิงลึกจากผู้ที่เกี่ยวข้องและใช้งานโดยตรง

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

2.1 ระบบสารสนเทศเพื่อจัดการศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่น ตำบลบ้านแก่ง จังหวัดนครสวรรค์

2.2 แบบประเมินประสิทธิภาพการใช้งานระบบสารสนเทศเพื่อจัดการศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่น ตำบลบ้านแก่ง จังหวัดนครสวรรค์ (ปาณิก, 2564) เป็นแบบสอบถามแบบมาตราส่วน 5 ระดับ ซึ่งตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือด้านความเที่ยงตรง โดยพิจารณาจากค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC: Index of Item Objective Congruence) จากผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน ได้ค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่าง 0.80 - 1.00 และวิเคราะห์หาค่าความเชื่อมั่น (Reliability) โดยใช้สูตรสัมประสิทธิ์แอลฟา (α -Coefficient) ได้ค่าความเชื่อมั่นโดยรวมเท่ากับ 0.95

3. การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อจัดการศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่น ตำบลบ้านแก่งจังหวัดนครสวรรค์

การพัฒนาระบบได้แบ่งออกเป็น 5 ระยะดังนี้

ระยะที่ 1 การวางแผนโครงการ (Project Planning)

จากการศึกษาข้อมูลศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่น รวมถึงการบริหารจัดการ คณะผู้วิจัยได้ทราบว่าบ้านแก่งเป็นชุมชนเก่าแก่ของชาวไทยมอญ และไทดำ มีวิถีวัฒนธรรมประเพณีที่สืบทอดกันมาอย่างยาวนาน เช่น การทำปิ่นดินเผาบ้านมอญ การทอผ้าทอไทดำ อาหารชาวมอญ อาหารชาวไทดำ ประเพณียกโตก ประเพณีสงกรานต์ชาวมอญ ประเพณีสืบสานวัฒนธรรมไทดำ และการแต่งกาย เป็นต้น ตำบลบ้านแก่งมีการจัดตั้งพิพิธภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาบ้านมอญ และศูนย์วัฒนธรรมไทดำบ้านวังหอยก เพื่อเป็นแหล่งอนุรักษ์ สืบทอด และเป็นแหล่งเรียนรู้ ในส่วนของบริหารจัดการข้อมูลศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่นนั้นจะมีการจัดเก็บไว้หลายที่แยกกัน และหลายรูปแบบ เช่น รูปแบบเอกสาร รูปไฟล์ดิจิทัล รวมถึงกระจัดกระจายอยู่ในตัวบุคคล การเผยแพร่และการถ่ายทอดบางส่วนจะมีการจัดแสดงที่พิพิธภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาบ้านมอญ ศูนย์วัฒนธรรมไทดำบ้านวังหอยก บางส่วนเผยแพร่ผ่านโซเชียลมีเดีย และเว็บไซต์ของหน่วยงานต่างๆ และการถ่ายทอดโดยบุคคล ซึ่งไม่มีระบบกลางในการบริหารจัดการ ต่อมาคณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ และกำหนดระยะเวลาในการพัฒนาระบบสารสนเทศ

ระยะที่ 2 การวิเคราะห์ (Analysis)

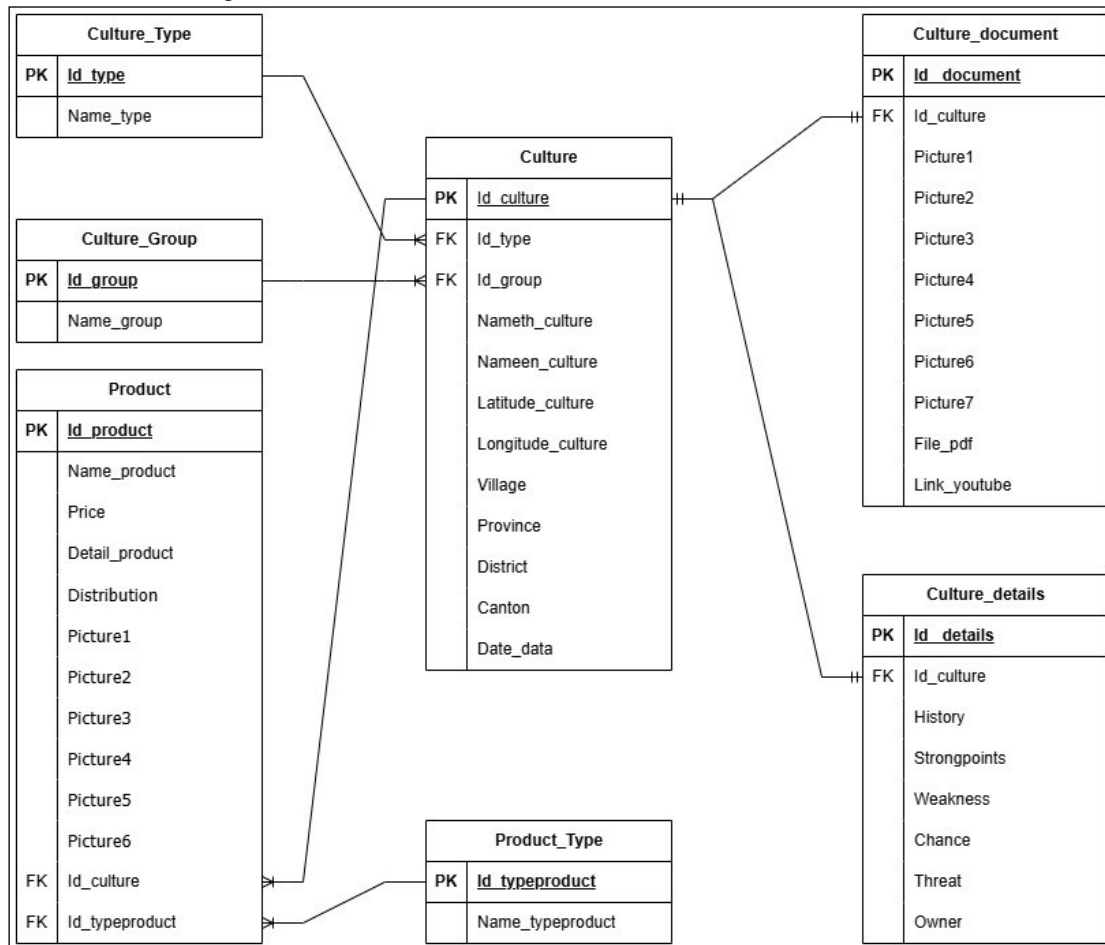
จากการประชุมร่วมกับ ผู้นำชุมชน และผู้นำท้องถิ่นของตำบลบ้านแก่ง จังหวัดนครสวรรค์ เพื่อศึกษาการบริหารจัดการข้อมูลศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่นในปัจจุบัน และรวบรวมความต้องการต่างๆ ของระบบสารสนเทศที่จะพัฒนา คณะผู้วิจัยได้นำข้อมูลดังกล่าวมาทำการวิเคราะห์ความต้องการของระบบสารสนเทศ และสร้างแบบจำลองเชิงตรรก โดยแสดงตาม Use Case Diagram และ E-R Diagram ดังภาพที่ 2 และ 3

Use Case Diagram



ภาพที่ 2 แสดง Use Case Diagram ของระบบสารสนเทศ

E-R Diagram



ภาพที่ 3 แสดง Use Case Diagram ของระบบสารสนเทศ

ระยะที่ 3 การออกแบบ (Design)

ได้นำแบบจำลองเชิงตรรกะมาพัฒนาเป็นแบบจำลองเชิงกายภาพเพื่อนำไปสู่ระบบงานจริง โดยทำการออกแบบสถาปัตยกรรมของระบบสารสนเทศแบบ Web Base Application Architecture ออกแบบพจนานุกรมข้อมูล ออกแบบเอนต์พุด ออกแบบอินพุต และออกแบบยูสเซอร์อินเตอร์เฟซ

ระยะที่ 4 การนำไปใช้ (Implementation)

ดำเนินการพัฒนาระบบสารสนเทศตามที่ได้ออกแบบไว้ โดยใช้ภาษา PHP เป็นหลักในการพัฒนา และใช้ MariaDB เป็นระบบจัดการฐานข้อมูล ดำเนินการทดสอบระบบสารสนเทศโดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน คือ การทดสอบแบบอัลฟา ซึ่งเป็นการทดสอบโดยทีมผู้พัฒนาระบบสารสนเทศ โดยการจำลองข้อมูลและสภาพแวดล้อมขึ้นมา จากนั้นได้ทำการทดสอบแบบเบต้า โดยได้ทำการติดตั้งระบบสารสนเทศบน Web Server ทำการฝึกอบรมผู้ใช้งานจริงซึ่งได้แก่ผู้นำชุมชน และผู้นำท้องถิ่น ตำบลบ้านแก่ง จังหวัดนครสวรรค์ ที่เกี่ยวข้อง จากนั้นได้ทดสอบการใช้งานระบบ โดยผู้ใช้งานจริงภายใต้สภาพแวดล้อมจริง และใช้ข้อมูลจริงในการทดสอบ

ระยะที่ 5 การบำรุงรักษา (Maintenance)

ดำเนินการปรับแก้ระบบสารสนเทศตามข้อเสนอแนะของผู้ใช้งาน เพื่อให้ระบบมีความสมบูรณ์และตรงตามความต้องการของผู้ใช้งาน

4. การประเมินประสิทธิภาพการใช้งานระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่น ตำบลบ้านแก่ง จังหวัดนครสวรรค์

ดำเนินการประเมินประสิทธิภาพการใช้งานระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่น ตำบลบ้านแก่ง จังหวัดนครสวรรค์ จากผู้ใช้งาน โดยใช้ “แบบสอบถาม” ซึ่งประกอบด้วย 3 ตอนได้แก่

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ประเมิน ประกอบด้วย เพศ อายุ ระดับการศึกษา

ตอนที่ 2 ความเห็นของผู้ประเมินต่อประสิทธิภาพระบบสารสนเทศซึ่งประกอบไปด้วย 5 ด้านได้แก่

- ด้านตรงตามความต้องการของผู้ใช้ระบบ (Functional Requirement Test)
- ด้านการทำงานได้ตามหน้าที่ของระบบ (Functional Test)
- ด้านความง่ายต่อการใช้งานระบบ (Usability Test)
- ด้านประสิทธิภาพของระบบ (Performance Test)
- ด้านการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลในระบบ (Security Test)

ตอนที่ 3 เป็นข้อเสนอแนะอื่นๆ เพื่อการพัฒนาปรับปรุงระบบสารสนเทศ ให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

คณะผู้วิจัยได้นำโปรแกรมประมวลผลทางสถิติมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ประกอบด้วย การหาค่าความถี่ (Frequency) ร้อยละ (Percent) ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) (วรารวรรณ, 2564)

ค่าเฉลี่ย	4.51 – 5.00	หมายถึง	ระดับความคิดเห็นมากที่สุด
ค่าเฉลี่ย	3.51 – 4.50	หมายถึง	ระดับความคิดเห็นมาก
ค่าเฉลี่ย	2.51 – 3.50	หมายถึง	ระดับความคิดเห็นปานกลาง
ค่าเฉลี่ย	1.51 – 2.50	หมายถึง	ระดับความคิดเห็นน้อย
ค่าเฉลี่ย	1.00 – 1.50	หมายถึง	ระดับความคิดเห็นน้อยที่สุด

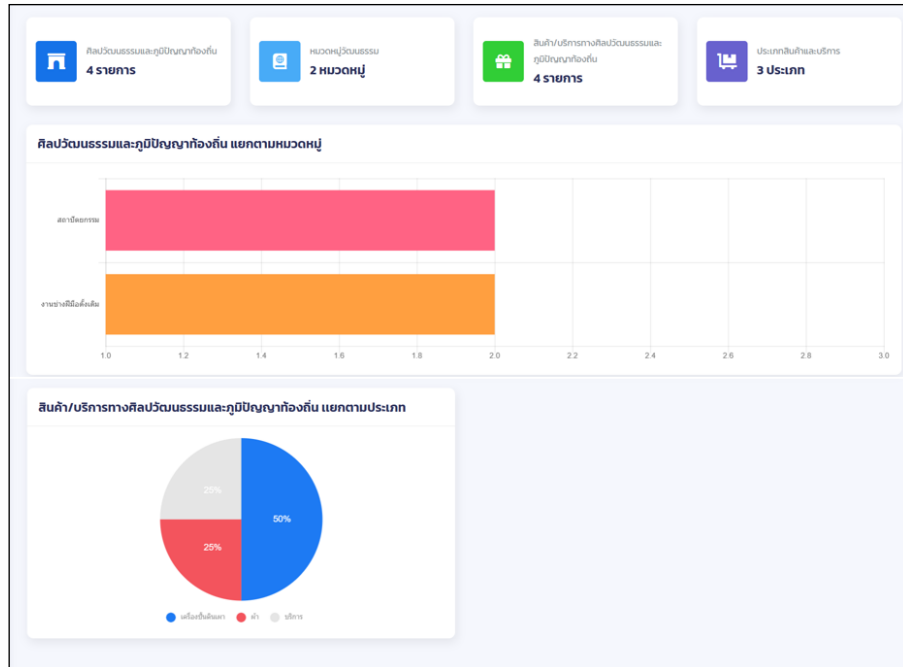
ผลการวิจัย และวิจารณ์ผลการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ สามารถสรุปผลตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ผลการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อจัดการศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่น ตำบลบ้านแก่ง จังหวัดนครสวรรค์

ระบบสารสนเทศเพื่อจัดการศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่น ตำบลบ้านแก่ง จังหวัดนครสวรรค์ ประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ 1) ส่วนของผู้ดูแลระบบ สามารถบริหารจัดการข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่น ซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลประเภทวัฒนธรรม ข้อมูลหมวดหมู่วัฒนธรรม ข้อมูลศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่น ข้อมูลประเภทสินค้าและบริการทางศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่น ข้อมูลสินค้าและบริการทางศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่น และสามารถดูสรุปข้อมูลแบบ Executive (Dashboard) ได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว 2) ส่วนของผู้ใช้งานทั่วไป สามารถค้นหาและดูข้อมูลศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่น และข้อมูลสินค้าและบริการทางศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่น ได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว โดยข้อมูลศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่นที่แสดงจะประกอบไปด้วย 3 รูปแบบ ได้แก่ ภาพถ่าย 2 มิติ วีดีโอ ไฟล์ PDF และแสดงตำแหน่งพิกัด เส้นทาง และแผนที่ออนไลน์ของศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่นบน Longdo Map Solutions ซึ่งระบบสารสนเทศนี้สามารถนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการบริหารจัดการและเผยแพร่ ศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่น ตำบลบ้านแก่ง จังหวัดนครสวรรค์ ได้อย่างสะดวก รวดเร็ว โดยผู้ใช้งานสามารถใช้งานระบบสารสนเทศผ่านอุปกรณ์ได้หลากหลาย ที่สามารถเชื่อมต่อสัญญาณอินเทอร์เน็ตได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของลักษณะที่ (2559) ที่ได้ทำการศึกษาวิจัยเรื่อง ระบบฐานข้อมูลสารสนเทศมรดกภูมิปัญญาวัฒนธรรมท้องถิ่น จังหวัดสุพรรณบุรี โดยระบบฐานข้อมูลสารสนเทศฯ สามารถประชาสัมพันธ์และเผยแพร่ศิลปวัฒนธรรมวิถีชีวิตขนบธรรมเนียมประเพณีท้องถิ่น จังหวัดสุพรรณบุรี โดยระบบสามารถจัดการองค์ความรู้ให้อยู่ในรูปแบบ

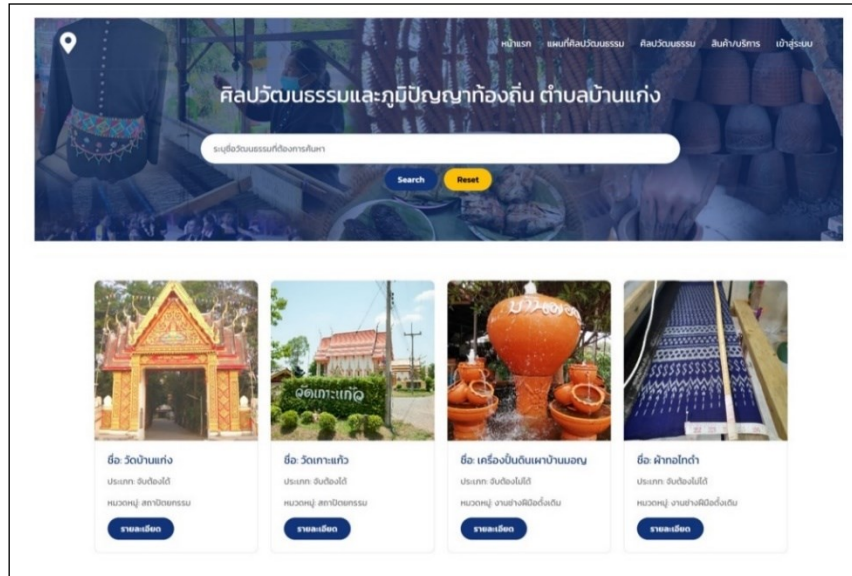
อิเล็กทรอนิกส์ และถ่ายทอดชิ้นงานบนเครือข่ายจัดทำคลังความรู้ให้แก่พิพิธภัณฑ์สถานแห่งชาติจังหวัดสุพรรณบุรี และก่อให้เกิดความสะดวก รวดเร็วและลดทรัพยากรในการจัดเก็บข้อมูลองค์ความรู้และภูมิปัญญาท้องถิ่นจังหวัดสุพรรณบุรี ตัวอย่างระบบสารสนเทศ ดังภาพที่ 4 - 9



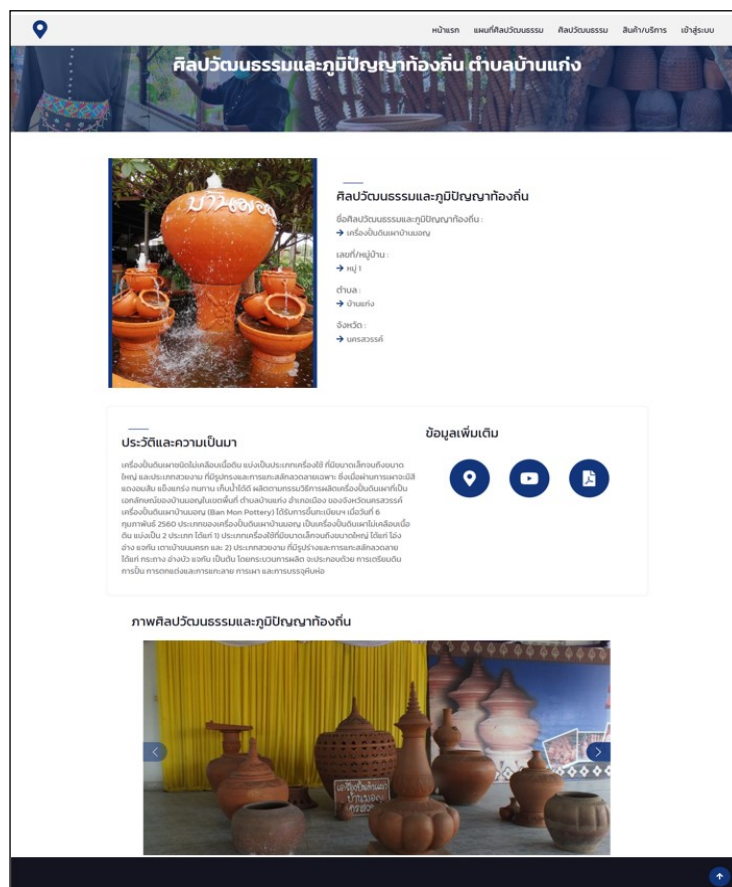
ภาพที่ 4 แสดงหน้าจอ Dashboard



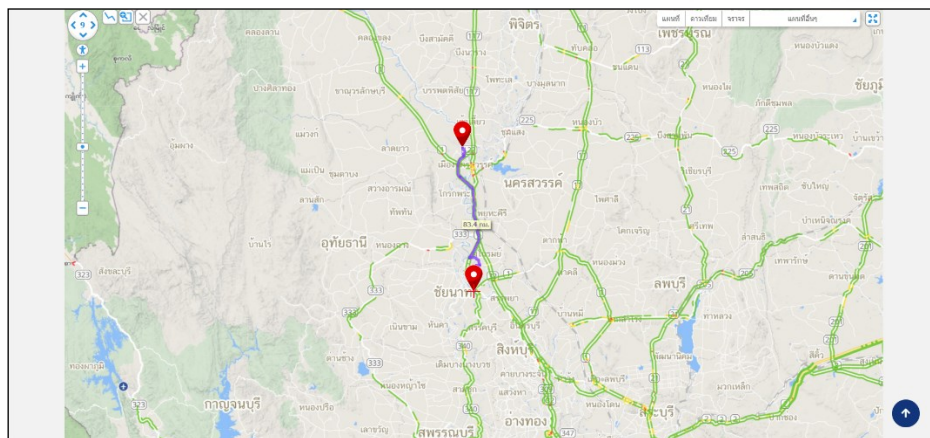
ภาพที่ 5 แสดงหน้าจอแผนที่ศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่น



ภาพที่ 6 แสดงหน้าจอค้นหาศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่น



ภาพที่ 7 แสดงหน้าจอรายละเอียดศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่น



ภาพที่ 8 แสดงหน้าจอเส้นทางศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่น



ภาพที่ 9 แสดงหน้าจอวีดีโอศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่น

2. ผลการประเมินประสิทธิภาพการใช้งานระบบสารสนเทศเพื่อจัดการศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่น ตำบลบ้านแก่ง จังหวัดนครสวรรค์

คณะผู้วิจัยได้ทำการประเมินประสิทธิภาพการใช้งานระบบสารสนเทศเพื่อจัดการศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่น ตำบลบ้านแก่ง จังหวัดนครสวรรค์ โดยผู้ใช้งานซึ่งได้แก่ผู้นำชุมชน ผู้นำท้องถิ่น ตำบลบ้านแก่ง จังหวัดนครสวรรค์ ประกอบด้วย รองนายกองค์การบริหารส่วนตำบลบ้านแก่ง สมาชิกองค์การบริหารส่วนตำบลบ้านแก่ง ผู้ใหญ่บ้าน คณะกรรมการและเลขานุการกลุ่มเครื่องปั้นดินเผาบ้านมอญ นครสวรรค์ และผู้ช่วยนักพัฒนาการท่องเที่ยว องค์การบริหารส่วนตำบล บ้านแก่ง จำนวน 30 คน ผลการประเมินประสิทธิภาพตามตารางที่ 1 – 5

ตารางที่ 1 ระดับความคิดเห็นของผู้ใช้งานที่มีต่อประสิทธิภาพการใช้งานระบบสารสนเทศเพื่อจัดการศิลปวัฒนธรรมและ
ภูมิปัญญาท้องถิ่น ตำบลบ้านแก่ง จังหวัดนครสวรรค์ ด้านตรงตามความต้องการของผู้ใช้ระบบ (Functional Requirement
Test)

รายการประเมิน	ผลการประเมิน		ความหมาย
	$\bar{x}$	S.D.	
ความสามารถของระบบในการเพิ่มข้อมูล	4.53	0.68	มากที่สุด
ความสามารถของระบบในการปรับปรุงข้อมูล	4.70	0.47	มากที่สุด
ความสามารถของระบบในการประมวลผลข้อมูล	4.60	0.50	มากที่สุด
ความสามารถของระบบในการค้นหาข้อมูล	4.80	0.41	มากที่สุด
ความสามารถของระบบในการนำเสนอข้อมูล	4.60	0.50	มากที่สุด
ความสามารถของระบบในการออกรายงาน	4.53	0.51	มากที่สุด
เฉลี่ย	4.63	0.51	มากที่สุด

ตารางที่ 2 ระดับความคิดเห็นของผู้ใช้งานที่มีต่อประสิทธิภาพการใช้งานระบบสารสนเทศเพื่อจัดการศิลปวัฒนธรรมและ
ภูมิปัญญาท้องถิ่น ตำบลบ้านแก่ง จังหวัดนครสวรรค์ ด้านการทำงานได้ตามหน้าที่ของระบบ (Functional Test)

รายการประเมิน	ผลการประเมิน		ความหมาย
	$\bar{x}$	S.D.	
ความถูกต้องในการเพิ่มข้อมูล	4.90	0.30	มากที่สุด
ความถูกต้องในการปรับปรุงข้อมูล	4.73	0.45	มากที่สุด
ความถูกต้องในการประมวลผลข้อมูล	4.80	0.41	มากที่สุด
ความถูกต้องในการค้นหาข้อมูล	4.80	0.41	มากที่สุด
ความถูกต้องในการนำเสนอข้อมูล	4.70	0.47	มากที่สุด
ความถูกต้องในการออกรายงาน	4.50	0.51	มากที่สุด
เฉลี่ย	4.74	0.42	มากที่สุด

ตารางที่ 3 ระดับความคิดเห็นของผู้ใช้งานที่มีต่อประสิทธิภาพการใช้งานระบบสารสนเทศเพื่อจัดการศิลปวัฒนธรรมและ
ภูมิปัญญาท้องถิ่น ตำบลบ้านแก่ง จังหวัดนครสวรรค์ ด้านความง่ายต่อการใช้งานระบบ (Usability Test)

รายการประเมิน	ผลการประเมิน		ความหมาย
	$\bar{x}$	S.D.	
ความง่ายในการใช้งานระบบ	4.80	0.41	มากที่สุด
ความเหมาะสมในการออกแบบหน้าจอโดยภาพรวมเพียง	4.73	0.45	มากที่สุด
ความเหมาะสมของการใช้สีบนหน้าจอโดยภาพรวม	4.60	0.67	มากที่สุด
ความเหมาะสมของตัวอักษรที่แสดงบนหน้าจอ	4.80	0.41	มากที่สุด
ความเหมาะสมในการใช้ข้อความเพื่ออธิบายสื่อความหมาย	4.90	0.30	มากที่สุด
ความเหมาะสมในการใช้สัญลักษณ์หรือรูปภาพในการสื่อความหมาย	4.80	0.41	มากที่สุด
เฉลี่ย	4.77	0.44	มากที่สุด

ตารางที่ 4 ระดับความคิดเห็นของผู้ใช้งานที่มีต่อประสิทธิภาพการใช้งานระบบสารสนเทศเพื่อจัดการศิลปวัฒนธรรมและ
ภูมิปัญญาท้องถิ่น ตำบลบ้านแก่ง จังหวัดนครสวรรค์ ด้านประสิทธิภาพของระบบ (Performance Test)

รายการประเมิน	ผลการประเมิน		ความหมาย
	$\bar{x}$	S.D.	
ความเร็วในการเพิ่มข้อมูล	4.70	0.47	มากที่สุด
ความเร็วในการปรับปรุงข้อมูล	4.53	0.52	มากที่สุด
ความเร็วในการประมวลผลข้อมูล	4.60	0.67	มากที่สุด
ความเร็วในการค้นหาข้อมูล	4.80	0.40	มากที่สุด
ความเร็วในการนำเสนอข้อมูล	4.80	0.40	มากที่สุด
ความเร็วในการออกรายงาน	4.80	0.40	มากที่สุด
เฉลี่ย	4.70	0.48	มากที่สุด

ตารางที่ 5 ระดับความคิดเห็นของผู้ใช้งานที่มีต่อประสิทธิภาพการใช้งานระบบสารสนเทศเพื่อจัดการศิลปวัฒนธรรมและ
ภูมิปัญญาท้องถิ่น ตำบลบ้านแก่ง จังหวัดนครสวรรค์ ด้านการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลในระบบ (Security Test)

รายการประเมิน	ผลการประเมิน		ความหมาย
	$\bar{x}$	S.D.	
การตรวจสอบสิทธิ์ของผู้ใช้ก่อนเข้าใช้งานระบบ	4.90	0.30	มากที่สุด
การกำหนดสิทธิ์การใช้งานระบบของผู้ใช้งานแต่ละระดับ	4.80	0.41	มากที่สุด
เฉลี่ย	4.85	0.35	มากที่สุด

จากตารางที่ 1-5 แสดงผลการประเมินประสิทธิภาพการใช้งานระบบสารสนเทศเพื่อจัดการศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่น ตำบลบ้านแก่ง จังหวัดนครสวรรค์ 5 ด้าน ได้แก่ ด้านตรงตามความต้องการของผู้ใช้ระบบ ด้านการทำงาน ได้ตามหน้าที่ของระบบ ด้านความง่ายต่อการใช้งานระบบ ด้านประสิทธิภาพของระบบ และด้านการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลในระบบ โดยรวมเฉลี่ยอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x} = 4.74$, S.D. = 0.44) ทั้งนี้เนื่องจากได้ดำเนินการพัฒนาระบบสารสนเทศตามวงจรการพัฒนาระบบ (SDLC) โดยมีการดำเนินการ 5 ขั้นตอน ได้แก่การวางแผน การวิเคราะห์ การออกแบบ การทำไปใช้ และการบำรุงรักษา สอดคล้องกับผลการวิจัยของกุลภัส และสุทธิกร (2566) ที่ได้พัฒนาระบบสารสนเทศประวัติศาสตร์ ศิลปะ วัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่นของกลุ่มชาติพันธุ์ในจังหวัดนครสวรรค์ ซึ่งผลการหาประสิทธิภาพของระบบสารสนเทศฯ ทั้ง 3 ด้าน ประกอบด้วยด้านการตรงตามความต้องการของผู้ใช้ระบบ ด้านการทำงานได้ตามฟังก์ชันของระบบ และด้านความง่ายต่อการใช้งานระบบ โดยรวมเฉลี่ยอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x} = 4.81$) สอดคล้องกับผลวิจัยของนนทนันท์ (2564) ที่ได้พัฒนาระบบฐานข้อมูลวัฒนธรรมท้องถิ่น ในเขตจังหวัดนนทบุรี โดยผลการประเมินระบบ 5 ด้าน ประกอบด้วย ด้านความสามารถในการทำงานตามความต้องการของผู้ใช้ ด้านการทำงานได้ตามฟังก์ชันงานของระบบ ด้านประสิทธิภาพของระบบ ด้านความง่ายต่อการใช้งานระบบ และด้านความปลอดภัยในการใช้ระบบ โดยรวมเฉลี่ยอยู่ในระดับดีมาก ($\bar{x} = 4.68$) และสอดคล้องกับผลวิจัยของณัฐคมณ์ (2563) ที่ได้พัฒนาระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์สนับสนุนการทำนุบำรุง ศิลปวัฒนธรรมย่านฝั่งธนบุรี โดยผลการหาประสิทธิภาพของระบบสารสนเทศฯ ทั้ง 5 ด้าน ประกอบด้วยด้านการทำงานได้ตามฟังก์ชันงานของระบบ ด้านการตรงตามความต้องการของผู้ใช้ระบบ ด้านการรักษาความปลอดภัยของข้อมูล ด้านความง่ายต่อการใช้งานระบบ และด้านประสิทธิภาพการใช้งานระบบ โดยรวมเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก ($\bar{x} = 4.01$)

เมื่อพิจารณาผลการประเมินประสิทธิภาพการใช้งานเป็นรายด้าน พบว่า ด้านการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลในระบบ (Security Test) มีผลการประเมินประสิทธิภาพการใช้งานมากที่สุด ผลการประเมินเฉลี่ยอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x} = 4.85$, S.D. = 0.35) ทั้งนี้เนื่องจากระบบสารสนเทศมีการกำหนดสิทธิ์การใช้งานระบบสารสนเทศของผู้ใช้เป็น 2 ระดับ คือผู้ใช้งานทั่วไป และผู้ดูแลระบบ ซึ่งผู้ใช้แต่ละระดับจะสามารถเข้าถึงข้อมูลในฐานข้อมูลได้ตามสิทธิ์ที่กำหนดผ่าน User Interface เท่านั้น โดยระบบสารสนเทศจะตรวจสอบสิทธิ์ของผู้ใช้งานก่อนเข้าจัดการข้อมูลในฐานข้อมูล และมีการเข้ารหัสข้อมูลรหัสผ่านของผู้ใช้งานในฐานข้อมูล และด้านที่มีผลการประเมินประสิทธิภาพน้อยที่สุดคือ ด้านตรงตามความต้องการของผู้ใช้ระบบ (Functional Requirement Test) ($\bar{x} = 4.63$, S.D. = 0.51) ทั้งนี้เนื่องจากในการเพิ่มข้อมูลในระบบสารสนเทศจะต้องกรอกข้อมูลที่เกี่ยวข้องต่างๆ จำนวนมากซึ่งต้องใช้เวลานาน และการออกรายงานส่วนใหญ่จะเป็นการรายงานทางจอภาพ ทำให้ไม่สะดวกเมื่อผู้ใช้ต้องการพิมพ์รายงานทางเครื่องพิมพ์

สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อจัดการศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่น ตำบลบ้านแก่ง จังหวัดนครสวรรค์ ประสบความสำเร็จตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ โดยระบบสารสนเทศสามารถบริหารจัดการข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่น ซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลประเภทวัฒนธรรม ข้อมูลหมวดหมู่วัฒนธรรม ข้อมูลศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่น ข้อมูลประเภทสินค้าและบริการทางศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่น ข้อมูลสินค้าและบริการทางศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่น และสามารถเผยแพร่ข้อมูลศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่น และข้อมูลสินค้าและบริการทางศิลปวัฒนธรรมและวัฒนธรรมท้องถิ่น ได้อย่างสะดวกและรวดเร็วในรูปแบบออนไลน์ โดยข้อมูลที่เผยแพร่จะประกอบไปด้วย 3 รูปแบบ ได้แก่ ภาพถ่าย 2 มิติ วิดีโอ ไฟล์ PDF นอกจากนี้ยังแสดงตำแหน่งพิกัดเส้นทาง และแผนที่ออนไลน์ของศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่นบน Longdo Map Solutions และสามารถนำข้อมูลที่สำคัญมาสรุปให้เห็นภาพในหน้าเดียว (Dashboard) โดยผู้ใช้งานสามารถใช้ระบบสารสนเทศผ่านอุปกรณ์ได้หลากหลายที่สามารถเชื่อมต่อสัญญาณอินเทอร์เน็ตได้ และเนื่องจากระบบสารสนเทศเพื่อจัดการศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่น ตำบลบ้านแก่ง จังหวัดนครสวรรค์ มีการใช้ Longdo Map API แบบไม่เสียค่าบริการ ในการแสดงพิกัดที่ตั้ง การแสดงเส้นทาง และแผนที่ศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่น จึงสามารถให้บริการ Map Transactions ได้ไม่เกิน 800,000 /เดือน Service Transactions ไม่เกิน 100,000 /เดือน และ Limit 5,000 Requests/วัน

ผลการประเมินประสิทธิภาพการใช้งานระบบสารสนเทศเพื่อจัดการศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่น ตำบลบ้านแก่ง จังหวัดนครสวรรค์ โดยผู้ใช้งานระบบดังกล่าว ได้แก่ผู้นำชุมชน ผู้นำท้องถิ่น ตำบลบ้านแก่ง จังหวัดนครสวรรค์ ประกอบด้วย รองนายกองค์การบริหารส่วนตำบลบ้านแก่ง สมาชิกองค์การบริหารส่วนตำบลบ้านแก่ง ผู้ใหญ่บ้าน คณะกรรมการและเลขานุการกลุ่มเครื่องปั้นดินเผาบ้านมอญ นครสวรรค์ และผู้ช่วยนักพัฒนาการท่องเที่ยวองค์การบริหารส่วนตำบลบ้านแก่ง จำนวน 30 คน อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x} = 4.74$, S.D. = 0.44) แสดงให้เห็นว่าระบบสารสนเทศเพื่อจัดการศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่น ตำบลบ้านแก่ง จังหวัดนครสวรรค์ ที่พัฒนาขึ้นตอบสนองตามความต้องการของผู้ใช้งานและสามารถนำมาใช้ในการจัดการศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่น ตำบลบ้านแก่ง จังหวัดนครสวรรค์ ได้เป็นอย่างดี

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

ระบบสารสนเทศเพื่อจัดการศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่น ตำบลบ้านแก่ง จังหวัดนครสวรรค์ มีการใช้ Longdo Map API แบบไม่เสียค่าบริการ ซึ่งสามารถใช้บริการ Map Transactions < 800,000 /เดือน Service Transactions < 100,000 /เดือน และ Limit 5,000 Requests/วัน หากหน่วยงานที่นำระบบสารสนเทศไปใช้ต้องการบริการที่มากกว่านี้แนะนำให้ใช้ Longdo Map API แบบเสียค่าบริการ

2. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

2.1 ควรพัฒนาระบบให้สามารถป้อนข้อมูลเข้าสู่ระบบ โดยการพูดแทนการพิมพ์เพื่ออำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้งานในการกรอกข้อมูล

2.2 ควรพัฒนาระบบให้ผู้ใช้สามารถออกรายงานข้อมูลได้ตามสิทธิ์การเข้าถึงข้อมูลทั้งรูปแบบรายงานทางจอภาพ และรายงานทางเครื่องพิมพ์เพื่อให้ผู้ใช้เลือกใช้ตามต้องการ

2.3 ควรพัฒนาระบบให้สามารถนำข้อมูลและสารสนเทศในฐานข้อมูลมาใช้ในการส่งเสริมการท่องเที่ยวของตำบลบ้านแก่ง จังหวัดนครสวรรค์ เช่น แสดงเส้นทางท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมบ้านแก่ง เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยเจ้าพระยา ที่ได้สนับสนุนด้านทุนวิจัยในครั้งนี้ รวมทั้งขอขอบพระคุณพิพิธภัณฑเครื่องปั้นดินเผาบ้านมอญ ศูนย์วัฒนธรรมไทดำบ้านวังหยา จังหวัดนครสวรรค์ ผู้นำชุมชน และผู้นำท้องถิ่นในตำบลบ้านแก่ง จังหวัดนครสวรรค์ ที่ให้ความอนุเคราะห์และข้อมูลที่สำคัญในการดำเนินงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- กุลกรภัส เทียมทิพร และสุทธิกร แก้วทอง. (2566). การพัฒนาระบบสารสนเทศประวัติศาสตร์ ศิลปะ วัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่นของกลุ่มชาติพันธุ์ในจังหวัดนครสวรรค์. วารสารวิชาการเครือข่ายบัณฑิตศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏภาคเหนือ, 13(1), 69-81.
- กรมทรัพย์สินทางปัญญา. (2561). สิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์. ค้นจาก <https://www.ipthailand.go.th/th/gi-011/item/gi61100114.html>
- งามนิจ กุลกัน. (2556). การจัดการองค์ความรู้ทางวัฒนธรรมท้องถิ่นของตำบลอ้อมเกร็ด อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี. วารสารกระแสนวัฒนธรรม, 14(25), 18-30.
- ฐาปนีเพ็งสุข. (2562). วิเคราะห์และออกแบบระบบสารสนเทศเพื่องานธุรกิจ. ค้นจาก https://ms.udru.ac.th/dbms/assets/images/doc/6-8-64_SA_ookbee.pdf

- ณัฐคมณ์ ไพศาลวิสัยศ. (2563). การพัฒนาระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์สนับสนุนการทำงานบำรุง ศิลปวัฒนธรรมย่านฝั่งธนบุรี. วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี, 14(2), 168-181.
- นนทนันท์ แยม่วงษ์. (2564). การพัฒนาระบบฐานข้อมูลวัฒนธรรมท้องถิ่น ในเขตจังหวัดนนทบุรี. วารสารวิชาการมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์, 29(2), 49-75.
- ปาณิก เสนาฤทธิไกร. (2564). Reliability Cronbach Alpha. ค้นจาก <https://www.perforce.com/blog/qac/what-is-iso-25010#iso>
- พิเชษฐ์ สิงห์เดช และปวีณา นัยนิตย์. (2563). ระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการงานด้านทำนุบำรุงศิลปะและวัฒนธรรม มหาวิทยาลัยนเรศวร. ค้นจาก <https://nuir.lib.nu.ac.th/dspace/bitstream/123456789/4985/1/PhichetSinghadet.pdf>
- มุหัมมัดสาเก็ เร้าละเลบา. (2567). การใช้เทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อการพัฒนาองค์กรสู่ความเป็นเลิศในยุคดิจิทัล. วารสารอินทนิลบริหารศาสตร์, 1(1), 97-112.
- ลักษณะันท์ พลอยวัฒนาวศ. (2559). ระบบฐานข้อมูลสารสนเทศมรดกภูมิปัญญาวัฒนธรรมท้องถิ่น จังหวัดสุพรรณบุรี. ค้นจาก <https://research.rmutsb.ac.th/fullpaper/2559/2559240605127.pdf>
- วรารรรณ วงษ์บุตร. (2564). สถิติพื้นฐานสำหรับงานวิจัย. ค้นจาก https://nih.dmsc.moph.go.th/data/data/64/activity/10_8_64/WW_v1.pdf
- ศุูนย์ ข้อมูลกลางทางวัฒนธรรม กระทรวงวัฒนธรรม. (2565). ผ้าทอไทดำบ้านวังหอยวก. ค้นจาก <http://m-culture.in.th/album/view/197433/>
- สรินญา ศาลางาม. (2565). การประยุกต์ใช้วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัดและวิธีเชิงพันธุกรรมเพื่อแก้ปัญหาการหาเส้นทาง การขนส่ง กรณีศึกษา บริษัทขนส่งน้ำแข็งแห่งหนึ่งในจังหวัดร้อยเอ็ด. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 42(2), 58-64.
- Britton, J. (2021). What Is ISO 25010. Retrieved from <https://www.perforce.com/blog/qac/what-is-iso-25010#iso>

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียมในการจำแนกโรคใบข้าว A Comparative Study of the Performance of CNN-Based Models for Rice Leaf Disease Classification

สกรณ บุษบง¹ และ แพรตะวัน จารุตัน^{2*}

Zagon Bussabong¹ and Praetawan Jarutan^{2*}

¹สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ จังหวัดบุรีรัมย์ 31000

¹Program of Computer Science, Faculty of Science, Buriram Rajabhat University,
Buriram Province, 31000

²สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร จังหวัดสกลนคร 47000

²Program of Computer, Faculty of Science and Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University,
Sakon Nakhon Province, 47000

Corresponding author Email: praetawan9925@snru.ac.th*

Received 30 May 2025, Accepted 2 October 2025, Published 7 October 2025

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาโมเดลและเปรียบเทียบประสิทธิภาพโครงข่ายประสาทเทียมในการจำแนกโรคใบข้าวแบบไม่มีการเสริมข้อมูล และ 2) พัฒนาโมเดลและเปรียบเทียบประสิทธิภาพโครงข่ายประสาทเทียมในการจำแนกโรคใบข้าวแบบมีการเสริมข้อมูล จากชุดข้อมูล RiceLeafBD Datasets ประกอบด้วยภาพทั้งหมด จำนวน 1,555 ภาพ แบ่งเป็น 4 ประเภทโรค ได้แก่ โรคใบไหม้จากแบคทีเรีย โรคใบไหม้จากเชื้อรา โรคใบจุดสีน้ำตาล และโรคไวรัสทั้งโครซึ่งเป็นชุดข้อมูลออนไลน์สาธารณะในแพลตฟอร์ม Kaggle Dataset ทดลองด้วย 3 โครงข่ายประสาทเทียม ได้แก่ 1) InceptionNet-V2 2) MobileNet-V2 และ 3) EfficientNet-V2 ที่มีการปรับปรุงด้วยการเพิ่มองค์ประกอบอย่าง Squeeze-and-Excitation (SE) blocks เพื่อเรียนรู้ความสำคัญของแต่ละ Channel ให้ดีขึ้น โดยทั้ง 3 โครงข่ายได้ทดลองกับทั้ง 2 ชุดข้อมูล คือ ชุดข้อมูลพื้นฐานและชุดข้อมูลที่มีการเสริมข้อมูล ซึ่งการทดลอง Train และ Test โมเดลจำนวน 20 epoch และ 50 epoch สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลได้แก่ Accuracy Precision Recall และ F1-score

ผลการพัฒนาโมเดลและเปรียบเทียบประสิทธิภาพโครงข่ายประสาทเทียมในการจำแนกโรคใบข้าวทั้งแบบไม่มีและมีการเสริมข้อมูล พบว่า โมเดลที่พัฒนาสามารถทำนายโรคใบข้าวได้ดีกว่าโมเดลพื้นฐาน (Base Model) ทั้ง 3 โครงข่าย โดยโครงข่ายประสาทเทียมที่ให้ค่าความถูกต้องสูงสุด ได้แก่ EfficientNet-V2 ในการทดลองแบบไม่มีการเสริมข้อมูล ได้ค่า Accuracy, Precision, Recall และ F1-score ตามลำดับ ดังนี้ 92.60%, 92.75%, 92.50% และ 92.25% และโมเดลที่มีการเสริมข้อมูล (EfficientNet-V2 + DA) ให้ค่าความถูกต้องในการจำแนกโรคใบข้าว ได้ค่า Accuracy, Precision, Recall และ F1-score ตามลำดับ ดังนี้ 95.50%, 95.75%, 95.75% และ 95.75% ซึ่งผลการทดลองในครั้งนี้ถือว่าโมเดลที่พัฒนามีประสิทธิภาพดีกว่าโมเดลพื้นฐานทุกกรณี

คำสำคัญ : การจำแนก การเสริมข้อมูล โครงข่ายประสาทเทียม โรคใบข้าว

ABSTRACT

The objectives of this study were: 1) to develop an artificial neural network model for classifying rice leaf diseases, and 2) to compare the performance of the models trained with augmented data against those trained without argumentation in classifying rice leaf diseases. The RiceLeafBD Dataset, consisted of 1,555 images divided into 4 disease categories: bacterial leaf blight, fungal leaf blight, brown leaf spot, and tungro virus, was used for this study. This dataset is publicly available on the Kaggle Dataset platform. Three neural networks, namely InceptionNet-V2, MobileNet-V2, and EfficientNet-V2, were experimented. These models were modified by adding Squeeze-and-Excitation (SE) blocks to better capture the importance of each channel. The experiments were conducted on two datasets: the baseline dataset and the augmented dataset. Model training and testing were performed for 20 and 50 epochs. The statistics used for data analysis were accuracy, precision, recall, and F1-score.

The results of model development and comparison of the efficiency of artificial neural networks in classifying rice leaf diseases with and without augmented data showed that the modified models achieved higher performance in classifying rice leaf diseases than the base models. Among the three modified models, EfficientNet-V2 achieved the highest accuracy. Without augmentation, EfficientNet-V2 revealed accuracy, precision, recall, and F1-score values of 92.60%, 92.75%, 92.50%, and 92.25%, respectively. With augmentation (EfficientNet-V2 + DA), the model achieved 95.50%, 95.75%, 95.75%, and 95.75% for accuracy, precision, recall, and F1-score, respectively. These results indicate that the developed models performed better than the base models in all cases.

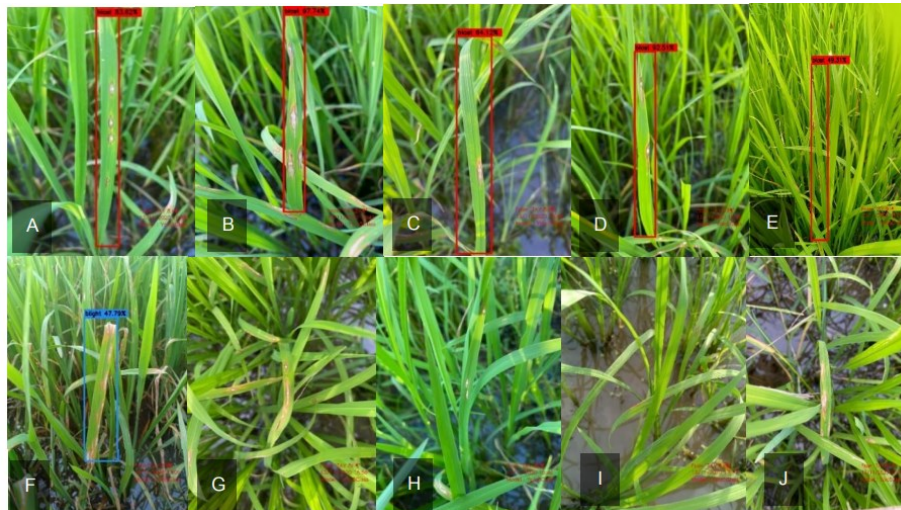
Keywords: Classification, Data Augmentation, Neural Network Architectures, Rice Leaf Disease

บทนำ

ข้าวถือเป็นพืชเศรษฐกิจของหลายประเทศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โรคที่เกิดกับต้นข้าว ใบข้าว หรือ รวงข้าวทำให้ผลผลิตข้าวลดลง 20-30 % (Ahmad et al., 2024) ประเทศไทยถือเป็นประเทศเกษตรกรรมการผลิตข้าวเป็นหนึ่งในกิจกรรมหลักทางเศรษฐกิจของประเทศ ซึ่งมีความสำคัญต่อความมั่นคงทางอาหารและรายได้ของเกษตรกร อย่างไรก็ตาม ปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตและคุณภาพของข้าวคือการเกิดโรคต่างๆ บนใบข้าว เช่น โรคกาบใบแห้ง โรคไหม้คอรวง โรคใบจุดสีน้ำตาล โรคขอบใบแห้ง และโรคใบขีดโปร่งแสง เป็นต้น ซึ่งโรคข้าวมีสาเหตุเกิดจากจุลินทรีย์หลายชนิด ได้แก่ เชื้อรา แบคทีเรีย ไวรัส และไส้เดือนฝอยซึ่งส่งผลกระทบต่อข้าวทั้งด้านปริมาณและคุณภาพ โดยเฉพาะโรคกาบใบแห้งที่เกิดจากเชื้อราในโซนภาคเหนือของประเทศ (กัญญารัตน์ และคณะ, 2563) และโรคใบไหม้จากเชื้อรา (จุฬาลักษณ์ และคณะ, 2567) ซึ่งหากไม่สามารถตรวจพบและจัดการได้อย่างทันท่วงที อาจนำไปสู่ความเสียหายอย่างรุนแรง (Spadaro et al., 2020) ในปัจจุบัน เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ โดยเฉพาะโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks: ANN) ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในด้านการประมวลผลภาพและการจำแนกประเภท เนื่องจากมีความสามารถในการเรียนรู้จากข้อมูลภาพจำนวนมากและสามารถดึงลักษณะเฉพาะของโรคจากภาพใบข้าวได้อย่างแม่นยำ อย่างไรก็ตาม โครงข่ายประสาทเทียมมีหลายรูปแบบ เช่น Convolutional Neural Network (CNN), Recurrent Neural Network (RNN), และ Multilayer Perceptron (MLP) ซึ่งแต่ละแบบมีจุดเด่นและข้อจำกัดที่แตกต่างกันในด้านความแม่นยำ ความเร็วในการประมวลผล และความสามารถในการเรียนรู้ลักษณะเฉพาะของข้อมูล (Chen et al., 2020) นอกจากปัจจัยการเลือกใช้โครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมกับประเภทงานแล้วปัจจัยด้านจำนวนของข้อมูลในชุดข้อมูล (Dataset) ที่เพียงพอหลากหลายจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของโมเดลในการฝึกให้ดียิ่งขึ้นได้ ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยของ Rimi et al., (2025) ที่ใช้เป็นโมเดลพื้นฐาน พบว่า มีการปรับโมเดลในการทดลองเป็นแบบ Light Model ทำให้ลดจำนวนพารามิเตอร์ โมเดลมีขนาดเล็กลง

ทำงานเร็วขึ้น แต่ส่งผลให้ประสิทธิภาพความแม่นยำในการจำแนกลดลงด้วย รวมถึงจำนวนภาพต้นฉบับในชุดข้อมูลยังมีจำนวนน้อยส่งผลต่อการฝึกโมเดล การแก้ไขปัญหาจำนวนข้อมูลมีน้อยสามารถเพิ่มกระบวนการเสริมข้อมูล (Data Augmentation) เช่น การหมุนภาพ การพลิกภาพ การตัดภาพ เป็นต้น เพื่อช่วยเพิ่มความหลากหลายให้กับชุดข้อมูลได้ (Minaee et al., 2023)

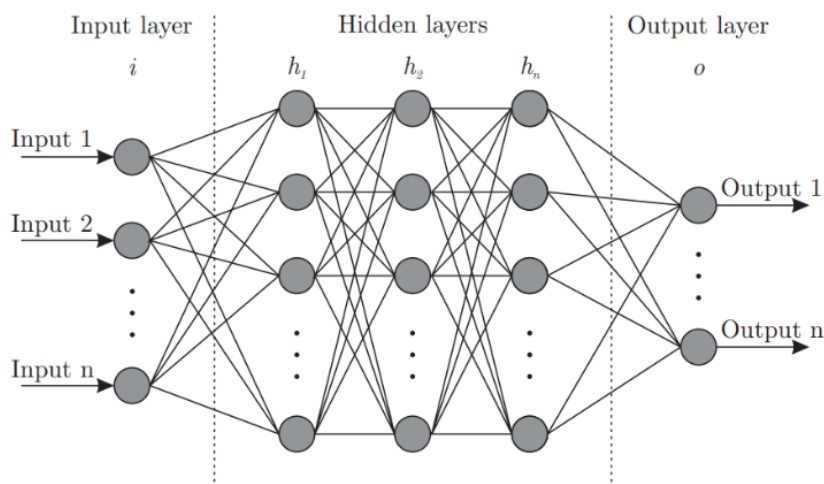
ด้วยเหตุนี้ งานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาโมเดลและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียมในการจำแนกโรคใบข้าวแบบไม่มีการเสริมข้อมูลและมีการเสริมข้อมูลจากชุดข้อมูล RiceLeafBD Datasets จากประเทศบังกลาเทศที่มีประเภทของโรคใบข้าวเหมือนกับในประเทศไทย (Kanjamaneeesathian et al., 2009) แต่จำนวนภาพในชุดข้อมูลยังมีจำนวนน้อยผู้วิจัยจึงสนใจทดลองด้วยการเสริมข้อมูลเพื่อค้นหาโมเดลที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงสุดในการจำแนกโรคใบข้าวและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาแอปพลิเคชันหรืองานด้านเกษตรอัจฉริยะ ทั้งในระดับงานวิจัยและการใช้งานจริงในภาคสนาม โดยผลลัพธ์จากการศึกษานี้จะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาเครื่องมือหรือระบบช่วยเหลือเกษตรกรในการวินิจฉัยโรคใบข้าวได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ



ภาพที่ 1 การใช้งานปัญญาประดิษฐ์ในการเกษตร

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. **โครงข่ายประสาทเทียม (Convolutional Neural Network: CNN)** โครงข่ายประสาทเทียมนั้นถูกออกแบบมาให้มีการทำงานคล้ายกับสมองของมนุษย์ โดยการทำงานเบื้องหลังของโครงข่ายประสาทเทียมนี้มีหน่วยย่อยที่ทำงานคล้ายกับเซลล์ประสาทของมนุษย์ เรียกว่า Node ซึ่ง Node สามารถรวมตัวกันจำนวนหนึ่งเรียงตัวเป็นชั้น จะเรียกว่า Layer โดยแต่ละ Node จะมีขั้นตอนการทำงานแบ่งหน้าที่ตาม Layer เช่น Input Layer, Hidden Layer และ Output Layer เป็นต้น



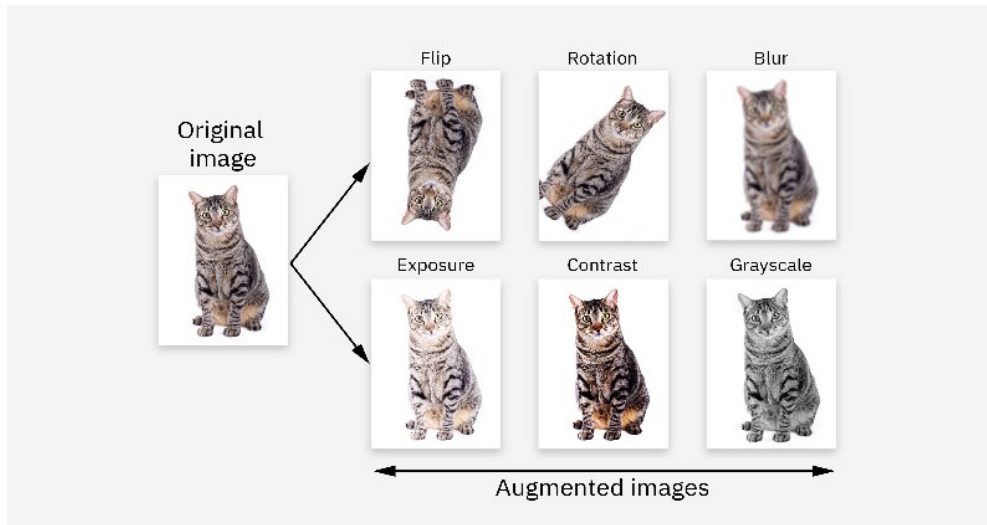
ภาพที่ 2 สถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทเทียม

2. โครงข่าย InceptionNet หรือ GoogLeNet เป็นโครงข่ายประสาทเทียมแบบลึกที่พัฒนาโดย Google สำหรับการรู้จำภาพโดยเปิดตัวครั้งแรกในปี 2014 ในการแข่งขัน ImageNet (ILSVRC) ซึ่งมีจุดเด่นอยู่ที่ Inception Module ซึ่งรวมการประมวลผลจากหลายขนาดของ Convolution เช่น 1x1 3x3 5x5 และ Pooling ภายในเลเยอร์เดียวเพื่อให้ได้การเรียนรู้ที่หลากหลาย โดยยังคงประสิทธิภาพการประมวลผลไว้ผ่านเทคนิคการลดมิติด้วย 1x1 Convolution ทำให้สามารถจำแนกรูปภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง ทั้งนี้ InceptionNet ได้ถูกพัฒนาต่อเนื่องหลายรุ่น เช่น Inception-v2, Inception-v3 และ Inception-v4 เพื่อเพิ่มความแม่นยำและลดความซับซ้อนของโมเดล (Szegedy et al., 2015)

3. โครงข่าย MobileNet เป็นสถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทเทียมที่พัฒนาโดย Google เพื่อรองรับการประมวลผลบนอุปกรณ์ที่มีข้อจำกัดด้านทรัพยากร เช่น สมาร์ทโฟน โดยมีจุดเด่นคือการใช้เทคนิค Depthwise Separable Convolution ซึ่งช่วยลดจำนวนพารามิเตอร์และการคำนวณอย่างมากเมื่อเทียบกับ Convolution แบบดั้งเดิม ทำให้โมเดลมีขนาดเล็กและรวดเร็วขึ้นโดยยังคงประสิทธิภาพในการจำแนกรูปภาพได้ดี MobileNet ยังมีพารามิเตอร์ที่ปรับขนาดได้ เช่น Width Multiplier และ Resolution Multiplier เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเลือกสมดุลระหว่างความเร็วและความแม่นยำได้ตามความต้องการ (Howard et al., 2017)

4. โครงข่าย EfficientNet เป็นสถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทเทียมแบบ Convolutional Neural Network ที่พัฒนาโดย Google ในปี 2019 โดยเน้นการเพิ่มประสิทธิภาพของโมเดลผ่านแนวคิด Compound Scaling ซึ่งปรับความลึก (Depth) ความกว้าง (Width) และความละเอียดของภาพ (Resolution) ไปพร้อมกันอย่างสมดุลแทนการขยายเพียงมิติใดมิติหนึ่ง ส่งผลให้ EfficientNet มีความแม่นยำสูงในการจำแนกรูปภาพ ในขณะที่ใช้พารามิเตอร์และพลังประมวลผลน้อยกว่ารุ่นก่อนหน้า เช่น ResNet และ Inception อย่างมีนัยสำคัญ โดย EfficientNet-B0 ถูกสร้างขึ้นจาก Neural Architecture Search และขยายเป็น EfficientNet-B1 ถึง B7 เพื่อรองรับการใช้งานที่หลากหลาย (Tan and Le, 2019)

5. การเสริมข้อมูล (Data Augmentation) คือ เทคนิคในกระบวนการ เตรียมข้อมูล (Data Preprocessing) ที่ใช้ในการสร้างข้อมูลใหม่จากข้อมูลที่มีอยู่ เพื่อเพิ่มปริมาณข้อมูลฝึกสอน (Training Data) ให้มากขึ้น โดยไม่ต้องเก็บข้อมูลใหม่จริงๆ เทคนิคนี้นิยมมากในงาน Machine Learning โดยเฉพาะ Deep Learning เช่น การจำแนกภาพ เสียง หรือข้อความ ตัวอย่างการทำ Data Augmentation เช่น การหมุนภาพ การยืดหดภาพ การปรับความสว่าง การตัดภาพ เป็นต้น (Yang et al., 2024)



ภาพที่ 3 การเสริมข้อมูลงานรูปภาพ

6. โรคใบขาว คือโรคที่เกิดจากเชื้อรา แบคทีเรีย หรือไวรัส ซึ่งส่งผลกระทบต่อใบของต้นข้าว ทำให้ลดประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงและส่งผลต่อผลผลิตโดยรวม การระบุและจำแนกโรคใบขาวอย่างแม่นยำมีความสำคัญอย่างยิ่งในการควบคุมและป้องกันการแพร่กระจายของโรค ในปัจจุบัน มีการศึกษาและพัฒนาโมเดลการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) เช่น Convolutional Neural Networks (CNN) เพื่อช่วยในการจำแนกโรคใบขาวจากภาพถ่าย (Dutta et al., 2024)

SN	Class Name	Description	Sample Images
1	Bacterial Blight	Dimension - 300*300	
		Formats - jpg	
		Quantity - 1584	
2	Blast	Dimension - 300*300	
		Formats - jpg	
		Quantity - 1440	
3	Brown Spot	Dimension - 300*300	
		Formats - jpg	
		Quantity - 1600	
4	Tungro	Dimension - 300*300	
		Formats - jpg	
		Quantity - 1308	

ภาพที่ 4 ภาพโรคใบขาว

7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ด้านโครงข่ายประสาทเทียม Hossain et al. (2021) ทำการศึกษาการเรียนรู้แบบถ่ายโอนกับโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันแบบลึกเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการจำแนกประเภทโรคใบพืช โดยใช้สถาปัตยกรรมการเรียนรู้เชิงลึกที่มีประสิทธิภาพ ทดลองบนชุดข้อมูลภาพใบพืชแบบเต็มและบางส่วน นำเสนอผ่านโมเดลการเรียนรู้ ได้แก่ MobileNet VGG16 VGG19 และ AlexNet ยังแสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์ที่มีแนวโน้มในการจำแนกโรคใบพืชที่มีความถูกต้องและความแม่นยำสูง ซึ่งโมเดล MobileNet ที่มีการปรับปรุง มีความแม่นยำสูงที่สุดที่ 99.55% และคะแนน F1 97.07% ทำให้เหมาะสำหรับระบบคอมพิวเตอร์ช่วยวินิจฉัยโรคใบพืช

ด้านการเสริมข้อมูล Fawaiq et al. (2023) เสนอเทคโนโลยีสารสนเทศที่ใช้ในการระบุโรคโดยใช้การประมวลผลภาพและการจำแนกภาพ ชุดข้อมูลในการทดลองนำมาจากที่เก็บข้อมูลสาธารณะ และทำการเสริมข้อมูลในงานวิจัย เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการฝึกของชุดข้อมูลตามแนวทางระบบตรวจจับโรคโดยใช้เมธอดการเรียนรู้เชิงลึกโดยใช้ Convolutional Neural Network (CNN) และสถาปัตยกรรมการเรียนรู้การถ่ายโอนหลายแบบ ได้แก่ VGG16 NASNetMobile และ Xception สำหรับการตรวจจับโรคใบข้าว ผลการทดลองที่ดีที่สุดได้มาโดยใช้สถาปัตยกรรม Xception ซึ่งค่าความแม่นยำในการฝึกคือ 99.13% ความแม่นยำในการตรวจสอบคือ 97.22% และความแม่นยำในการทดสอบคือ 97.22%

ด้านโรคใบข้าว Haque et al. (2022) ได้ทำการศึกษาและสำรวจเอกสารพบว่า จากความก้าวหน้าอย่างต่อเนื่องของเทคโนโลยีการตรวจจับวัตถุ อัลกอริทึมของตระกูล YOLO มีความแม่นยำสูงเป็นพิเศษและความเร็วที่ดี จึงถูกนำมาใช้ในการจดจำจากต่างๆ เพื่อสร้างระบบตรวจสอบโรคใบข้าว ผู้วิจัยจึงได้สร้างคำอธิบายประกอบชุดข้อมูลที่รวบรวมได้ 1,500 ชุด และเสนอวิธีการจำแนกและตรวจจับโรคใบข้าวโดยอิงตามการเรียนรู้เชิงลึก YOLOv5 จากนั้นฝึกอบรมและประเมินโมเดล YOLOv5 ผลลัพธ์ของการจำลองแสดงให้เห็นผลลัพธ์การตรวจจับวัตถุที่ดีขึ้นสำหรับเครือข่าย YOLOv5 ระดับความแม่นยำในการจดจำ การเรียกคืน ค่า mAP และคะแนน F1 ที่ต้องการคือ 90% 67% 76% และ 81% ตามลำดับ ซึ่งถือเป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพ

วิธีการวิจัย

การศึกษาค้นคว้าพัฒนาโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมหลายรูปแบบในการจำแนกโรคใบข้าวจากภาพถ่าย มีขั้นตอนในการวิจัยดังนี้

1. การศึกษารวบรวมข้อมูลภาพใบข้าว

1.1 ศึกษาข้อมูลจากแหล่งข้อมูลสาธารณะ ได้แก่ แพลตฟอร์ม Kaggle ด้วยชุดข้อมูล RiceLeafBD Datasets (Rimi et al., 2025) ที่ประกอบด้วยรูปภาพทั้งหมด 1,555 ภาพ แบ่งเป็น 4 ประเภทโรค ได้แก่ โรคใบไหม้จากแบคทีเรีย โรคใบไหม้จากเชื้อรา โรคใบจุดสีน้ำตาล และโรคไวรัสทั้งกร ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ตัวอย่างภาพข้อมูลโรคใบข้าว

1.2 ทำการจัดกลุ่มและระบุป้ายกำกับ (Labeling) ให้ชัดเจน

2. การเตรียมข้อมูล

2.1 ปรับขนาดภาพให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมกับโครงข่ายประสาทเทียมแต่ละประเภท ในการทดลองใช้ขนาดภาพ 224x224 ซึ่งเป็นขนาดมาตรฐาน (Sandler et al., 2018)

2.2 แปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบ Tensor และทำการ Normalize ค่าพิกเซลอยู่ในช่วง $[-1, 1]$

2.3 แบ่งข้อมูลออกเป็น 3 ชุด (Train: 80%, Val+Test: 20%) ได้แก่

1. ชุดฝึกอบรม (Training set)
2. ชุดตรวจสอบ (Validation set)
3. ชุดทดสอบ (Test set)

2.4 การเพิ่มความหลากหลายของข้อมูล (Data Augmentation) เนื่องจากผลการทดลองของ Rimi et al. (2025) กับชุดข้อมูลเดิมที่มีจำนวนทั้งหมด 1,555 ภาพ พบว่า ผลการจำแนกโรคใบข้าวยังมีความคลาดเคลื่อน ผู้วิจัยและคณะจึงทดลองเพิ่มความหลากหลายให้ชุดข้อมูล ด้วย 2 เทคนิค ได้แก่ การหมุนภาพ (Rotation) และการกลับภาพ (Flipping)

3. การเลือกโครงข่ายประสาทเทียมที่จะใช้ในการทดลอง

3.1 เลือกโครงข่ายประสาทเทียมตามงานวิจัยของ Rimi et al. (2025) ที่มีการทดลองตาม Transfer Learning บน 3 โมเดล ดังนี้ InceptionNet-V2, MobileNet-V2, และ EfficientNet-V2 เนื่องจากทั้ง 3 โมเดล เป็นโมเดลพื้นฐานที่มีการ Scale อย่างมีประสิทธิภาพ มีขนาดของโมเดลเล็กและทำงานเร็วเหมาะสมสำหรับใช้งานในอุปกรณ์ขนาดเล็ก เช่น สมาร์ทโฟน โดรน ยังมีนักวิจัยหลายคนใช้แบบจำลองเหล่านี้เป็นแบบจำลองพื้นฐานพร้อมแนะนำถึงความเหมาะสมที่สุดสำหรับชุดข้อมูลภาพ

3.2 กำหนดพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับแต่ละโมเดลตามการทดลองของ Base Model ที่มีการกำหนดค่า ดังนี้ Learning Rate = 0.0001 Batch Size = 32 Epoch 20, 50

3.3 สภาพแวดล้อมในการทดลอง

ตารางที่ 1 ข้อมูลคุณสมบัติของเครื่องคอมพิวเตอร์ ซอฟต์แวร์และไลบรารีที่ใช้ในการทดลอง (Dai et al., 2019)

เครื่องคอมพิวเตอร์ตามสเปกดังต่อไปนี้	ซอฟต์แวร์และไลบรารีที่ใช้
CPU: Apple M1 Max	OS: MacOS Sequoia 15.5
RAM: 32 GB	Python: 3.12.1 (จัดการ Environment ด้วย VS-Code)
Storage: SSD 1 TB	TensorFlow: 2.19.0
	ไลบรารีที่เกี่ยวข้อง: NumPy, OpenCV, Albumentations, Matplotlib, Scikit-Learn

4. การฝึกสอนโมเดล (Model Training)

4.1 ทำการฝึกสอนโมเดลแต่ละแบบด้วยชุดข้อมูลฝึกอบรม

4.2 ใช้ชุด Validation เพื่อติดตามการเรียนรู้ ปรับค่าพารามิเตอร์เพื่อลด Overfitting

5. การทดสอบโมเดล (Model Evaluation)

5.1 ทดสอบความแม่นยำของโมเดลแต่ละแบบด้วยชุดข้อมูลทดสอบ

5.2 ประเมินผลด้วยเกณฑ์ Accuracy, Precision, Recall และ F1-score โดยค่า Accuracy: บ่งบอกว่าโมเดลทำนายถูกต้องทั้งหมดกี่เปอร์เซ็นต์ ค่า Precision: ประเมินว่าโมเดลมีโอกาสแจ้งเตือนผิด หรือ "วินิจฉัยโรคที่ไม่มีจริง" หรือไม่ ค่า Recall: ประเมินว่าภาพในแต่ละกลุ่มโรค ภาพที่เป็นโรคจริงๆ โมเดลตรวจพบได้กี่ภาพ และ ค่า F1-score: เป็นค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักระหว่าง Precision และ Recall เพื่อวัดความสามารถของโมเดลแบบสมดุล

6. การเปรียบเทียบผลลัพธ์

6.1 วิเคราะห์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลพื้นฐานกับโมเดลปรับปรุงแต่ละแบบ

6.2 พิจารณาความเหมาะสมในการนำไปใช้งานจริง เช่น ในแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือหรือระบบตรวจโรคใบข้าวอัตโนมัติ

7. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปว่าโมเดลใดมีประสิทธิภาพดีที่สุดในการจำแนกโรคใบข้าว

7.2 วิเคราะห์ข้อจำกัด และเสนอแนะแนวทางการปรับปรุงในอนาคต

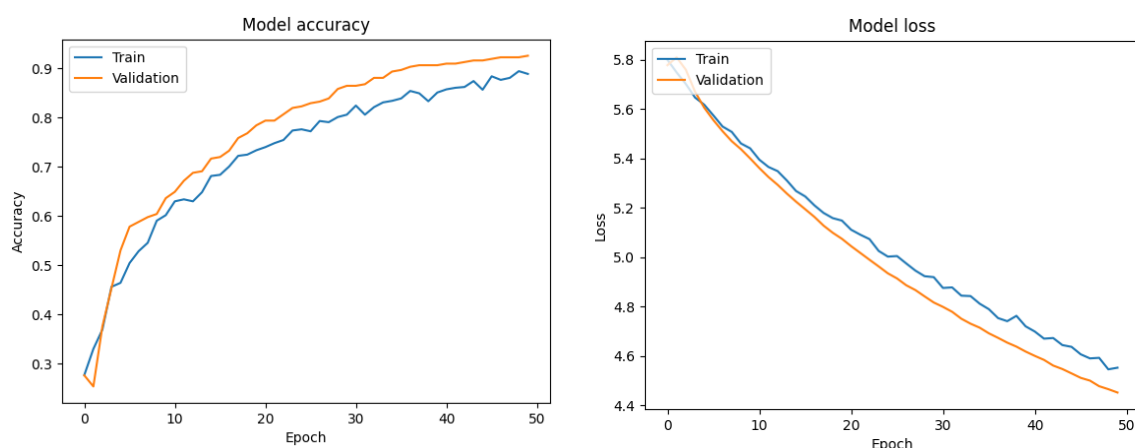
ผลการวิจัย และวิจารณ์ผลการวิจัย

1. ผลการพัฒนาโมเดลและเปรียบเทียบประสิทธิภาพโครงข่ายประสาทเทียมแบบไม่มีการเสริมข้อมูล บนชุดข้อมูล RiceLeafBD Datasets

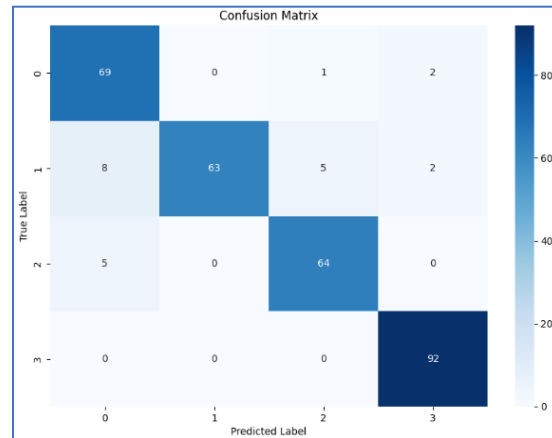
ตารางที่ 2 ผลการพัฒนาโมเดลและเปรียบเทียบประสิทธิภาพโครงข่ายประสาทเทียมแบบไม่มีการเสริมข้อมูล

Model	Accuracy (%)	
	20 Epoch	50 Epoch
MobileNet-V2 (Rimi et al., 2025)	-	89.75
MobileNet-V2 (Our)	68.72	90.15
InceptionNet-V2 (Rimi et al., 2025)	-	85.00
InceptionNet-V2 (Our)	66.50	90.05
EfficientNet-V2 (Rimi et al., 2025)	-	91.50
EfficientNet-V2 (Our)	72.66	92.60

จากตารางที่ 2 พบว่า โมเดลที่พัฒนาทั้ง 3 โครงข่ายให้ค่า Accuracy สูงกว่า Base Model ทุกกรณี และโครงข่าย EfficientNet-V2 ที่ปรับปรุงให้ค่า Accuracy สูงสุด เท่ากับ 92.60%



ภาพที่ 6 ค่า Accuracy and Loss Curve of EfficientNet-V2 Model



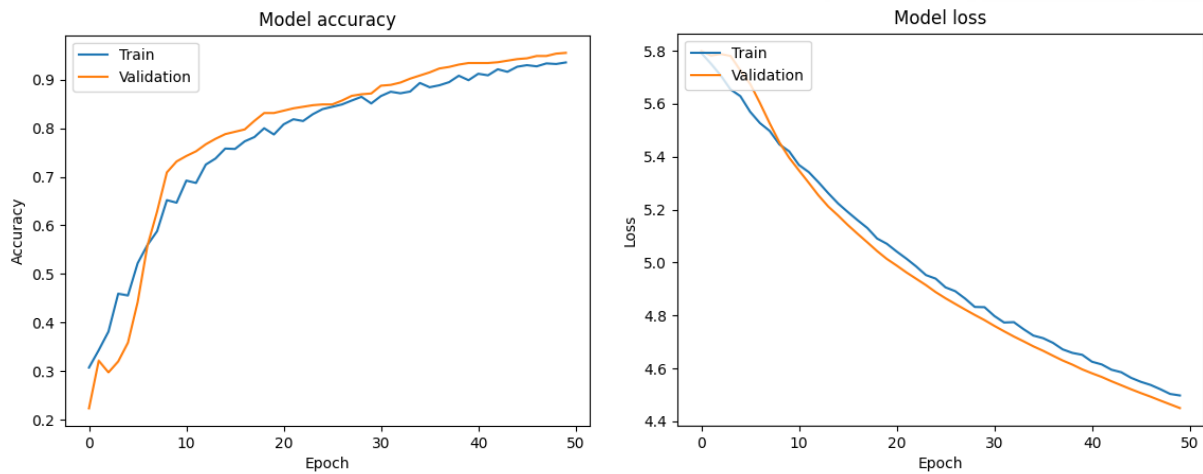
ภาพที่ 7 แสดงค่า Confusion Matrix of EfficientNet-V2 Models

2. ผลการพัฒนาโมเดลและเปรียบเทียบประสิทธิภาพโครงข่ายประสาทเทียมแบบมีการเสริมข้อมูล (Data Augmentation: DA) บนชุดข้อมูล RiceLeafBD Datasets

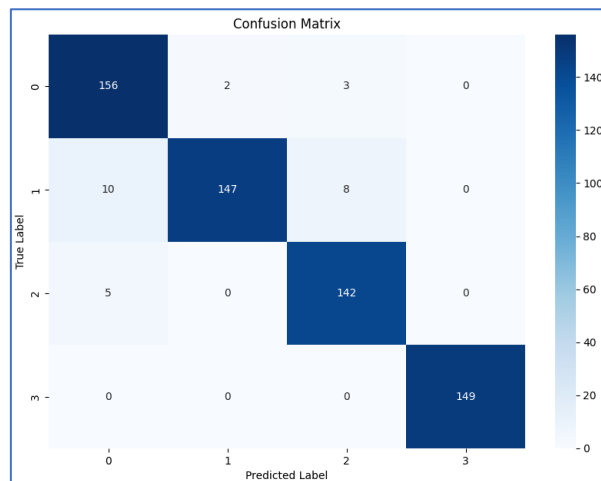
ตารางที่ 3 ผลการพัฒนาโมเดลและเปรียบเทียบประสิทธิภาพโครงข่ายประสาทเทียมแบบมีการเสริมข้อมูล

Model	Accuracy (%)	
	20 Epoch	50 Epoch
MobileNet-V2 (Rimi et al., 2025)	-	89.75
MobileNet-V2 + DA (Our)	76.17	91.75
InceptionNet-V2 (Rimi et al., 2025)	-	85.00
InceptionNet-V2 + DA (Our)	70.50	90.76
EfficientNet-V2 (Rimi et al., 2025)	-	91.50
EfficientNet-V2 + DA (Our)	81.03	95.50

จากตารางที่ 3 พบว่า โมเดลที่ปรับปรุงทั้ง 3 โครงข่ายให้ค่า Accuracy สูงกว่า Base Model ทุกกรณี และโครงข่าย EfficientNet-V2 + DA ที่ปรับปรุงให้ค่า Accuracy สูงสุด เท่ากับ 95.50%



ภาพที่ 8 ค่า Accuracy and Loss Curve of EfficientNet-V2 + DA Model

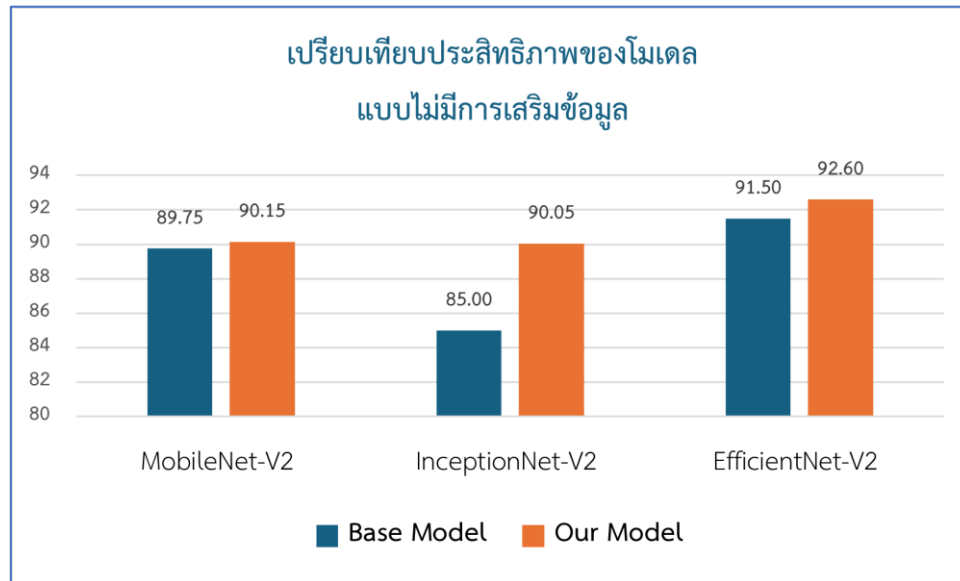


ภาพที่ 9 แสดงค่า Confusion Matrix of EfficientNet-V2 + DA Models

3. ผลการพัฒนาโมเดลและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ 3 โมเดล

ตารางที่ 4 ผลการเปรียบเทียบ Accuracy ของ 3 โมเดลแบบไม่มีการเสริมข้อมูล

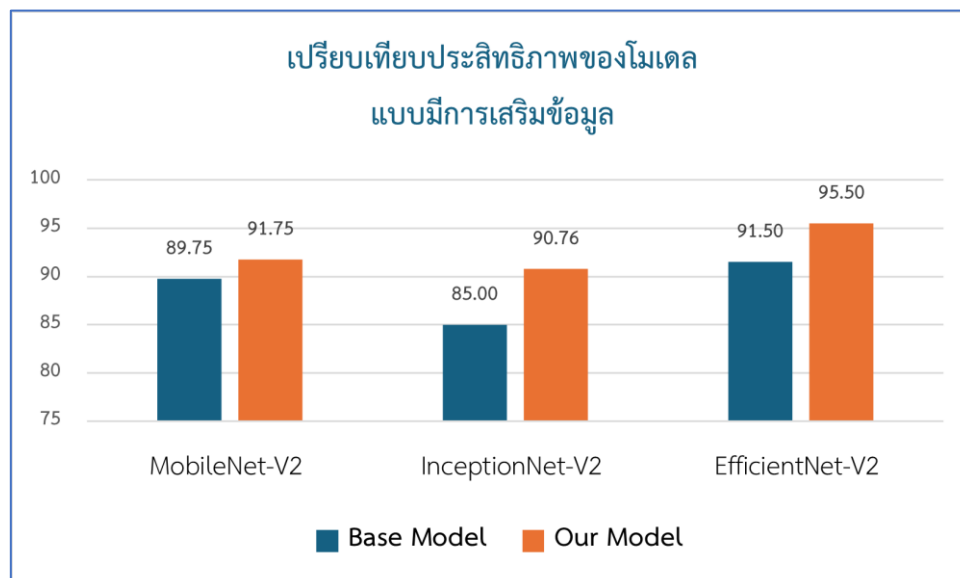
Model	MobileNet-V2	InceptionNet-V2	EfficientNet-V2
Base Model	89.75	85.00	91.50
Our Model	90.15	90.05	92.60



ภาพที่ 10 แสดงกราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ 3 โมเดล แบบไม่มีการเสริมข้อมูล

ตารางที่ 5 ผลการเปรียบเทียบ Accuracy ของ 3 โมเดลแบบมีการเสริมข้อมูล

Model	MobileNet-V2	InceptionNet-V2	EfficientNet-V2
Base Model	89.75	85.00	91.50
Our Model	91.75	90.76	95.50



ภาพที่ 11 แสดงกราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ 3 โมเดล แบบมีการเสริมข้อมูล

4. วิจัยผลการวิจัย

การปรับสถาปัตยกรรมของ MobileNet-V2 เพื่อเพิ่มความแม่นยำโดยไม่เพิ่มขนาดโมเดลเน้นที่การปรับปรุงภายในโครงสร้าง Inverted Residual Blocks โดยเพิ่มองค์ประกอบอย่าง Squeeze-and-Excitation (SE) Blocks เพื่อเรียนรู้ความสำคัญของแต่ละ Channel ได้ดี ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของโมเดลโดยไม่ต้องเพิ่มพารามิเตอร์ แสดงให้เห็นถึงการปรับปรุง Accuracy ที่ชัดเจนโดยยังคงความเบาของโมเดลไว้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Howard et al. (2019) การปรับปรุงสถาปัตยกรรมของ Inception-v2 เพื่อเพิ่มความแม่นยำสามารถทำได้โดยใช้การเพิ่ม Squeeze-and-Excitation (SE) Blocks เพื่อเรียนรู้น้ำหนักของแต่ละ Feature Channel อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ การเพิ่ม Residual Connections ภายใน Inception modules ช่วยให้การฝึกโมเดลที่ลึกขึ้นโดยไม่สูญเสีย Gradient ในขณะที่เรียนรู้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Hu et al. (2018) และการปรับปรุงสถาปัตยกรรมของ EfficientNet-V2 โดยการขยาย Receptive Field ผ่าน Dilated Convolution โดยไม่เพิ่มพารามิเตอร์ของโมเดล ช่วยเพิ่มความแม่นยำของการจำแนกได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Hou et al. (2021)

การเสริมข้อมูล หรือการทำ Data Augmentation ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของโมเดลโดยการสร้างความหลากหลายของข้อมูล ซึ่งช่วยลด Overfitting และเพิ่มความสามารถในการ Generalize โดยเฉพาะเทคนิคใหม่ๆ อย่าง Mixup CutMix และ RandAugment ที่ได้รับการพิสูจน์แล้วว่าสามารถเพิ่ม Accuracy ได้อย่างมีนัยสำคัญโดยไม่ต้องเพิ่มขนาดของโมเดลหรือข้อมูลจริง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Cubuk et al. (2020)

การใช้ Dataset จากแหล่งข้อมูลสาธารณะมีข้อดี คือ สะดวกและประหยัดเวลาแต่ก็มีข้อจำกัดสำคัญโดยเฉพาะเมื่อชุดข้อมูลนั้นไม่สะท้อนบริบทเชิงท้องถิ่น (Local Context) ซึ่งอาจส่งผลให้โมเดลที่ฝึกได้ ไม่สามารถใช้งานจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพหรือยังมีความผิดพลาดในการจำแนกโรคของโมเดล เช่น ลักษณะใบ สี และลักษณะโรคอาจแตกต่างจากของจริงในพื้นที่ปลูกจริงของท้องถิ่นรวมถึงความถูกต้องของ Label ในชุดข้อมูลสาธารณะอาจไม่แม่นยำหรือไม่ผ่านผู้เชี่ยวชาญท้องถิ่น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Xu et al. (2024)

สรุปผลการวิจัย

ผลการพัฒนาโมเดลและเปรียบเทียบประสิทธิภาพโครงข่ายประสาทเทียมในการจำแนกโรคใบข้าวแบบมีและไม่มี การเสริมข้อมูล ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม 3 โครงข่าย ได้แก่ MobileNet-V2 Inception-v2 และ EfficientNet-V2 ซึ่งทั้ง 3 โครงข่ายทดลองกับชุดข้อมูลพื้นฐาน 1,555 ภาพ และชุดข้อมูลที่มีการเสริมข้อมูล ด้วย 2 เทคนิค ได้แก่ การหมุนภาพ และการกลับภาพ ได้ภาพเพิ่มขึ้นเป็น 3,110 ภาพ โดยโครงข่ายประสาทเทียมที่ให้ค่าความถูกต้องสูงสุด ได้แก่ EfficientNet-V2 ที่มีการเสริมข้อมูล (EfficientNet-V2 + DA) ให้ค่าความถูกต้องในการจำแนกโรคใบข้าว ได้ค่า Accuracy Precision Recall และ F1-score ตามลำดับดังนี้ 95.50% 95.75% 95.75% และ 95.75%

นอกจากนี้ในการวิจัยได้ทำการปรับปรุง Base model ทั้ง 3 โครงข่าย ดังนี้ โดย 2 โครงข่าย ได้แก่ MobileNet-V2 และโครงข่าย Inception-v2 ปรับปรุงโดยการเพิ่มองค์ประกอบอย่าง Squeeze-and-Excitation (SE) Blocks เพื่อเรียนรู้ความสำคัญของแต่ละ Channel ส่วนโครงข่าย EfficientNet-V2 ปรับปรุงโดยการขยาย Receptive Field ผ่าน Dilated Convolution พบว่า โครงข่าย MobileNet-V2 ที่ปรับปรุงและการเสริมข้อมูล ในการทดลองรันจำนวน 50 Epoch ให้ค่า Accuracy เท่ากับ 90.15% และ 91.75% ตามลำดับ ส่วนโครงข่าย InceptionNet-V2 ที่ปรับปรุงและเสริมข้อมูล ให้ค่า Accuracy เท่ากับ 90.05% และ 90.76% ตามลำดับ และโครงข่าย EfficientNet-V2 ที่ปรับปรุงและเสริมข้อมูลให้ค่า Accuracy เท่ากับ 92.60% และ 95.50 % ตามลำดับ ซึ่งสรุปว่าทุกโครงข่ายที่ปรับปรุงทั้งไม่มีและมีการเสริมข้อมูลสามารถจำแนกภาพโรคใบข้าวได้ดีกว่า Base Model จากค่า Accuracy

การนำโมเดลไปประยุกต์ใช้งาน ได้แก่ นำไปวิเคราะห์ภาพใบข้าวจากกล้องมือถือ โดรน หรืออุปกรณ์ IoT ได้ทันทีหรือพัฒนาแอปพลิเคชันช่วยตรวจจับโรคตั้งแต่ระยะเริ่มต้นก่อนที่จะการระบาดจะลุกลาม รวมถึงลดภาระของเกษตรกรในการสังเกตอาการด้วยตนเองหรือสามารถ Fine-Tune ไปใช้กับพืชอื่น เช่น มันสำปะหลัง ข้าวโพด อ้อย ฯลฯ ได้

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะการใช้งานจริง

- 1) ควรติดตั้งซอฟต์แวร์และไลบรารีในเวอร์ชันเดียวกันกับที่โมเดลใช้ในการทดลอง
- 2) สามารถรันงานได้ทั้งบนแพลตฟอร์ม Google Colab หรือ Visual Studio Code
- 3) ควรพัฒนาต่อยอดเป็นแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนเพื่อช่วยเกษตรกรในการใช้งานเชิงพื้นที่จริง

2. ข้อเสนอแนะในการพัฒนาต่อเชิงเทคนิค

- 1) ควรเพิ่มประเภทของโครงข่ายให้มากขึ้นเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพ
- 2) ควรปรับปรุงกลไกการใส่ใจ (Attention mechanism) ในการสกัดคุณลักษณะของภาพเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพความแม่นยำในการจำแนกภาพ
- 3) ควรเพิ่มการเสริมข้อมูลภาพด้วยวิธีการที่หลากหลายในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ
- 4) ควรใช้ Explainable AI (XAI) ช่วยเพิ่มการอธิบายผลลัพธ์การทำงานที่ซับซ้อนของโมเดล และตรวจสอบความผิดพลาดหรือรองรับข้อกำหนดทางจริยธรรมหรือกฎหมาย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณนักวิจัย Rimi และคณะที่ได้ศึกษาทดลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบ Transfer Learning และได้เผยแพร่ชุดข้อมูลโรคใบขาวสำหรับใช้ในการทดลองพัฒนาประสิทธิภาพการจำแนกโรคใบขาวในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- กัญญารัตน์ สมเพ็ชร, พัชรวิภา ใจจักรคำ, และอรอุมา เพี้ยชัย. (2563). การจัดจำแนกชนิด และการใช้สารเคมีควบคุมเชื้อรา *Rhizoctonia* species สาเหตุโรคกาบใบแห้งของข้าว. *วารสารวิทยาศาสตร์และนวัตกรรมการเกษตร*, 51(2), 122-138.
- จุฬาลักษณ์ มุ่งมาตร, ดุสิต อธิวัฒน์, และวิลาวรรณ เชื้อบุญ. (2567). การยับยั้งเชื้อสาเหตุโรคใบไหม้และส่งเสริมการเจริญเติบโตของข้าวต่างพันธุ์ด้วยแบคทีเรีย. *วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 5(2), 58-72.
- Ahmad, R., Ansari, M. H., Thakur, M. B., Anwer, A., Singh, S. N., Kunal, G., Singh, P., Minnatullah, M. (2024). A review on emerging insights into bacterial leaf blight of rice: diagnostics, climate dynamics, and economic impact. *Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America*, 55(10), 19025-19044.
- Bre, F., Gimenez, J. M., and Fachinotti, V. D. (2018). Prediction of wind pressure coefficients on building surfaces using artificial neural networks. *Energy and Buildings*, 158, 1429–1441.
- Chen, M., Bai, Y., Lee, J. D., Zhao, T., Wang, H., Xiong, C., and Socher, R. (2020). Towards Understanding Hierarchical Learning: Benefits of Neural Representations. In *the 34th Conference on Neural Information Processing Systems (NeurIPS)* (pp.3114–3124). Vancouver: Canada.
- Cubuk, E. D., Zoph, B., Shlens, J., and Le, Q. V. (2020). RandAugment: Practical automated data augmentation with a reduced search space. In *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops* (pp.702–703). Vancouver: Canada.

- Dai, W., and Berleant, D. (2019). Benchmarking Contemporary Deep Learning Hardware and Frameworks: A Survey of Qualitative Metrics. In **2019 IEEE First International Conference on Cognitive Machine Intelligence (CogMI)** (pp.148-155). Los Angeles, CA: USA.
- Dutta, M., Sujana, R.I., Mojumdar, M. U., Chakraborty, N. R., Marouf, A. A., Rokne, J. G., and Alhajj, R. (2024). Rice Leaf Disease Classification A Comparative Approach Using Convolutional Neural Network (CNN), Cascading Autoencoder with Attention Residual U-Net (CAAR-U-Net), and MobileNet-V2 Architecture. **Technologies** 2024, 12(11), 1-15. doi: 10.3390/technologies12110214
- Fawaiq, M. N., Utami, E., and Ariatmanto, D. (2023). Rice Plant Disease Detection with Data Augmentation Using Transfer Learning. **International Journal of Research Publication and Reviews**, 4(4), 2195-2199.
- Haque, Md. E., Rahman, A., Junaed, I. and Hoque, S. U. (2022). Rice Leaf Disease Classification and Detection Using YOLOV5. In **International Conference on Digital Image Computing: Techniques and Applications (DICTA)** (pp.516-522). Sydney, New South Wales: Australia.
- Hossain, S.M.M., Deb, K., Dhar, P.K., and Koshiba, T. (2021). Plant Leaf Disease Recognition Using DepthWise Separable Convolution-Based Models. **Symmetry** 2021, 13, 511. Retrieved from <https://www.mdpi.com/2073-8994/13/3/511>. doi.org/10.3390/sym13030511
- Hou, Q., Zhou, D., and Feng, J. (2021). Coordinate Attention for Efficient Mobile Network Design. In **IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)**, 13708-13717. Online. Retrieved from <https://ieeexplore.ieee.org/xpl/conhome/9577055/proceeding?sortType=vol-only-seq&isnumber=9577056&searchWithin=Coordinate%20Attention%20for%20Efficient%20> doi.org/10.1109/CVPR46437.2021.01350
- Howard, A. G., Zhu, M., Chen, B., Kalenichenko, D., Wang, W., Weyand, T., ... Adam, H. (2017). **MobileNets: Efficient Convolutional Neural Networks for Mobile Vision Applications**. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/316184205_MobileNets_Efficient_Convolutional_Neural_Networks_for_Mobile_Vision_Applications. doi.org/10.48550/arXiv.1704.04861
- Howard, A., Sandler, M., Chu, G., Chen, L. C., Chen, B., Tan, M., ... Adam, H. (2019). Searching for MobileNetV3. In **Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV)** (pp.1314-1324). Seoul: South Korea.
- Hu, J., Shen, L., Albanie, S., Sun, G., and Wu, E. (2018). Squeeze-and-Excitation Networks. In **IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)** (pp.7132-7141). Salt Lake City, Utah: USA.
- Kanjanamaneesathian, M., Chumthong, A., Pengnook, A., and Wiwattanapatapee, R. (2009). Bacillus megaterium Suppresses Major Thailand Rice Diseases. **Asian Journal of Food and Agro-Industry**, Special Issue, S154-S159.
- Minaee, S., Boykov, Y., Porikli, F., Plaza, A., Kehtarnavaz, N., and Terzopoulos, D. (2023). A Comprehensive Survey of Image Augmentation Techniques for Deep Learning. **Pattern Recognition**, 137, 109347. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0031320323000481>. doi.org/10.1016/j.patcog.2023.109347

- Mumuni, A., and Mumuni, F. (2022). Data augmentation: A comprehensive survey of modern approaches. *Array*, 16, 1-27. doi: 10.1016/j.array.2022.100258
- Rimi, S. A., Chowdhury, J. U., Abdullah, R., Ahmed, I., Mim, M. A., and Rahman, M. S. (2025). **Empowering Agricultural Insights: RiceLeafBD - A Novel Dataset and Optimal Model Selection for Rice Leaf Disease Diagnosis through Transfer Learning Technique**, 1-24. doi: 10.48550/arXiv.2501.08912
- Sandler, M., Howard, A., Zhu, M., Zhmoginov, A., and Chen, L. C. (2018). MobileNetV2: Inverted Residuals and Linear Bottlenecks. In *IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)* (pp.4510-4520). Salt Lake City, Utah: USA.
- Spadaro, D., Agusti, N., Ortega, S. F., and Hurtado Ruiz, M. A. (2020). Diagnostics and Identification of Diseases, Insects and Mites. In *Integrated Pest and Disease Management in Greenhouse Crops* (pp.231–258). Cham: Switzerland.
- Szegedy, C., Vanhoucke, V., Ioffe, S., Shlens, J., and Wojna, Z. (2015). Rethinking the Inception Architecture for Computer Vision. In *2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)* (pp.2818-2826). Las Vegas, NV: USA.
- Tan, M., and Le, Q. V. (2019). EfficientNet: Rethinking Model Scaling for Convolutional Neural Networks. In *Proceedings of the 36th International Conference on Machine Learning (ICML)* (pp.6105-6114). Long Beach: California.
- Worasit, T., Phatrapornnant, T., Toojinda, T., Sinthupinyo, W., Kiratiratanapruk, K., Temniranrat, P., and Patarapuwadol, S. (2022). Rice bacterial blight and blast diseases recognition using deep learning techniques. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 50(1), 216-228.
- Xu, M., Park, J.-E., Lee, J., Yang, J., and Yoon, S. (2024). Plant disease recognition datasets in the age of deep learning: Challenges and opportunities. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1-13. doi: 10.3389/fpls.2024.1452551
- Yang, S., Liu, X., Dong, X., and Fu, B. (2024). Mini-DA: Improving Your Model Performance through Minimal Data Augmentation using LLM. In *Proceedings of the Fifth Workshop on Data Science with Human-in-the-Loop (Language Advances)* (pp.25–30). Mexico City: Mexico.

การพัฒนาแอปพลิเคชันสื่อความจริงเสริมแบบอินเทอร์แอคทีฟเพื่อถ่ายทอด นวัตกรรมการรำมวยโบราณประยุกต์ "รำเพลินเดินปล้ม" Development of an Interactive AR Application for the Applied Traditional Thai Boxing Dance "Ram Ploen Dern Bor Lom"

นิภาพร ชนะมาร¹ นภาพร อินสิน² และ แพรตะวัน จารุตัน^{1*}

Nipaporn Chanamarn¹ Numporn Insin² and Praetawan Jarutan^{1*}

¹สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร จังหวัดสกลนคร 47000

²สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร จังหวัดสกลนคร 47000

¹Program of Computer, Faculty of Science and Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University,
Sakon Nakhon Province, 47000

²Program of Health Science Program, Faculty of Science and Technology,
Sakon Nakhon Rajabhat University, Sakon Nakhon Province, 47000

*Corresponding author E-mail: praetawan9925@snru.ac.th

Received 6 June 2025, Accepted 15 October 2025, Published 17 October 2025

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาแอปพลิเคชันสื่อความจริงเสริมแบบอินเทอร์แอคทีฟเพื่อถ่ายทอดนวัตกรรมการรำมวยโบราณประยุกต์ 2) ประเมินประสิทธิภาพแอปพลิเคชันสื่อความจริงเสริมแบบอินเทอร์แอคทีฟเพื่อถ่ายทอดนวัตกรรมการรำมวยโบราณประยุกต์ และ 3) ประเมินความพึงพอใจต่อการใช้แอปพลิเคชันสื่อความจริงเสริมแบบอินเทอร์แอคทีฟเพื่อถ่ายทอดนวัตกรรมการรำมวยโบราณประยุกต์ พัฒนาตามกระบวนการ SDLC ร่วมกับกระบวนการ 3P โดยใช้ภาษา C# สร้างโมเดลด้วยโปรแกรม Unity และ Blender เครื่องมือที่ใช้เป็นแบบประเมินประสิทธิภาพจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน และแบบประเมินความพึงพอใจจากกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 30 คน โดยใช้วิธีการคัดเลือกแบบเจาะจงและแบบบังเอิญ สถิติที่ใช้ คือ ค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิจัยพบว่า แอปพลิเคชันสื่อความจริงเสริมแบบอินเทอร์แอคทีฟเพื่อถ่ายทอดนวัตกรรมการรำมวยโบราณประยุกต์ ภายใต้อัปพลิเคชัน AR รำเพลินเดินปล้ม ได้นำเสนอท่ารำมวยโบราณ 6 ท่า ได้แก่ ท่าที่ 1 แกว่งแขน ท่าที่ 2 กาเดินก้อนไถ ท่าที่ 3 ไหล่พรายให้ห่าง ท่าที่ 4 ลับโมกข์ศักดิ์ ท่าที่ 5 ท่าช้างม้วนวง และท่าที่ 6 ไถ่เลียบแล้ว โดยโมเดลตัวละคร แบ่งเป็น 3 ลักษณะ คือ โมเดลท่ารำมวยโบราณดั้งเดิม โมเดลกล้ามเนื้อท่ารำมวยโบราณ และโมเดลท่ารำเพลินเดินปล้ม ที่มีความสวยงามสมจริงผ่านแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนระบบแอนดรอยด์ มีประเมินประสิทธิภาพโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ =4.84, S.D.=0.20) และผู้ใช้งานมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ =4.52, S.D.=0.68) จึงสรุปได้ว่าแอปพลิเคชันนี้เป็นนวัตกรรมที่สามารถถ่ายทอดองค์ความรู้การรำมวยโบราณประยุกต์ได้จริง และสามารถเป็นนวัตกรรมที่เข้าถึงได้ทุกเพศทุกวัย โดยเฉพาะอย่างยิ่งกลุ่มผู้รักสุขภาพ ผู้ดูแลผู้สูงอายุ

คำสำคัญ : การรำมวยโบราณ เทคโนโลยีความจริงเสริม แอปพลิเคชันบนมือถือ การอินเทอร์แอคทีฟ

ABSTRACT

The objectives of this research were 1) to develop an Interactive AR application for the Applied Traditional Thai Boxing Dance, 2) to evaluate the effectiveness of AR application, and 3) to evaluate satisfaction with the use of AR application. Develop based on the SDLC process in conjunction with the 3P process using C#, model with Unity and Blender. The tools used were performance assessments from 5 experts and satisfaction assessments from a sample of 30 people using purposive and accidental sampling selection methods. The statistics used are the mean and standard deviation. The results show that the Interactive AR Application for the Applied Traditional Thai Boxing Dance under the title “AR-Ram Ploen Dern Bor Lom” successfully presented six traditional dance postures: 1) Arm Swing, 2) The plow dance, 3) The plow dance, 4) Lap Mokkahasak pose, 5) Elephant Curling Its Trunk, and 6) Kai Liap Coop which. The character model was categorized into three types: (1) the traditional boxing dance model, (2) the traditional boxing dance muscle model, and (3) the applied boxing dance model with realistic aesthetics, and implemented through an Android smartphone application. The overall performance of the application was evaluated at the highest level ($\bar{X}$ =4.84, S.D.=0.20), and user satisfaction was also rated at the highest level ($\bar{X}$ =4.52, S.D.=0.68). It can therefore be concluded that the developed AR application represents an innovation capable of effectively transferring knowledge of ancient boxing dance. This innovation has the potential to be accessible to people of all ages, particularly health enthusiasts and caregivers of the elderly.

Keywords: Ancient Boxing Dance, Augmented Reality Technology, Mobile Application, Interactive

บทนำ

เทคโนโลยีความจริงเสริม (Augmented Reality: AR) และความเป็นจริงเสมือน (Virtual Reality: VR) นับเป็นนวัตกรรมทางเทคโนโลยีที่มีความก้าวหน้าอย่างโดดเด่นในยุคปัจจุบัน และมีศักยภาพอย่างยิ่งในการประยุกต์ใช้เพื่อการพัฒนาและยกระดับในหลากหลายศาสตร์ (Al-Ansi et al., 2023) เทคโนโลยีเหล่านี้เป็นการ “แสดงภาพความจริงเสริม” ทำให้การถ่ายทอดข้อมูลต่างๆ เข้าใจง่าย ชัดเจน เสริมจินตนาการให้เสมือนจริง และลดข้อจำกัดของสื่อชนิดอื่น ๆ ในแง่ความน่าสนใจ (ทรงสิริ และคณะ, 2562) การใช้ AR มีความสอดคล้องกับวิถีชีวิตและรูปแบบการสื่อสารของคนยุคปัจจุบันที่ใช้อุปกรณ์เชื่อมต่อข้อมูลกับอินเทอร์เน็ตตลอดเวลา โดยผ่านมือถือ สมาร์ทโฟน แท็บเล็ต และอุปกรณ์เคลื่อนที่อื่น ๆ (Singh et al., 2024) การใช้งาน AR ก็ไม่ซับซ้อนหรือต้องลงทุนมาก ในปัจจุบันจึงมีการประยุกต์ใช้ AR ในหลายศาสตร์ เช่น การท่องเที่ยว การศึกษา ศิลปวัฒนธรรม การตลาด การแพทย์/สาธารณสุข (Chatsiopoulou and Michailidis 2025) ซึ่งมีความวิจัยของ Chanamarn et al. (2024) ที่ได้พัฒนาสื่อในรูปแบบอินเตอร์แอคทีฟสำหรับใช้งาน โดยการพัฒนาแอปพลิเคชันบนมือถือด้วยเทคโนโลยี ความเป็นจริงเสริมสำหรับการเรียนระบบย่อยอาหารของนักเรียนชั้นประถมศึกษาตอนปลาย ซึ่งเป็นแอปพลิเคชัน AR ที่สามารถเรียนรู้ข้อมูลได้ผ่านแอปพลิเคชัน 2 แบบ คือ แบบเรียนรู้ข้อมูลผ่านแผ่นมาร์กเกอร์ และเรียนรู้ข้อมูลผ่านเนื้อหาในแอปพลิเคชัน เป็นสื่อการเรียนที่เหมาะสมสำหรับนักเรียนและช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเรียนการสอนให้ดีขึ้น สามารถใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนในกลุ่มสาระเรียนรู้วิทยาศาสตร์ และมีประโยชน์ต่อโรงเรียนสามารถช่วยลดต้นทุนในการจัดซื้อสื่อการเรียนสำหรับนักเรียนได้ ส่วนงานวิจัยของ Sampaothon and Sanchana (2023) ได้พัฒนาแอปพลิเคชันส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงเกษตรของภักดีฟาร์มด้วยเทคโนโลยีความเป็นจริงเสริม ซึ่งพัฒนาด้วยโปรแกรม Unity เขียนชุดคำสั่งด้วยภาษา C# ออกแบบโมเดล 3 มิติ ด้วยโปรแกรม Blender ซึ่งได้แอปพลิเคชันที่สามารถใช้งานได้จริงโดยนักท่องเที่ยวมีความพึงพอใจต่อการใช้งานแอปพลิเคชันส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงเกษตรนี้อยู่ในระดับมาก ซึ่งจากการวิจัยที่ยกมาข้างต้นนั้นมีความน่าสนใจและน่าดึงดูดทั้งการเรียนและการท่องเที่ยว

คณะผู้วิจัยเล็งเห็นถึงความทันสมัยของเทคโนโลยี AR และกำลังเป็นที่นิยมในการประยุกต์ใช้งาน จึงได้ทำการศึกษา รูปแบบและท่าทางการเคลื่อนไหวกล้ามเนื้อในท่ารำแต่ละท่าของการรำมวยโบราณประยุกต์ ตามรูปแบบของชมรมมวยโบราณจังหวัดสกลนคร พบว่า กลุ่มกล้ามเนื้อที่มีการเคลื่อนไหวมากที่สุด ได้แก่ กลุ่มกล้ามเนื้อขาและแขน โดยคิดเป็นกล้ามเนื้อที่ใช้เคลื่อนไหวในทุกท่าทั้ง 12 ท่า คิดเป็นร้อยละ 100 ผลของการออกกำลังกายด้วยรำมวยโบราณประยุกต์ ต่อสมรรถภาพทางกาย คือ ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา และความสามารถในการทรงตัวเพิ่มขึ้นเมื่อมีการปฏิบัติอย่างต่อเนื่อง 8 สัปดาห์ จะช่วยให้ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา และความสามารถในการทรงตัวเพิ่มขึ้นนั้น จึงได้ชื่อนวัตกรรม “รำเพลิน เดินปล้ม: เป็นนวัตกรรมการออกกำลังกายเพื่อลดโอกาสเสี่ยงการหกล้มและการบาดเจ็บในผู้สูงอายุ” ได้ประยุกต์การรำมวยโบราณประยุกต์ของชมรมมวยโบราณจังหวัดสกลนครมาดัดแปลงท่ารำ จำนวน 6 ท่ารำ เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา และความสามารถในการทรงตัว ชุดท่ารำทั้ง 6 ท่า ได้แก่ ท่าแกว่งแขนโยกไหล่ ท่าแม่ไก่หากิน ท่าลูกนกหัดบิน ท่าโรคร้ายกวาดหนี ท่าสุขภาพดีกวาดเข้า และท่าเราเดินปล้ม จากท่ารำดังกล่าวได้นำไปขยายผลการใช้ประโยชน์ในรูปแบบการออกบริการวิชาการด้วยการฝึกอบรม ดังนั้นเพื่อให้การถ่ายทอดองค์ความรู้ให้กับผู้ที่สนใจได้เข้าถึงตลอดเวลา ทุกช่วงวัย กอปรกับเทคโนโลยีปัจจุบันมีความทันสมัยมากขึ้น จะสามารถทำให้เข้าถึงได้อย่างสะดวก ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีวัตถุประสงค์ในการนำเทคโนโลยี AR มาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาแอปพลิเคชันสื่อความจริงเสริมแบบอินเทอร์แอคทีฟของท่ารำมวยโบราณประยุกต์ภายใต้ชื่อนวัตกรรม “AR รำเพลินเดินปล้ม” เพื่อถ่ายทอดองค์ความรู้ท่ารำมวยโบราณประยุกต์ในการส่งเสริมและช่วยให้ชมรมผู้สูงอายุในท้องถิ่นมีกิจกรรมที่หลากหลาย สามารถให้บริการผู้สูงอายุได้กว้างและครอบคลุม ทุกช่วงวัยที่มีข้อจำกัดในการร่วมออกกำลังกายกับชมรมมากขึ้น

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. การรำมวยโบราณ (Ancient Boxing Dance) เป็นศิลปะการเคลื่อนไหวที่ถ่ายทอดท่วงท่าของมวยไทยในลักษณะการรำแบบมีจังหวะที่ต่อเนื่องและงดงาม ใช้เพื่อฝึกสมาธิ การทรงตัว และพัฒนาความแข็งแรงของร่างกาย โดยมีรากฐานมาจากมวยไทยโบราณที่เน้นท่าทางเชิงศิลปะมากกว่าการปะทะจริง นิยมใช้ในการอนุรักษ์วัฒนธรรมไทย แสดงในงานพิธีหรือกิจกรรมส่งเสริมสุขภาพ โดยเฉพาะในกลุ่มผู้สูงอายุหรือผู้ที่ต้องการออกกำลังกายแบบช้าและปลอดภัย เป็นการผสมผสานระหว่างศิลปะ วัฒนธรรม และการฟื้นฟูร่างกายอย่างมีคุณค่า (กฤษดากร, 2563)
2. เทคโนโลยีความจริงเสริม (Augmented Reality: AR) คือ สื่อหรือเทคโนโลยีที่สร้างประสบการณ์เสมือนจริงให้กับผู้ใช้ โดยใช้คอมพิวเตอร์กราฟิกส์ ระบบเสียง และการโต้ตอบ เพื่อให้ผู้ใช้รู้สึกเหมือนได้เข้าไปอยู่ในสภาพแวดล้อมที่จำลองขึ้น ไม่ว่าจะเป็นสถานที่จริงหรือสถานที่ในจินตนาการ ผู้ใช้สามารถมองเห็น เคลื่อนไหว และโต้ตอบกับวัตถุหรือสิ่งแวดลอมในโลกเสมือนนั้นได้ผ่านอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น แว่น VR (Virtual Reality Headset) (พระมหาวิรัช, 2560) เป็นการใช้เทคโนโลยีเสริมภาพเสมือนเข้าไปในโลกแห่งความจริง เพื่อสร้างประสบการณ์สื่อสารที่สมจริง มีส่วนร่วม และเข้าใจเนื้อหาได้ดียิ่งขึ้น โดยเฉพาะในด้านการศึกษ การแพทย์ วัฒนธรรม และความบันเทิง (วิวัฒน์, 2554)
3. แอปพลิเคชันสื่อความจริงเสริม (Applications of Augmented Reality Media) คือ การนำเทคโนโลยีสื่อความจริงเสริมหรือเสมือนจริง (AR) ไปประยุกต์ใช้ในสาขาต่าง ๆ เพื่อสร้างประสบการณ์ที่สมจริงและมีปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้ โดยมีเป้าหมายเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเรียนรู้ การฝึกอบรม หรือความบันเทิง (Li et al., 2025)
4. แอปพลิเคชันแบบอินเทอร์แอคทีฟ (Interactive Application) คือ โปรแกรมหรือระบบที่ออกแบบมาให้ผู้ใช้สามารถโต้ตอบ กับเนื้อหา หรือองค์ประกอบต่าง ๆ ของแอปพลิเคชันได้โดยตรง ไม่ใช่แค่รับข้อมูลเพียงทางเดียว แต่สามารถสั่งงาน เลือกรูปแบบ คลิก ลาก วาง หรือสื่อสารกับระบบได้แบบสองทาง เพื่อให้เกิดการมีส่วนร่วมและประสบการณ์ที่ตอบสนองต่อผู้ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (โสภณ, 2559)

5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศรัณญา และทศนันท์ (2562) ได้พัฒนาแอปพลิเคชันส่งเสริมการท่องเที่ยว 7 เมนูอาหารที่ต้องชิมในจังหวัดเพชรบูรณ์ด้วยเทคโนโลยีเสมือนจริง การพัฒนาใช้โปรแกรม Unity และโปรแกรมภาษา C# ประเมินความพึงพอใจด้วยนักท่องเที่ยวคนไทยที่เข้ามาท่องเที่ยวในอำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ ในด้านด้านเนื้อหา ด้านการออกแบบและจัดรูปแบบ และด้านประโยชน์ของแอปพลิเคชันต่อการนำไปใช้งาน นักท่องเที่ยวมีความพึงพอใจต่อการใช้งานรวมอยู่ในระดับมาก

พรทิพย์ และรุจโรจน์ (2563) ได้พัฒนาแอปพลิเคชันความเป็นจริงเสริม เรื่องระบบสุริยจักรวาล สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 ใช้โปรแกรม OpenSpace สร้างโมเดล 3 มิติ และสามารถแตะหมุนได้ 360 องศา ความเหมาะสมของแอปพลิเคชันในระดับมาก และกลุ่มตัวอย่างนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนบ้านราวต้นจันทร์ จังหวัดสุโขทัย มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด เพราะแอปพลิเคชันมีแรงจูงใจให้เกิดการเรียนรู้, นักเรียนชอบความรวดเร็วในการโต้ตอบกับแอปพลิเคชัน นักเรียนชอบเสียงที่ใช้ประกอบ

ภาภรณ์ และคณะ (2566) ได้พัฒนาสื่อเชิงโต้ตอบแนะนำอุปกรณ์ออกกำลังกายด้วยเทคโนโลยีทัวร์เสมือนจริง 360 องศา จัดทำสื่อแอปพลิเคชัน Matterport ตามกระบวนการ 3P สื่อมีองค์ประกอบ 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนแสดงผลภาพและส่วนแสดงผลข้อมูล โดยสื่อที่พัฒนาขึ้นสามารถให้ข้อมูลมีรายละเอียดที่ชัดเจนความพึงพอใจ ของผู้ใช้บริการในการใช้สื่อเชิงโต้ตอบแนะนำอุปกรณ์ออกกำลังกายอยู่ในระดับมากที่สุด

Samphaon and Sanchana (2023) ได้พัฒนาแอปพลิเคชันส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงเกษตรของภักดีฟาร์ม ด้วยเทคโนโลยีความเป็นจริงเสริม พัฒนาตามกระบวนการ SDLC ด้วยโปรแกรม Unity เขียนชุดคำสั่งด้วยภาษา C# ออกแบบโมเดล 3 มิติ ด้วยโปรแกรม Blender และ ARCore แอปพลิเคชันที่ได้มีหลักการการทำงานโดยใช้กล้องบนมือถือสแกนหาพื้นที่ว่างจากนั้นโปรแกรมจะทำการหาพื้นที่เพื่อสร้างโมเดล 3 มิติ ซึ่งจากการประเมินความพึงพอใจ 3 ด้าน ทั้งด้านเนื้อหา ด้านการออกแบบและจัดรูปแบบ และด้านประโยชน์ของแอปพลิเคชันต่อการนำไปใช้งาน นักท่องเที่ยวมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก จากข้างต้นจึงสรุปได้ว่าการนำเทคโนโลยีความเป็นจริงเสริมมาประยุกต์ใช้ในการท่องเที่ยว การออกกำลังกาย และการศึกษานั้นได้รับความนิยมและมีหลากหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับบริบทและประเด็นความต้องการพัฒนานวัตกรรมหรือแอปพลิเคชัน ดังนั้นในบทความวิจัยนี้จึงสนใจที่จะนำหลักการเทคโนโลยีความเป็นจริงเสริมมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาแอปพลิเคชันถ่ายทอดนวัตกรรมทำร่มมวยโบราณประยุกต์ให้สามารถเป็นสื่อที่เข้าถึงได้สะดวกและใช้งานได้ทุกช่วงวัย

Chanamarn et al. (2024) ได้พัฒนาแอปพลิเคชันบนมือถือด้วยเทคโนโลยีความเป็นจริงเสริมสำหรับการเรียนระบบย่อยอาหารของนักเรียนชั้นประถมศึกษาตอนปลาย ได้พัฒนาตามกระบวนการ SDLC โดยใช้ภาษา C# สร้างโมเดลด้วยโปรแกรม Unity และ Blender ซึ่งมีการประเมิน 3 แบบ คือประเมินประสิทธิภาพแอปพลิเคชัน ประเมินความพึงพอใจ และประเมินประสิทธิภาพนวัตกรรม พบว่า แอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นมีทั้งหมด 8 โมเดล สามารถทำงานได้ 2 ลักษณะ คือ 1) เรียนรู้โดยการสแกนผ่าน Marker และ 2) เรียนรู้โดยการเลือกเมนูในเนื้อหา ซึ่งมีประสิทธิภาพอยู่ในระดับมากที่สุด ประสิทธิภาพ E1/E2 เท่ากับ 80.56/83.89 สูงกว่าประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่กำหนด และความพึงพอใจของผู้ใช้งานอยู่ในระดับมากที่สุด

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ได้ดำเนินการตามระเบียบวิธีวิจัยการวิจัยและพัฒนา (Research and development) อธิบายรายละเอียดได้ดังนี้

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง ประชากรที่ใช้ในการศึกษาคือผู้ที่กำลังเข้าสู่วัยสูงอายุและผู้สูงอายุ วัยทำงาน และวัยรุ่น ที่อาศัยอยู่ในเขตเทศบาลนครสกลนคร กลุ่มตัวอย่าง คือ ชมรมผู้สูงอายุ จำนวน 8 คน คัดเลือกโดยวิธีการแบบเจาะจง กลุ่มวัยทำงาน วัยรุ่น และผู้รักการออกกำลังกาย จำนวน 22 คน คัดเลือกโดยวิธีการแบบบังเอิญ รวมทั้งสิ้น 30 คน เพื่อประเมินผลการใช้งานแอปพลิเคชันสื่อความจริงเสริม

ผู้เชี่ยวชาญสำหรับประเมินประสิทธิภาพ ประกอบด้วย ผู้เชี่ยวชาญด้านท่าร่วมวิทยุโบราณ จำนวน 1 คน ด้านกายวิภาค จำนวน 1 คน ด้านเทคโนโลยีสารสนเทศและเทคโนโลยีความจริงเสริมมีประสบการณ์อย่างน้อย 5 ปี จำนวน 3 คน รวมทั้งสิ้น 5 คน

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย 1) แอปพลิเคชันสื่อความจริงเสริมแบบอินเทอร์แอคทีฟเพื่อถ่ายทอดนวัตกรรมการท่าร่วมวิทยุโบราณประยุกต์ "รำเพลินเดินปล้ม" 2) แบบประเมินประสิทธิภาพแอปพลิเคชัน และ 3) แบบประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานแอปพลิเคชัน

ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย คณะผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาแอปพลิเคชันนี้ ตามวงจรการพัฒนาระบบ (SDLC) (Sampaophon and Sanchana, 2023; Chanamarn et al., 2024) ประกอบไปด้วย 7 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาครั้งนี้เพื่อพัฒนาสื่อนวัตกรรมในรูปแบบแอปพลิเคชันเพื่อให้ทุกช่วงวัยเข้าถึงข้อมูล สามารถถ่ายทอดองค์ความรู้ท่าร่วมวิทยุโบราณ ดังนั้นขั้นตอนนี้ได้จัดทำท่าร่วมวิทยุโบราณที่ได้จากงานวิจัยนวัตกรรม "รำเพลิน เดินปล้ม" เป็นนวัตกรรมการออกกำลังกายที่ดัดแปลงท่าร่วมจากการท่าร่วมวิทยุโบราณประยุกต์ของชมรมมวยโบราณสกลนครให้ทำได้ง่ายขึ้นและให้ได้ประโยชน์ครบถ้วนตามหลักการออกกำลังกายของผู้สูงอายุ จำนวน 6 ท่ารำ คือ ท่าแกว่งแขน โยกไหล่ ท่าแม่ไก่ท่ากิน ท่าลูกนกหักบิน ท่าโรคร้ายกวาดหนี ท่าสุขภาพดีถ้วนหน้า และท่าเราเดินปล้ม

ขั้นตอนที่ 2 การวิเคราะห์ เป็นการนำข้อมูลท่าร่วมวิทยุโบราณที่ได้มาทำการวิเคราะห์ความต้องการของผู้ใช้งานและเลือกใช้เครื่องมือสำหรับการพัฒนาแอปพลิเคชัน ซึ่งจากการวิเคราะห์ความต้องการ คือ ต้องการนำเสนอท่าร่วมวิทยุโบราณท่าดั้งเดิมของ 6 ท่ารำ และต้องการนำเสนอส่วนของกลัมนเนื้อที่ได้รับเมื่อมีการออกกำลังกายตามท่ารำเหล่านั้นอย่างสม่ำเสมอ

ขั้นตอนที่ 3 การออกแบบ เป็นการวิเคราะห์ออกแบบก่อนทำการพัฒนาแอปพลิเคชัน ซึ่งขั้นตอนนี้คณะผู้วิจัยได้ประยุกต์การพัฒนาด้วยกระบวนการผลิตสื่อแบบ 3P คือ Pre - production ขั้นตอนการเตรียมงาน Production ขั้นตอนการผลิตรายการ และ Post - production ขั้นตอนหลังการผลิต (दनัยพร และปัญญรัตน์, 2560) โดยมีขั้นตอนดังนี้

1) P1 = Pre - production คือ ขั้นตอนของการเตรียมงาน ซึ่งนำรายละเอียดของท่ารำทั้ง 6 ท่ารำมาทำการออกแบบสตอรี่บอร์ด (Story Board) ทั้งท่าร่วมวิทยุโบราณท่าดั้งเดิม ออกแบบโมเดลกลัมนเนื้อท่าร่วมวิทยุโบราณ และท่ารำเพลินเดินปล้ม ดังแสดงตัวอย่างท่ารำในตารางที่ 1-3 ทั้งนี้ทำการเตรียมติดตั้งโปรแกรมและเครื่องมือที่ใช้ในการผลิตและการเตรียมการบันทึกเสียงบรรยาย

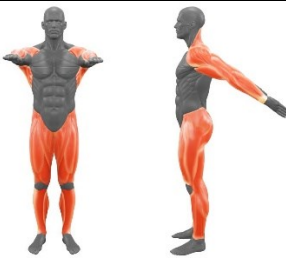
2) P2 = Production เป็นขั้นตอนการผลิต การปั้นโมเดล การสร้างตัวควบคุมใบหน้าและร่างกาย การสร้างการเคลื่อนไหวให้กับโมเดล 3 มิติ กำหนดจัดแสงให้กับฉาก เรียบเรียงโมเดลและการออกแบบฉากตามสตอรี่บอร์ด และทำการโมชันในแต่ละฉาก ตัดต่อ เรียบเรียง จัดองค์ประกอบ การออกแบบหน้าจอ และการพัฒนาแอปพลิเคชันสื่อเสมือนจริง ดังแสดงตัวอย่างในภาพที่ 1 การออกแบบหน้าจอ เป็นการออกแบบหน้าจอของแอปพลิเคชันที่มีการวางองค์ประกอบอะไรบางอย่างในหน้าหลักของเนื้อหาแต่ละท่ารำ ภาพที่ 2 การออกแบบโมเดลตัวละคร เป็นการใส่โปรแกรมในการสร้างโมเดล 3 มิติ เพื่อปั้นตัวละคร และภาพที่ 3 แผนผังการทำงานของแอปพลิเคชัน เป็นการออกแบบผังการทำงานของแอปพลิเคชันตั้งแต่เปิดใช้งานแอปพลิเคชันจนถึงการปิดการใช้งานแอปพลิเคชัน

3) P3 = Post-production คือ ขั้นตอนระหว่างการผลิตและหลังการผลิต ซึ่งจะต้องมีการทดสอบทดลองการใช้งานแอปพลิเคชัน และตรวจสอบความถูกต้องการทำงานและแก้ไข

ตารางที่ 1 แสดงท่ารำมวยโบราณ

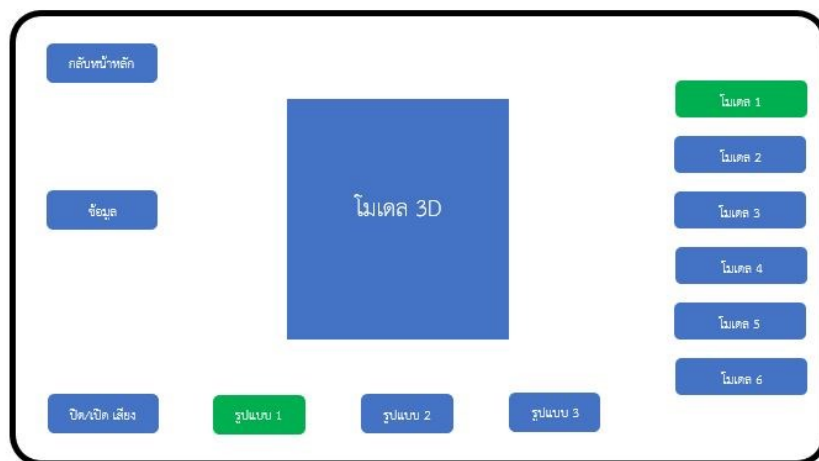
ท่ารำ	คำอธิบาย
	1. แกว่งแขน ยืนแยกขาให้ระยะห่างเท่ากับความยาวของหัวไหล่ เขยียดแขนทั้งสองข้างไปข้างหน้าขนานกับพื้น ย่อหัวเข่าลงพร้อมกับตัวค้อมมือลงให้อยู่ข้างหัวเข่า ยืดตัวขึ้นพร้อมกับตัวค้อมมือและแขนไปอยู่ด้านหลัง เขยียดตั้ง ให้ปฏิบัติเหมือนจังหวะที่ 3 ให้ปฏิบัติเหมือนจังหวะที่ 2 ประโยชน์ที่ได้รับ บริหาร แขน, หัวไหล่, ข้อเท้า, น่องและหัวเข่า โมเดล ตัวละครท่าแกว่งแขนเคลื่อนไหวแบบวนซ้ำ เสียง คำอธิบายท่าแกว่งแขน ปุ่มคำสั่ง เลือกโมเดลที่ 1 - โมเดลที่ 6, กลับหน้าหลัก, ข้อมูล, ปิด/เปิด เสียง
	2. กาเดินก้อนไถ ยืนตรงย่อเข่าเล็กน้อย กำมือทั้งสองข้างไว้ที่บันเอวพร้อมกับก้าวเท้าซ้ายและขวาเดินสลับกันไป ประโยชน์ที่ได้รับ บริหาร ข้อเท้า, น่อง, ต้นขา, หัวเข่าและเอว โมเดล ตัวละครท่ากาเดินก้อนไถเคลื่อนไหวแบบวนซ้ำ เสียง คำอธิบายท่ากาเดินก้อนไถ ปุ่มคำสั่ง เลือกโมเดลที่ 1 - โมเดลที่ 6, กลับหน้าหลัก, ข้อมูล, ปิด/เปิด เสียง

ตารางที่ 2 โมเดลกล้ามเนื้อท่ารำมวยโบราณ

ท่ารำ	คำอธิบาย
	1. แก้วแขน มีการเคลื่อนไหวมัดกล้ามเนื้อ จำนวน 7 มัด ได้แก่ 1. กล้ามเนื้อหัวไหล่ (Deltoid Muscle) 2. กล้ามเนื้อด้านหลังต้นแขน (Triceps Brachii) 3. กล้ามเนื้อหลังส่วนล่าง (Latissimus Dorsi) 4. กล้ามเนื้อสะโพก (Gluteus Muscle) 5. กล้ามเนื้อต้นขาด้านหลัง (Hamstrings Muscle) 6. กล้ามเนื้อต้นขา ด้านหน้า (Quadriceps Muscle) 7. กล้ามเนื้อน่อง (Gastrocnemius Muscle) โมเดล ตัวละครท่าแก้วแขนเคลื่อนไหวแบบวนซ้ำ ปุ่มคำสั่ง เลือกโมเดลที่ 1 - โมเดลที่ 6, กลับหน้าหลัก, ข้อมูล, ปิด/เปิด เสียง
	2. กาเต้นก๊อนไถ มีการเคลื่อนไหวมัดกล้ามเนื้อ จำนวน 7 มัด ได้แก่ 1. กล้ามเนื้อหลังส่วนบน (Trapezius Muscle) 2. กล้ามเนื้อสะโพก (Gluteus Muscle) 3. กล้ามเนื้อต้นขาด้านหลัง (Hamstrings Muscle) 4. กล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า (Quadriceps Muscle) 5. กล้ามเนื้อน่อง (Gastrocnemius Muscle) 6. กล้ามเนื้อ หน้าแข้ง (Tibialis Anterior Muscle) 7. กล้ามเนื้อหน้าท้องด้านข้าง (External Oblique) โมเดล ตัวละครท่ากาเต้นก๊อนไถเคลื่อนไหวแบบวนซ้ำ ปุ่มคำสั่ง เลือกโมเดลที่ 1 - โมเดลที่ 6, กลับหน้าหลัก, ข้อมูล, ปิด/เปิด เสียง

ตารางที่ 3 แสดงท่ารำเพลินดินบ่ล้ม

ท่ารำ	คำอธิบาย
	1. ท่าแกว่งแขน โยกไหล เริ่มต้นด้วยการยืนแยกขา เหยียดแขนตรงไปข้างหน้า ย่อเข้าพร้อมกับตัวแขนลงเหยียดตั้งไปข้างหลัง ตามด้วยยืดตัวและตัวแขนขึ้นกลับมาในท่าเดิม ท่านี้จะยืดเหยียดแขน และขา ช่วยเพิ่มความแข็งแรงของขาในการย่อ โมเดล ตัวละครท่าท่าแกว่งแขน โยกไหล เคลื่อนไหวแบบวนซ้ำ เสียง คำอธิบายท่าท่าแกว่งแขน โยกไหล ปุ่มคำสั่ง เลือกโมเดลที่ 1 - โมเดลที่ 6, กลับหน้าหลัก, ข้อมูล, ปิด/เปิด เสียง, ข้อมูลโดยย่อ (มีการแสดงข้อมูลเนื้อหาโดยย่อ แต่เสียงบรรยายเป็นเสียงบรรยายแบบเต็ม)
	2. ท่าแม่ไก่หากิน กำมือทั้งสองข้างวางไว้ที่บั้นเอวพร้อมกับย่อเท้าซ้ายสลับขวา ท่านี้บริหาร ข้อเท้า, ขา, ต้นขา, หัวเข่า โมเดล ตัวละครท่าแม่ไก่หากิน เคลื่อนไหวแบบวนซ้ำ เสียง คำอธิบายท่าแม่ไก่หากิน ปุ่มคำสั่ง เลือกโมเดลที่ 1 - โมเดลที่ 6, กลับหน้าหลัก, ข้อมูล, ปิด/เปิด เสียง, ข้อมูลโดยย่อ (มีการแสดงข้อมูลเนื้อหาโดยย่อ แต่เสียงบรรยายเป็นเสียงบรรยายแบบเต็ม)

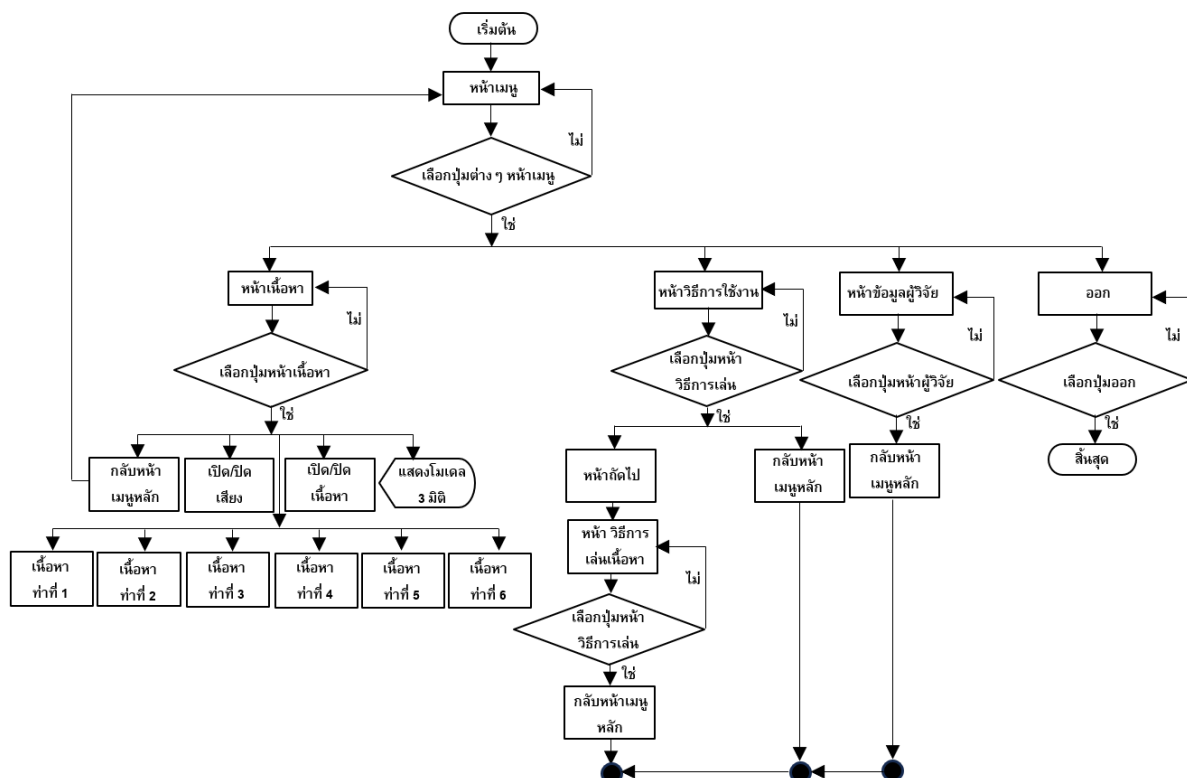


ภาพที่ 1 การออกแบบหน้าจอหลักของแอปพลิเคชัน



ภาพที่ 2 การออกแบบโมเดลตัวละครแสดงท่าร่วมวัยโบราณ โมเดลแสดงกล้ามเนื้อ และโมเดลท่ารำเพลินเดินบ่ล้ม

ขั้นตอนที่ 4 การพัฒนาแอปพลิเคชัน เป็นขั้นตอนในการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา C# เขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของส่วนต่างๆ สามารถควบคุมการทำงานได้ ใช้โปรแกรม Blender และ Unity 3D (Chanamarn et al., 2024) ในการสร้างโมเดล 3 มิติ และการควบคุมการหมุนของวัตถุใน 3 มิติ ในตอนสุดท้ายในการพัฒนาคือการสร้างให้มีความสมบูรณ์ .apk เพื่อสามารถนำไปติดตั้งบนอุปกรณ์สมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์



ภาพที่ 3 แผนผังการทำงานของแอปพลิเคชัน

ขั้นตอนที่ 5 การทดสอบ เป็นการนำแอปพลิเคชันที่พัฒนาเรียบร้อยแล้วมาทำการทดสอบแบบ Black Box Testing (Weerapan, 2018) เป็นการทดสอบเชิงพฤติกรรมเพื่อประเมินว่าแอปพลิเคชันทำงานได้ถูกต้องตามขอบเขตที่กำหนดไว้ มีการประเมิน 4 ด้าน คือ ด้านเนื้อหา ด้านการออกแบบ ด้านความง่ายต่อการใช้งานหรือการปฏิสัมพันธ์ และด้านการนำไปใช้ประโยชน์ ซึ่งทำการประเมินประสิทธิภาพจากผู้เชี่ยวชาญ 5 คน เพื่อจะได้ปรับปรุงแอปพลิเคชันก่อนนำไปใช้งานจริง

ขั้นตอนที่ 6 การติดตั้ง เป็นขั้นตอนดาวน์โหลดแอปพลิเคชันเพื่อทำการติดตั้งบนโทรศัพท์มือถือที่ใช้ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ และนำไปประเมินความพึงพอใจต่อการใช้ออปพลิเคชันจากกลุ่มตัวอย่าง 30 คน

ขั้นตอนที่ 7 การบำรุงรักษา เป็นการตรวจสอบข้อมูลความถูกต้องของแอปพลิเคชันก่อนทำการเผยแพร่

การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติที่ใช้ในการวิจัย การประเมินประสิทธิภาพแอปพลิเคชันสื่อความจริงเสริมแบบอินเทอร์แอคทีฟเพื่อถ่ายทอดนวัตกรรมการร่ำรวยโบราณประยุกต์ “รำเพลิน เดินปล้ม” ใช้ระดับการวัดข้อมูลประเภทอัตราภาค (Interval Scale) หรือมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) ลักษณะของคำถามเป็นปลายปิดแบบสเกลการให้คะแนน โดยกำหนดค่าน้ำหนักของการประเมินเป็น 5 ระดับ ตามแนวคิดของ Likert ได้ดังนี้

ระดับคะแนน 5 หมายถึง มากที่สุด

ระดับคะแนน 4 หมายถึง มาก

ระดับคะแนน 3 หมายถึง ปานกลาง

ระดับคะแนน 2 หมายถึง น้อย

ระดับคะแนน 1 หมายถึง น้อยที่สุด

สถิติที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยนำผลที่ได้เทียบกับเกณฑ์การประเมิน (Chanamarn et al., 2024) ดังนี้

ค่าเฉลี่ย 4.50 - 5.00 หมายถึง ระดับมากที่สุด

ค่าเฉลี่ย 3.50 - 4.49 หมายถึง ระดับมาก

ค่าเฉลี่ย 2.50 - 3.49 หมายถึง ระดับปานกลาง

ค่าเฉลี่ย 1.50 - 2.49 หมายถึง ระดับน้อย

ค่าเฉลี่ย 1.00 - 1.49 หมายถึง ระดับน้อยที่สุด

ผลการวิจัย และวิจารณ์ผลการวิจัย

1. ผลการพัฒนาแอปพลิเคชันสื่อความจริงเสริมแบบอินเทอร์แอคทีฟเพื่อถ่ายทอดนวัตกรรมการร่ำรวยโบราณประยุกต์ “รำเพลิน เดินปล้ม”

การพัฒนาแอปพลิเคชันสื่อความจริงเสริมแบบอินเทอร์แอคทีฟเพื่อถ่ายทอดนวัตกรรมการร่ำรวยโบราณประยุกต์ “รำเพลิน เดินปล้ม” ซึ่งเป็นแอปพลิเคชันบนมือถือ โดยใช้ชื่อเรียกว่า “AR Application: รำเพลิน เดินปล้ม” เป็นแอปพลิเคชันเสมือนจริงในการถ่ายทอดทำรำรวยโบราณ ที่ได้นำมาประยุกต์เป็นทำรำรวยประยุกต์สำหรับผู้สูงอายุในการออกกำลังกาย เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ และความสามารถในการทรงตัว อีกทั้งยังเป็นแอปพลิเคชันที่คนทุกกลุ่มอายุเข้าถึงได้ง่าย โดยเฉพาะผู้ดูแลผู้สูงอายุ หรือผู้ที่รักการออกกำลังกาย ซึ่งในแอปพลิเคชันนี้ ได้มีการถ่ายทอดในรูปแบบโมเดล 3 มิติ ใน 3 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 นำเสนอโมเดลสามมิติทำรำรวยโบราณแบบดั้งเดิม 6 ท่ารำ คือ ท่าแกว่งแขน ท่ากาเต้นก้อนไผ่ ท่าไล่พรายให้ห่าง ท่าลับโมกษศักดิ์ ท่าช้างม้วนงวง และท่าไก่เลียบเล้า ส่วนที่ 2 นำเสนอกล้ามเนื้อทางกายวิภาคศาสตร์ จากข้อมูลการออกกำลังกายจากทำรำรวยโบราณแบบดั้งเดิม ทั้ง 6 ท่ารำนี้ จะได้กล้ามเนื้อที่แข็งแรงแตกต่างกันไปตามข้อมูลการประเมินผลจากผู้เชี่ยวชาญ และส่วนที่ 3 เป็นการนำเสนอโมเดล 3 มิติ ทำรำรวยโบราณแบบดั้งเดิมที่ผ่าน

การประยุกต์ใช้อุปกรณ์เสริม ที่เรียกว่า อุปกรณ์เสริมน้ำหนักแบบฟรีเวทสวมใส่ที่ข้อเท้าทั้งสองข้าง น้ำหนักข้างละ 0.5 กิโลกรัม จะได้ท่าร่วมวยประยุกต์ คือ ท่าแกว่งแขนโยกไหล่ ท่าแม่ไก่หากิน ท่าลูกนกหัดบิน ท่าโรคร้ายกวาดหนี ท่าสุขภาพดีกวาดเข้าและท่าเราเดินปล้ม ผลของการพัฒนาแอปพลิเคชันในหน้าหลัก ประกอบไปด้วยปุ่มกดหรือเมนูต่างๆ ได้แก่ เนื้อหา เป็นส่วนเข้าไปสู่เมนูย่อยของท่าท่า ทั้ง 6 ท่าท่า วิธีการใช้งาน เป็นส่วนแนะนำถึงวิธีการใช้งานแอปพลิเคชัน คณะผู้วิจัยแสดงข้อมูลคณะผู้ร่วมวิจัยทั้งหมด และปุ่มออก เป็นการปิดการใช้งานแอปพลิเคชันหรือการออกจากการใช้งาน แสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 หน้าจอหลักของแอปพลิเคชัน

โมเดลท่าร่วมวยโบราณ ท่าที่ 1 แกว่งแขน เป็นท่าร่าดั้งเดิม ซึ่งในแอปพลิเคชันจะสามารถให้ข้อมูลความรู้เกี่ยวกับท่า ร่า พร้อมเสียงบรรยายท่าท่า สามารถฝึกตามได้ มีข้อมูลรายละเอียดอธิบายประกอบ ที่สามารถเปิดปิดเสียงและคำอธิบายได้ ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 โมเดลท่าร่วมวยโบราณ ท่าที่ 1 แกว่งแขน

โมเดลกายวิภาคศาสตร์ ท่าที่ 1 แกว่งแขน เป็นการให้ข้อมูลรายละเอียดของกล้ามเนื้อเมื่อออกกำลังกายด้วยท่านี้ อย่างสม่ำเสมอ ซึ่งโมเดลนี้จะสามารถหมุนได้ 360 องศา ดังแสดงในภาพที่ 6



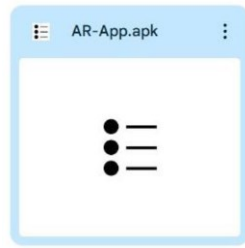
ภาพที่ 6 โมเดลกายวิภาคศาสตร์ ท่าที่ 1 กว้างแขน

โมเดลท่ารำประยุกต์ ท่าที่ 1 กว้างแขน โยกไหล่ เป็นการให้ข้อมูลท่ารำประยุกต์ ที่จะให้รายละเอียดของการทำตามท่ารำ พร้อมทั้งสิ่งที่ได้จากการออกกำลังกายจากท่ารำนี้ และให้ข้อมูลผลการประเมินประสิทธิภาพจากการออกกำลังกายจริงจากกลุ่มผู้สูงอายุ ดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 โมเดลท่ารำประยุกต์ ท่าที่ 1 กว้างแขน โยกไหล่

การใช้งานแอปพลิเคชัน “AR Application: รำเพลิน เดินบ่ล้ม” นั้น ให้ทำการ Build แอปพลิเคชัน ชื่อ AR-App.apk ดังภาพที่ 8(ก) ออกมาอยู่ในรูปแบบไฟล์ .apk เพื่อนำไปทดสอบในระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ โดยการติดตั้งแอปพลิเคชันต้องทำการดาวน์โหลดแอปพลิเคชัน ตาม QR Code ดังภาพที่ 8(ข) เมื่อดาวน์โหลดเรียบร้อยแล้วให้ทำการติดตั้งจากไอคอน “รำเพลินเดินบ่ล้ม” ดังภาพที่ 8(ค)



(ก) AR-App.apk



(ข) QR Code



(ค) ไอคอนแอปพลิเคชัน

ภาพที่ 8 ขั้นตอนสำหรับดาวน์โหลดติดตั้งแอปพลิเคชัน: (ก) AR-App.apk (ข) QR Code และ (ค) ไอคอนแอปพลิเคชัน

2. ผลการประเมินประสิทธิภาพแอปพลิเคชันสื่อความจริงเสริมแบบอินเทอร์แอคทีฟเพื่อถ่ายทอดทำรำมวยโบราณ ประยุกต์ “รำเพลิน เดินปล้ม”

ผลจากการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 คน จากตารางที่ 4 พบว่าประสิทธิภาพของแอปพลิเคชัน ทั้ง 4 ด้าน โดยภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ที่ค่าเฉลี่ย 4.53 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.20 เมื่อพิจารณารายด้านพบว่า ด้านการนำไปใช้ประโยชน์มีประสิทธิภาพดีกว่าทุกด้าน ที่ค่าเฉลี่ย 5.00 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.00 ซึ่งจะเห็นได้ว่าสอดคล้องกับเป้าหมายงานวิจัยเพื่อพัฒนานวัตกรรมที่สามารถถ่ายทอดองค์ความรู้ด้านทำรำมวยประยุกต์ให้สามารถเข้าถึงได้ทุกเพศทุกวัย ที่สามารถใช้เป็นสื่อถ่ายทอดองค์ความรู้ทำทางพร้อมอุปกรณ์เสริมการรำมวยโบราณประยุกต์ได้ เป็นสื่อประชาสัมพันธ์การดูแลสุขภาพ ให้กับผู้สูงอายุ และคนทั่วไปได้ และสามารถใช้งานได้ง่ายในทุกที่ที่สะดวกในการใช้งาน รองลงมาคือด้านความง่ายต่อการใช้งานหรือการปฏิสัมพันธ์ ด้านการออกแบบ และด้านเนื้อหา ตามลำดับ ทั้งนี้ทุกด้านมีประสิทธิภาพอยู่ในระดับมากที่สุด แสดงให้เห็นว่าแอปพลิเคชันนี้มีประสิทธิภาพที่เหมาะสมที่จะใช้เป็สื่อการเรียนรู้เพื่อการถ่ายทอดนวัตกรรมได้จริง

ตารางที่ 4 ผลการประเมินประสิทธิภาพของแอปพลิเคชันของผู้เชี่ยวชาญ

รายการประเมินประสิทธิภาพ	$\bar{x}$	S.D.	ผลการประเมิน
1. ด้านเนื้อหา	4.68	0.34	มากที่สุด
1.1 การนำเสนอเนื้อหามีความเหมาะสม	5.00	0.00	มากที่สุด
1.2 ความถูกต้องของเนื้อหา	4.80	0.40	มากที่สุด
1.3 เนื้อหาที่น่าสนใจ	4.80	0.40	มากที่สุด
1.4 ความเหมาะสมในการจัดเรียงลำดับเนื้อหา	4.60	0.49	มากที่สุด
1.5 ความเหมาะสมของปริมาณเนื้อหา	4.20	0.40	มาก
2. ด้านการออกแบบ	4.82	0.28	มากที่สุด
2.1 สื่อ AR มีความสวยงาม	5.00	0.00	มากที่สุด
2.2 ไอคอนสำหรับแอปพลิเคชัน (Icon) มีความเหมาะสม	4.80	0.40	มากที่สุด
2.3 การใช้ตัวอักษรและขนาดตัวอักษรมีความเหมาะสม	4.60	0.49	มากที่สุด
2.4 ความเหมาะสมระหว่างสีในสื่อที่นำเสนอ	4.80	0.40	มากที่สุด
2.5 ความสวยงามของโมเดล (Model) 3 มิติ	5.00	0.00	มากที่สุด
2.6 ความเหมาะสมของโมเดล (Model)	4.80	0.40	มากที่สุด
2.7 การเคลื่อนไหวของโมเดล (Model) 3 มิติ	5.00	0.00	มากที่สุด

รายการประเมินประสิทธิภาพ	$\bar{X}$	S.D.	ผลการประเมิน
2.8 โมเดลสามารถมองเห็นได้ชัดเจนเสมือนจริง	4.80	0.40	มากที่สุด
2.9 ความเหมาะสมของเสียงบรรยาย	4.60	0.49	มากที่สุด
2.10 การออกแบบหน้าจอมีความเหมาะสม	5.00	0.00	มากที่สุด
2.11 ความสมบูรณ์ของสื่อ	4.60	0.49	มากที่สุด
3. ด้านความง่ายต่อการใช้งานหรือการปฏิสัมพันธ์	4.88	0.18	มากที่สุด
3.1 ความสะดวกในการเปิดใช้แอปพลิเคชัน	5.00	0.00	มากที่สุด
3.2 ปุ่มใช้งานออกแบบได้ดีสื่อความหมาย ใช้งานได้ง่าย	4.60	0.49	มากที่สุด
3.3 ประสิทธิภาพของโมเดล (Model) 3 มิติ บน AR	5.00	0.00	มากที่สุด
3.4 ประสิทธิภาพของเทคนิคและความสมบูรณ์ของงาน	5.00	0.00	มากที่สุด
3.5 ความง่ายต่อการใช้งานของแอปพลิเคชัน	4.80	0.40	มากที่สุด
4. ด้านการนำไปใช้ประโยชน์	5.00	0.00	มากที่สุด
4.1 แอปพลิเคชันนี้ สามารถเป็นสื่อถ่ายทอดองค์ความรู้ท่าทาง พร้อมอุปกรณ์เสริมการรำมวยโบราณประยุกต์	5.00	0.00	มากที่สุด
4.2 แอปพลิเคชันนี้ สามารถเป็นสื่อประชาสัมพันธ์การดูแลสุขภาพ ให้กับผู้สูงอายุ และคนทั่วไปได้	5.00	0.00	มากที่สุด
4.3 แอปพลิเคชันนี้ สามารถติดตั้งในอุปกรณ์เคลื่อนที่ช่วยให้เกิด ความสะดวกในการใช้งานทุกที่ทุกเวลา	5.00	0.00	มากที่สุด
ผลสรุปภาพรวม	4.84	0.20	มากที่สุด

3. ผลการประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานแอปพลิเคชันสื่อความจริงเสริมแบบอินเทอร์แอคทีฟเพื่อถ่ายทอดท่ารำมวยโบราณประยุกต์ “รำเพลิน เดินปล้ม”

ผลจากการประเมินโดยกลุ่มตัวอย่าง 30 คน จากตารางที่ 5 พบว่ามีความพึงพอใจต่อการใช้งานแอปพลิเคชันทั้ง 18 รายการ โดยภาพรวมผู้ใช้งานมีความพึงพอใจแอปพลิเคชันอยู่ในระดับมากที่สุด ที่ค่าเฉลี่ย 4.52 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.68 เมื่อพิจารณาจากรายข้อพบว่า แอปพลิเคชันสามารถเป็นสื่อในการถ่ายทอดนวัตกรรมได้ อยู่ในระดับมากที่สุด ที่ค่าเฉลี่ย 4.63 รองลงมาคือ ความเหมาะสมของพื้นหลังแอปพลิเคชัน แอปพลิเคชันมีเสียงเนื้อหาประกอบถูกต้อง โมเดล 3 มิติ สามารถหมุน 360 องศา เนื้อหามีความครบถ้วน และการนำเสนอเนื้อหาที่น่าสนใจและเข้าใจง่าย อยู่ในระดับมากที่สุด ที่ค่าเฉลี่ย 4.60 ทั้งนี้การนำเสนอเนื้อหาที่น่าสนใจ และแอปพลิเคชันสามารถนำไปใช้งานได้จริง อยู่ในระดับมากที่สุด ที่ค่าเฉลี่ย 4.58 ดังนั้นจึงแสดงให้เห็นว่าแอปพลิเคชันนี้มีประโยชน์และเป็นสื่อนวัตกรรมที่สามารถถ่ายทอดองค์ความรู้ได้จริง และสามารถดึงดูดความสนใจของผู้ใช้งานทุกเพศทุกวัยได้

ตารางที่ 5 ผลการประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานแอปพลิเคชัน

รายการการประเมินความพึงพอใจ	$\bar{x}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
1. แอปพลิเคชันสามารถติดตั้งและทำงานได้อย่างรวดเร็ว	4.39	0.77	มาก
2. ความเหมาะสมของการใช้โทนสีแอปพลิเคชัน	4.47	0.63	มาก
3. ความเหมาะสมของพื้นหลังแอปพลิเคชัน	4.60	0.68	มากที่สุด
4. แอปพลิเคชัน มีเสียงเนื้อหาประกอบถูกต้อง	4.60	0.68	มากที่สุด
5. ความเหมาะสมการจัดวางองค์ประกอบบนแอปพลิเคชัน	4.46	0.66	มาก
6. ความเหมาะสมการเลือกใช้ชนิด ขนาด สีตัวอักษรบนจอภาพ	4.56	0.73	มากที่สุด
7. โมเดล 3 มิติ ทำรำมวยโบราณดั้งเดิมมีความสวยงามสมจริง	4.46	0.68	มาก
8. โมเดล 3 มิติ แสดงกล้ามเนื้อสื่อความหมายและสวยงาม	4.44	0.63	มาก
9. โมเดล 3 มิติ ทำรำมวยโบราณประยุกต์มีความสวยงามสมจริง	4.46	0.68	มาก
10. โมเดล 3 มิติ สามารถหมุน 360 องศา	4.60	0.68	มากที่สุด
11. เนื้อหามีความครบถ้วน	4.60	0.68	มากที่สุด
12. การนำเสนอเนื้อหามีความน่าสนใจและเข้าใจง่าย	4.60	0.68	มากที่สุด
13. สามารถเรียนรู้ได้ด้วยตัวเอง	4.54	0.63	มากที่สุด
14. ความชัดเจนในการอธิบายเนื้อหา	4.39	0.67	มาก
15. คุณภาพของสื่อมีระเบียบและใช้งานง่าย	4.54	0.63	มาก
16. ข้อมูลที่นำเสนอแต่ละหน้าจอมีความเหมาะสม	4.46	0.71	มาก
17. แอปพลิเคชันสามารถนำไปใช้งานได้จริง	4.58	0.71	มากที่สุด
18. แอปพลิเคชันสามารถเป็นสื่อในการถ่ายทอดนวัตกรรมได้	4.63	0.64	มากที่สุด
ผลการประเมินในภาพรวม	4.52	0.68	มากที่สุด

สรุปผลการวิจัย

แอปพลิเคชันสื่อความจริงเสริมแบบอินเทอร์แอคทีฟเพื่อถ่ายทอดนวัตกรรมการทำรำมวยโบราณประยุกต์ “รำเพลิน เดินปล้ม” มีความต้องการให้ได้อินเทอร์แอคทีฟที่สามารถให้ผู้ใช้งานเกิดความดึงดูดความสนใจในการออกกำลังกายด้วยท่ารำมวยโบราณประยุกต์ จำนวน 6 ท่ารำ คือ ท่าแกว่งแขนโยกไหล่ ท่าแม่ไก่หากิน ท่าลูกนกหัดบิน ท่าโรคร้ายกวาดหนี ท่าสุขภาพดีถ้วนหน้า และเราเดินปล้ม ซึ่งแอปพลิเคชันนี้สามารถใช้งานบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ โดยในแอปพลิเคชันจะถ่ายทอดท่ารำ 3 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 นำเสนอท่ารำมวยโบราณแบบดั้งเดิม 6 ท่ารำ คือ ท่าแกว่งแขน ท่ากาเต้นก้อนไถ ท่าไล่พรายให้ห่าง ท่าลับโมกษศักดิ์ ท่าช้างม้วนงวง และท่าไก่เลียบเล้า ส่วนที่ 2 นำเสนอท่ากล้ามเนื้อกายวิภาคศาสตร์จากข้อมูลการออกกำลังกายท่ารำมวยโบราณแบบดั้งเดิม ทั้ง 6 ท่า จะได้กล้ามเนื้อที่แข็งแรงแตกต่างกันไปตามข้อมูลการทดลองและจากผู้เชี่ยวชาญ และส่วนที่ 3 นำเสนอท่ารำมวยโบราณประยุกต์ที่เรียกว่า “รำเพลิน เดินปล้ม” จากการพัฒนาตามขั้นตอน SDLC ร่วมกับขั้นตอน 3P โดยใช้โปรแกรม Unity ร่วมกับภาษา C# และโปรแกรม Blender ซึ่งเป็นเครื่องมือหลักสอดคล้องกับงานวิจัยของ ศรีธัญญา และทัศนันทน์ (2562) ที่พัฒนาแอปพลิเคชันด้วยเทคโนโลยีความจริงเสริม ซึ่งกระบวนการและเครื่องมือเหล่านี้สามารถพัฒนาแอปพลิเคชันทำงานได้ตามเป้าหมายและยังเป็นกระบวนการและเครื่องมือที่ได้รับความนิยมในการพัฒนาระบบสารสนเทศหรือแอปพลิเคชันหรือสื่อได้ตอบต่าง ๆ

ผลจากการประเมินประสิทธิภาพของแอปพลิเคชันทั้ง 4 ด้าน คือ ด้านเนื้อหา ด้านการออกแบบ ด้านความง่ายต่อการใช้งานหรือการปฏิสัมพันธ์ และด้านการนำไปใช้ประโยชน์ พบว่า ผลการประเมินอยู่ในระดับมากที่สุดในทุกด้าน โดยค่าเฉลี่ยในภาพรวมอยู่ที่ 4.84 จะเห็นได้ว่าแอปพลิเคชันสื่อความจริงเสริมแบบอินเทอร์แอคทีฟเพื่อถ่ายทอดนวัตกรรมการ

ทำรำมวยโบราณประยุกต์ “รำเพลิน เดินปล้ม” นี้สามารถถ่ายทอดองค์ความรู้ในรูปแบบสื่อเสมือนจริง 3 มิติสามารถเข้าใจง่าย ชัดเจน เสริมจินตนาการให้เสมือนจริง และลดข้อจำกัดของสื่อชนิดอื่น ๆ สอดคล้องกับ ศรัณยู และทัศนันทน์ (2562) ที่กล่าวว่า การออกแบบสื่อต้องคำนึงถึงความเหมาะสมกับผู้สูงวัยที่ช่วยในการออกกำลังกายควรอยู่ในรูปแบบสื่อที่สามารถเข้าถึงได้ง่าย ปลอดภัยต่อสุขภาพลดความกังวลใจในการใช้งาน และยังสามารถลดข้อบกพร่องกับ กมลรัตน์ (2567) ที่กล่าวถึงสื่อที่สามารถทำให้มนุษย์เกิดการเรียนรู้ด้วยประสาทสัมผัสต่าง ๆ มากกว่าการได้ยินและมองเห็น โดยรับรู้ข้อมูลต่าง ๆ ที่มีอยู่มากมายเสมือนการรับรู้โดยธรรมชาติ สามารถสร้างปฏิสัมพันธ์ซึ่งมีประโยชน์อย่างมากในการเรียนรู้และสร้างประสบการณ์เสมือนจริงที่นำไปประยุกต์ใช้กับสถานการณ์จริงในชีวิตประจำวันได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ผลจากการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานทั้งกลุ่มผู้สูงอายุ วัยทำงาน วัยรุ่น และกลุ่มคนรักการออกกำลังกาย จะเห็นว่ามีความพึงพอใจต่อแอปพลิเคชัน AR รำเพลินเดินปล้ม อยู่ในระดับมากที่สุด ค่าเฉลี่ย 4.52 พบว่า แอปพลิเคชันสามารถเป็นสื่อในการถ่ายทอดนวัตกรรมได้ ซึ่งสอดคล้องกับ ดิเรก (2563) ที่กล่าวว่า คุณภาพของสื่อหรือชุดการสอนช่วยให้กระบวนการเรียนการสอนหรือการถ่ายทอดองค์ความรู้ดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพ มีความสัมพันธ์กับผลลัพธ์การเรียนรู้และผู้เรียนมีความพึงพอใจต่อการเรียนจากสื่อหรือชุดการสอนและยังสอดคล้องกับ ชัยยงค์ (2556) และ ภาพรณ์ และคณะ (2566) ที่ประสิทธิภาพด้านการนำเสนอไปใช้ประโยชน์ที่ตอบสนองตามตรงตามความต้องการต่อการใช้งาน ดังนั้นจะเห็นได้ว่าแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นนี้มีความสอดคล้องกับความต้องการและความสนใจของผู้ใช้งาน

ทั้งนี้แม้ว่าผลลัพธ์จากกลุ่มผู้ใช้งานทุกกลุ่มมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุดแล้ว จากการสังเกตการใช้งานแอปพลิเคชันเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้งานจริงของกลุ่มผู้สูงอายุ จะมีข้อจำกัดด้านทักษะดิจิทัลและความคุ้นเคยกับเทคโนโลยี AR ดังนั้นข้อเสนอแนะจากการวิจัยครั้งนี้ คณะผู้วิจัยควรต้องหาวิธีการฝึกฝน อบรมการเรียนรู้ให้กับกลุ่มผู้สูงอายุเพิ่มเติมหรือควรออกแบบระบบช่วยเหลือภายในแอปพลิเคชันเพื่อความสะดวกในการใช้งานได้รวดเร็วมากขึ้น และควรมีการนำไปขยายผลการวิจัยและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น ส่วนข้อเสนอแนะในการพัฒนาต่อไปควรพัฒนาแอปพลิเคชันให้รองรับระบบปฏิบัติการไอโอเอส (iOS) พัฒนาสื่อการเรียนรู้ในรูปแบบอื่นๆ และให้มีเสียงบรรยายเป็นภาษาอังกฤษเพิ่มเติมได้

ข้อเสนอแนะ

1. การใช้งานแอปพลิเคชัน “AR Application: รำเพลิน เดินปล้ม” สามารถติดตั้งได้ในอุปกรณ์เคลื่อนที่บนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์เท่านั้น
2. การรำมวยโบราณเป็นการออกกำลังกายกล้ามเนื้อและการฝึกการทรงตัว ในผู้สูงอายุหรือผู้ที่ไม่เคยออกกำลังกายมาก่อนควรศึกษาท่าตามแอปพลิเคชันอย่างละเอียดก่อนลงมือฝึกปฏิบัติจริง

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณการสนับสนุนทุนจากกองทุนส่งเสริม ววน. ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2566 คณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ที่รับรองโครงการวิจัย เลขที่ HE65-149 และกลุ่มผู้สูงอายุอำเภอเมืองสกลนคร จังหวัดสกลนคร ที่มีส่วนช่วยให้การวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผลงานวิจัยนี้ได้แจ้งข้อมูลลิขสิทธิ์ไว้ต่อกรมทรัพย์สินทางปัญญา ทะเบียนข้อมูลเลขที่ ว1.011123 คำขอแจ้งข้อมูลเลขที่ 441137 ประเภทงาน วรรณกรรม ลักษณะงาน โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ชื่อผลงาน AR Application: รำเพลิน เดินปล้ม เมื่อวันที่ 9 เมษายน 2567

เอกสารอ้างอิง

- กมลรัตน์ กิจรุ่งไพศาล. (2567). ความต้องการใช้เทคโนโลยีการสื่อสารความเป็นจริงเสมือนของผู้สูงวัยไทยและข้อเสนอแนะในการใช้งาน. *วารสารนิเทศศาสตร์*, 42(3), 19-40.
- กฤษดากร บันลือ. (2563). สารานุกรมศิลปะการแสดงพื้นถิ่นสกลนคร “มวยโบราณสกลนคร”. สกลนคร: พิพิธภัณฑ์เมืองสกลนคร.
- ชัยยงค์ พรหมวงศ์. (2556). การทดสอบประสิทธิภาพสื่อหรือชุดการสอน. *วารสารศิลปการศึกษาศาสตร์วิจัย*, 5(1), 7-20.
- दनัยพร ลดากุล, และปัญญรัตน์ ปุญญา. (2560). การพัฒนาการตูนแอนิเมชัน 3 มิติ เพื่อส่งเสริมคุณธรรมด้านความซื่อสัตย์สำหรับนักเรียนช่วงชั้นที่ 2. *วารสารวิทยาการสารสนเทศ และเทคโนโลยีประยุกต์*, 1(1), 64-71.
- ดิเรก อัครชาติ. (2563). การใช้เทคโนโลยีเสมือนจริงสำหรับการจัดการเรียนการสอนในยุค Thailand 4.0. *วารสารครุศาสตร์สาร : Journal of Educational Studies*, 14(1), 239-252.
- ทรงสิริ วิจิราพันธ์, รุ่งอรุณ พรเจริญ, สุนารี จุลพันธ์, และฉันทนา ปาปัดดา. (2562). การพัฒนาสื่อประชาสัมพันธ์เทคโนโลยีเสมือนจริงส่งเสริมการท่องเที่ยววิถีชุมชนคูบัว จังหวัดราชบุรี. ใน *รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติด้านการท่องเที่ยวกับมนุษยศาสตร์ ครั้งที่ 1*, (หน้า 733-746). ภาควิชาการท่องเที่ยว คณะมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่: เชียงใหม่.
- พระมหาวิรัช ธมมวชิโร. (2560). การใช้สื่อเสมือนจริงในการจัดการเรียนการสอน. *วารสารศึกษาศาสตร์ปริทัศน์*, 32(2), 85-93.
- พรทิพย์ กลมดี, และรุ่งโรจน์ แก้วอุไร. (2563). การพัฒนาแอปพลิเคชันความเป็นจริงเสริม เรื่อง ระบบสุริยจักรวาล สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1. *วารสารกลุ่มมนุษยศาสตร์-สังคมศาสตร์*, 3(2), 27-35.
- ภาภรณ์ เหล่าพิลัย, ทินกร โพธิ์โสภา, และกิตติศักดิ์ สร้อยสันเท. (2566). การพัฒนาสื่อเชิงโต้ตอบแนะนำอุปกรณ์ออกกำลังกายด้วยเทคโนโลยีทัวร์เสมือนจริง 360 องศา. *วารสารวิชาการ การจัดการเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม*, 11(1), 85-95.
- วิวัฒน์ มีสุวรรณ. (2554). การเรียนรู้ด้วยการสร้างโลกเสมือนผสานโลกจริง. *วารสารศึกษาศาสตร์มหาวิทยาลัยนเรศวร*, 13(2), 119-127.
- ศรัญญา ตริต, และทัศนันทน์ ตรีนันทรัตน์. (2562). แอปพลิเคชันส่งเสริมการท่องเที่ยว 7 เมนูอาหารที่ต้องชิมในจังหวัดเพชรบูรณ์ ด้วยเทคโนโลยีเสมือนจริง. *วารสารวิทยาการและเทคโนโลยีสารสนเทศ*, 9(1), 9-17.
- โสภณ โกวิทพิบูลย์. (2559). แอปพลิเคชันแบบอินเทอร์แอคทีฟเพื่อการเรียนรู้. *วารสารวิชาการเทคโนโลยีสารสนเทศ*, 8(1), 15-22.
- Al-Ansi, A. M., Jaboob, M., Garad, A., and Al-Ansi, A. (2023). Analyzing augmented reality (AR) and virtual reality (VR) recent development in education. *Social Sciences & Humanities Open*. 1(8). 1-10. doi: 10.1016/j.ssaho.2023.100532
- Chanamarn, N., Uypatchawong, S., and Suwannapan, K. (2024). Mobile application with augmented reality technology for digestive system learning of upper-primary school students. *Journal of Applied Informatics and Technology*, 7(1), 57-72.
- Chatsiopoulou, A., and Michailidis, P.D. (2025). Augmented reality in cultural heritage: A narrative review of design, development and evaluation approaches. *Heritage*, 8(10). 1-33. doi: 10.3390/heritage8100421

- Li, G., Luo, H., Chen, D., Wang, P., Yin, X., and Zhang, J. (2025). Augmented reality in higher education: A systematic review and meta-analysis of the literature from 2000 to 2023. **Education Sciences**, 15(6), 1-24. doi: 10.3390/educsci15060678
- Sampaonthon T., and Sanchana W. (2023). The development application promote agritourism of pakdee farm with augmented reality technology. **Journal of Applied Informatics and Technology**, 5(1). 71-85.
- Singh, S., Kaur, A., and Gulzar, Y. (2024). The impact of augmented reality on education: a bibliometric exploration. **Frontiers in Education**, 2024(9), 1-23. doi: 10.3389/feduc.2024.1458695
- Weerapan, D. (2018). Management information system for instructional via web applications. **Journal of Innovation Technology Management**, 5(1). 145-154.

หุ่นยนต์สื่อการเรียนรู้ปฐมวัย: กรณีศึกษาโรงเรียนเทศบาล 4 ฉลองรัตน์ Kinder Bot for Early Childhood Learning

สุทธิพงษ์ พันภักดี ธมนวรรณ นাজারวย สาธิต กระเวนกิจ และ จักรชัย โสอินทร์*

Suthiphong Panphakdee Thamonwan Najaruai Satit Kravenkit and Chakchai So-In*

สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ วิทยาลัยการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40000

Program of Computer Science, College of Computing, Khon Kaen University,
Khon Kaen Province, 40000

*Corresponding author E-mail: chakso@kku.ac.th

Received 14 April 2025, Accepted 7 July 2025, Published 4 December 2025

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาหุ่นยนต์สื่อการเรียนรู้สำหรับเด็กปฐมวัย หรือที่เรียกว่า Kinder Bot โดยมีกลุ่มตัวอย่างคือ เด็กระดับชั้นอนุบาล 2 โรงเรียนเทศบาล 4 ฉลองรัตน์ จังหวัดหนองคาย จำนวน 10 คนและครู จำนวน 3 คน ซึ่งถูกคัดเลือกแบบเจาะจงและสมัครใจที่จะใช้หุ่นยนต์สื่อการเรียนรู้ โดยมีเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยได้แก่ หุ่นยนต์สื่อการเรียนรู้ และการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละฟังก์ชัน รวมถึงแบบสอบถามความพึงพอใจของผู้ใช้งาน ซึ่งเป็นแบบสอบถามเชิงปริมาณ ใช้วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลด้วย ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากผลการวิจัยพบว่า 1) หุ่นยนต์สื่อการเรียนรู้สำหรับเด็กปฐมวัย ประกอบไปด้วย 3 องค์ประกอบหลักสำคัญคือ (1) ระบบควบคุมหุ่นยนต์สื่อการเรียนรู้ ทำหน้าที่ควบคุมและสั่งการอุปกรณ์ภายในหุ่นยนต์ (2) แอปพลิเคชันที่ใช้เป็นสื่อการสอนและควบคุมการเคลื่อนไหวของแขนและลำตัวของหุ่นยนต์ (3) การทำงานของหุ่นยนต์มีการประยุกต์ใช้ร่วมกับอินเทอร์เน็ต 2) ผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของหุ่นยนต์สื่อการเรียนรู้ โดยการประเมินฟังก์ชัน ได้แก่ การควบคุมการขยับของแขนทั้งสองข้าง การทดสอบเซนเซอร์เมื่อเข้าใกล้หุ่นยนต์ขณะทำงาน การทดสอบหน้าจอสัมผัสสกรูใช้งานฟังก์ชันต่าง ๆ การถ่ายภาพส่งภาพไปยังไลน์ การส่งตารางเรียนจากเว็บไซต์ไปยังไลน์ผู้ปกครอง พบว่ามีความถูกต้อง 100% และ 3) ผลการสอบถามความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างที่ทดลองใช้หุ่นยนต์สื่อการเรียนรู้ในระดับ มากที่สุด

คำสำคัญ: หุ่นยนต์ช่วยสอน การเรียนการสอน เทคโนโลยีเพื่อการศึกษา การพัฒนาเด็กปฐมวัย

ABSTRACT

This research aimed to develop Kinder Bot, an educational robot designed for early childhood learners. The study involved 10 second-level kindergarten students and three teachers from Tassaban 4 Chalong Rat School in Nong Khai Province. Participants were selected through purposive sampling and voluntarily participated in using the Kinder Bot. The research instruments included a robot prototype, performance tests for each of its functions, and a quantitative user satisfaction questionnaire. Data were analyzed using mean and standard deviation. Results showed that: 1) Kinder Bot comprises three key components: (1) a central control unit responsible for managing the robot's internal mechanisms; (2) an application used as a teaching material and for controlling the robot's arm and body movement, which is an approach commonly adopted to enhance control and accessibility; and (3) the robot operation integrated with the Internet to enable remote operation. 2) The performance evaluation, based on its core functionalities, including movement control of both arms, sensor-based detection during

operation, touchscreen usability, photo capture and transmission via LINE, and sending class schedules to parents via LINE, demonstrated 100% accuracy. 3) The user satisfaction survey on the Kinder Bot was rated at the highest level.

Keywords: Teaching Robot, Teaching and Learning, Educational Technology, Early Childhood, Development

บทนำ

ในปัจจุบันการเรียนการสอนในระดับปฐมวัยมุ่งเน้นพัฒนาทักษะพื้นฐานทางการศึกษาและการเรียนรู้ของเด็กเล็ก โดยให้ความสำคัญกับการพัฒนาผ่านกิจกรรมและการเล่นที่เหมาะสมตามวัยของเด็ก มุ่งเน้นให้เด็กมีส่วนร่วมและลงมือปฏิบัติจริง รวมถึงการพัฒนาด้านอารมณ์ สังคม และจินตนาการ เพื่อเสริมสร้างทักษะการคิดวิเคราะห์และการแก้ปัญหา (NAEYC, 2022) การเรียนรู้เชื่อมโยงกับสภาพแวดล้อมและการมีส่วนร่วมของครอบครัว เพื่อวางรากฐานที่มั่นคงในการเรียนรู้ในอนาคต ในช่วงอายุ 3-6 ปี เด็กจะเรียนรู้ทักษะทางภาษา คณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ และศิลปะ รวมถึงการพัฒนาทักษะทางสังคมและร่างกาย เพื่อเตรียมความพร้อมสำหรับการเรียนรู้ในระดับที่สูงขึ้น (Brown et al., 2023)

ในปัจจุบันรูปแบบการสอนส่วนใหญ่ยังคงใช้วิธีการแบบดั้งเดิม (จรีพร, 2565) เช่น การใช้สื่อสิ่งพิมพ์แบบแข็ง และการเช็ชชื่อนักเรียนด้วยลายมือ ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดความล่าช้าและไม่สะดวกต่อกระบวนการจัดการเรียนการสอน นอกจากนี้โรงเรียนยังขาดความรู้ความเข้าใจในการนำเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ในห้องเรียน ส่งผลให้การเรียนรู้ของเด็กไม่สามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงทางสังคมและเทคโนโลยีที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้นการปรับเปลี่ยนการเรียนการสอนแบบดั้งเดิม (Fisher-Price, 2021) ให้สอดคล้องกับยุคดิจิทัลจึงเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อให้การเรียนการสอนสามารถตอบสนองความต้องการและทักษะของเด็กในยุคปัจจุบันได้อย่างมีประสิทธิภาพและทันสมัย

การนำหุ่นยนต์มาประยุกต์ใช้เพื่อช่วยเป็นสื่อเสริมการเรียนรู้สำหรับเด็กปฐมวัยเป็นอีกแนวทางที่ได้รับความนิยม การนำหุ่นยนต์มาใช้ในการเรียนเพื่อการศึกษา กำลังได้รับความนิยมโดยเฉพาะในประเทศสหรัฐอเมริกา (VEX Robotics, 2024) ที่นำหุ่นยนต์มาใช้สอนในรายวิชาวิทยาการคำนวณ เพื่อเสริมทักษะการคิดเชิงคำนวณและการแก้ปัญหา นักเรียนยังสามารถพัฒนาทักษะต่าง ๆ เช่น การวิเคราะห์ปัญหา การคิดอย่างมีวิจารณญาณ และการทำงานเป็นทีม การเรียนรู้ผ่านหุ่นยนต์ไม่เพียงแต่เพิ่มความรู้ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี แต่ยังเสริมทักษะการเขียนโปรแกรมและการทำงานร่วมกันในการแก้ปัญหาที่ซับซ้อน ทำให้การศึกษาเป็นประสบการณ์ที่สนุกสนานและท้าทาย พร้อมทั้งช่วยสร้างความตระหนักถึงการประยุกต์ใช้ความรู้ในชีวิตจริง

นอกจากนี้การใช้หุ่นยนต์ในการเรียนการสอนยังสามารถเพิ่มแรงบันดาลใจให้นักเรียนพัฒนาและเรียนรู้ทักษะทางเทคโนโลยีที่สำคัญ อีกทั้งยังช่วยเชื่อมโยงความรู้ที่ได้รับการใช้งานในโลกจริง การเรียนรู้ผ่านหุ่นยนต์ไม่เพียงแต่ช่วยให้นักเรียนเข้าใจเรื่องราวทางเทคโนโลยีได้ดีขึ้น แต่ยังกระตุ้นความสนใจในการศึกษาต่อไปในสาขาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง การนำหุ่นยนต์มาใช้ในห้องเรียนไม่เพียงแต่ทำหน้าที่เป็นของเล่น แต่ยังเป็นเครื่องมือที่แนะนำเทคโนโลยีพื้นฐาน เช่น การออกแบบและการควบคุม (Grosch, 2017; Patil and Kale, 2017) ในประเทศอินโดนีเซีย หุ่นยนต์ถูกเริ่มนำมาใช้ในการเรียนการสอนระดับปฐมวัยเพื่อเตรียมเด็กให้พร้อมรับมือกับโลกอุตสาหกรรมที่เปลี่ยนแปลงเร็ว (Houtman, 2012) การพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ในเด็กช่วยให้พวกเขาแก้ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพและยกระดับคุณภาพชีวิต (Kewalramani et al., 2020)

ในประเทศไทยมีการพัฒนาหุ่นยนต์ช่วยสอนภาษาขนาดเล็กเพื่อส่งเสริมทักษะภาษาอังกฤษ สำหรับเด็กอนุบาล (EF Education First, 2018) โดยการใช้เทคโนโลยีหุ่นยนต์เป็นเครื่องมือในการสอน เพื่อให้เด็ก ๆ สามารถเรียนรู้คำศัพท์และการออกเสียงอย่างมีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับช่วงวัยในยุค Thailand 4.0 ซึ่งมุ่งเน้นการพัฒนาทักษะทางภาษาและเทคโนโลยีควบคู่กัน เด็กปฐมวัยถือเป็นช่วงเวลาที่ดีที่สุดในการเรียนรู้ภาษาที่สอง เนื่องจากสมองของเด็กในช่วงนี้มีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว และมีความสามารถในการจดจำเสียงและการเรียนรู้ภาษาได้มากกว่าช่วงวัยอื่น ๆ งานวิจัยนี้ได้พัฒนา

หุ่นยนต์ต้นแบบที่ใช้เทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติและระบบ Arduino Nano ที่เชื่อมต่อกับแอปพลิเคชัน Android เพื่อใช้ในการสอนภาษาอังกฤษโดยการออกแบบระบบให้มีความสามารถโต้ตอบกับผู้เรียนอย่างสนุกสนานและกระตุ้นให้เด็ก ๆ สนใจการเรียนรู้มากขึ้นหากเด็กตอบถูกหุ่นยนต์จะตอบสนองด้วยคำชมและท่าทางที่แสดงถึงความพึงพอใจ แต่หากตอบผิดหุ่นยนต์จะกระตุ้นความสนใจของเด็กและสร้างแรงจูงใจในการเรียนรู้เพิ่มเติม ผลการวิจัยพบว่านักเรียนมีผลการเรียนภาษาอังกฤษที่ดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนเรียน การใช้หุ่นยนต์ในการสอนช่วยเสริมทักษะทางภาษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ และผลการประเมินความพึงพอใจจากเด็ก ๆ ก็อยู่ในระดับสูง โดยเฉพาะในด้านเนื้อหาบทเรียน ซึ่งผลลัพธ์นี้แสดงให้เห็นถึงประโยชน์ของการใช้เทคโนโลยีหุ่นยนต์ในการเรียนการสอนที่สามารถส่งเสริมทักษะทางภาษาและกระตุ้นความสนใจในการเรียนรู้ของเด็ก ๆ ได้อย่างดี จากงานวิจัยต่าง ๆ ที่ผ่านมามีการนำเทคโนโลยีเข้ามาประยุกต์ใช้ในกระบวนการเรียนการสอนสามารถช่วยเสริมสร้างความสนใจของเด็กได้ดีกว่าการสอนแบบเดิม เนื่องจากเทคโนโลยีช่วยเพิ่มปฏิสัมพันธ์ในการเรียนรู้และทำให้เด็กเกิดความกระตือรือร้นในการศึกษา (ธีรพันธุ์เมธี, 2565) นอกจากนี้เทคโนโลยียังสามารถช่วยลดภาระของครูผู้สอน และช่วยให้ผู้ปกครองสามารถติดตามพัฒนาการของบุตรหลานได้แบบตามเวลาจริง (ศูนย์เทคโนโลยีการศึกษา มสธ., 2565) อย่างไรก็ตามพบว่า ข้อจำกัดที่สำคัญคือ ยังขาดการประยุกต์ใช้หุ่นยนต์จริงในบริบทของโรงเรียน โดยส่วนใหญ่ยังคงอยู่ในระดับของการทดลองในห้องปฏิบัติการหรือการทดลองกับกลุ่มย่อยในสภาพแวดล้อมที่ควบคุม ซึ่งไม่สามารถสะท้อนผลลัพธ์ในสภาพแวดล้อมการเรียนรู้จริงได้อย่างแท้จริง ส่งผลให้ไม่สามารถประเมินประสิทธิภาพของหุ่นยนต์ในแง่ของการปฏิสัมพันธ์กับครู เพื่อน และสิ่งแวดล้อมรอบตัวเด็กได้ อีกทั้งยังขาดข้อมูลเกี่ยวกับความเหมาะสมในการใช้งานจริงในระดับปฐมวัยที่มีบริบทเฉพาะ ทั้งในด้านพฤติกรรม ความสนใจ และระยะเวลาในการเรียนรู้

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้พัฒนาหุ่นยนต์สื่อการเรียนรู้สำหรับเด็กปฐมวัยที่เหมาะสมกับพฤติกรรมการเรียนรู้ของเด็กในช่วงวัย 3-6 ปี โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์ที่สามารถส่งเสริมการเรียนรู้และพัฒนาการของเด็กในทุกด้าน ทั้งทางสังคม อารมณ์ และสติปัญญา ตลอดจนเป็นสื่อกลางในการสื่อสารข้อมูลระหว่างครูและผู้ปกครองผ่านระบบดิจิทัล โดยที่ Kinder Bot ถูกออกแบบให้มีฟังก์ชันที่ตอบสนองต่อรูปแบบการเรียนรู้ของเด็กปฐมวัย เช่น 1) การพูดคุยโต้ตอบด้วยเสียง 2) การแสดงสีหน้าและอารมณ์ผ่านหน้าจอ 3) การตอบสนองต่อการสัมผัส และ 4) การสื่อสารข้อมูลระหว่างครูกับผู้ปกครองผ่านเว็บไซต์ โดยฟังก์ชันดังกล่าวได้อ้างอิงจากสื่อการเรียนรู้และกิจกรรมที่เหมาะสมกับเด็กปฐมวัยซึ่งนิยมใช้ในห้องเรียน โดยนำมาออกแบบรวมไว้ในหุ่นยนต์ พร้อมกับสนับสนุนเว็บไซต์และไลน์ที่สามารถแจ้งเตือนข้อมูลสำคัญ เช่น ตารางเรียน กิจกรรมประจำวัน และเวลารับ - ส่งนักเรียน เพื่อให้ผู้ปกครองสามารถติดตามพฤติกรรมและการเรียนรู้ของบุตรหลานได้ตามเวลาจริง

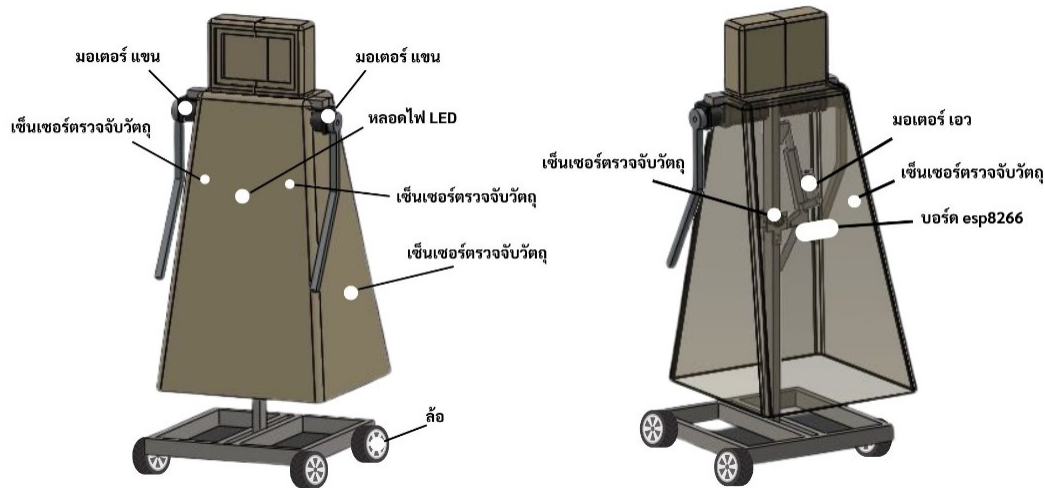
วิธีการวิจัย

1. การออกแบบ Hardware และ Software

1.1 การออกแบบ Hardware หุ่นยนต์สื่อการเรียนรู้สำหรับเด็กปฐมวัย (Kinder Bot)

หุ่นยนต์สื่อการเรียนรู้สำหรับเด็กปฐมวัยถูกออกแบบมาด้วยขนาดความสูง 120 เซนติเมตร มีความกว้าง 50 เซนติเมตร ตัวหุ่นประกอบด้วยล้อจำนวน 4 ล้อ สำหรับการเคลื่อนที่ควบคุมด้วยมือ (Manual) โดยไม่มีระบบขับเคลื่อนอัตโนมัติ เพื่อให้เหมาะกับการใช้งานภายในอาคารและเน้นความปลอดภัยต่อผู้เรียนวัยเด็กเล็ก แต่ยังสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวกด้วยมือ เหมาะกับสภาพแวดล้อมภายในห้องเรียน ภายในตัวหุ่นยนต์ถูกติดตั้งด้วยระบบฮาร์ดแวร์ที่รองรับการทำงานเพื่อสร้างปฏิสัมพันธ์กับผู้เรียน โดยใช้บอร์ดควบคุม ESP8266 ซึ่งสามารถเชื่อมต่อกับแอปพลิเคชันผ่านเครือข่าย Wi-Fi ทำหน้าที่ควบคุมคำสั่งโดยนำส่งไปยังมอเตอร์ส่วนเอวและแขนทั้งสองข้าง มอเตอร์เหล่านี้ทำให้หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนไหวร่างกายได้อย่างหลากหลาย เช่น หมุนตัว หรือยกแขนขึ้นลง เพื่อแสดงการตอบสนองกับพฤติกรรมของผู้เรียน เสริมด้วยการติดตั้งเซ็นเซอร์ตรวจจับวัตถุในหลายตำแหน่งบริเวณรอบตัว เช่น แขน ลำตัว และส่วนควบคุมการจับวัตถุ เพื่อให้หุ่นยนต์สามารถรับรู้สิ่งแวดล้อมรอบข้างและตอบสนองต่อการสัมผัสหรือการเคลื่อนไหวของเด็กได้อย่างแม่นยำ

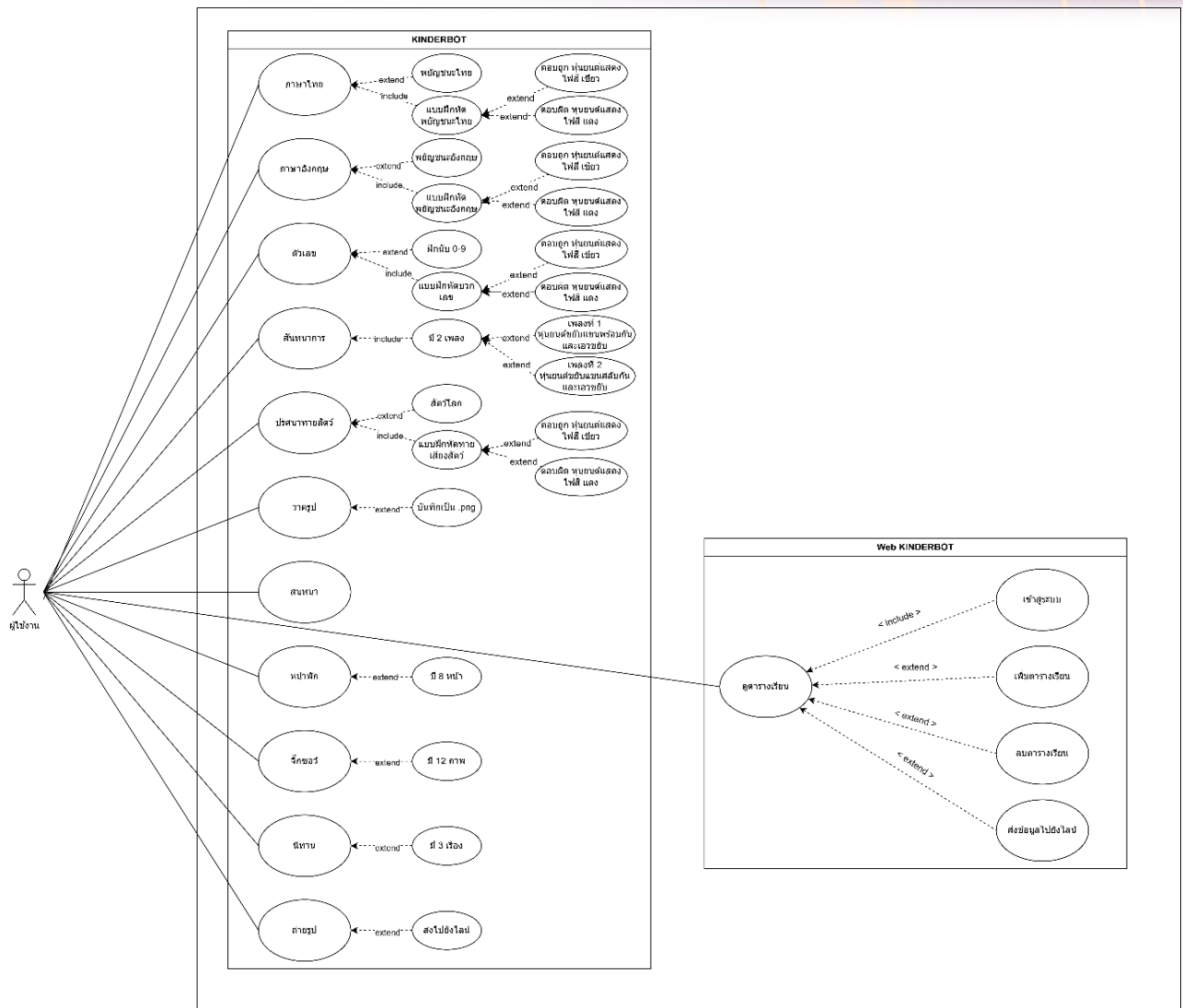
นอกจากนี้หุ่นยนต์ยังมีหลอดไฟ LED สำหรับแสดงสถานะหรือสื่อสารกับผู้เรียนในรูปแบบที่เข้าใจได้ง่าย เช่น การกระพริบไฟ เมื่อมีการตอบคำถามที่ถูกต้อง หรือแสดงสัญญาณเมื่อมีการปฏิสัมพันธ์ที่ผิดพลาด ทั้งหมดนี้ทำให้หุ่นยนต์ไม่เพียงแต่ทำหน้าที่เป็นผู้ช่วยสอน แต่ยังสามารถสร้างแรงจูงใจในการเรียนรู้และมีปฏิสัมพันธ์กับเด็กได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการจ่ายพลังงานให้กับหุ่นยนต์มาจากไฟฟ้าภายในอาคาร 220 โวลต์ ซึ่งถูกแยกออกเป็นระบบไฟฟ้า 12 โวลต์สำหรับมอเตอร์ส่วนหัว และ 24 โวลต์สำหรับมอเตอร์ส่วนแขน เพื่อให้เหมาะสมกับภาระงานที่ต่างกัน แสดงได้ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 โครงสร้างทาง Hardware ของหุ่นยนต์สื่อการเรียนรู้ (Kinder Bot)

1.2 การออกแบบ Software หุ่นยนต์สื่อการเรียนรู้สำหรับเด็กปฐมวัย

ภาพที่ 2 แสดงถึง Use Case ของการใช้งานของหุ่นยนต์สื่อการเรียนรู้ โดยถูกออกแบบเพื่อให้การโต้ตอบกับผู้ใช้งานมีความสะดวกสบายและมีความหลากหลาย โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ Kinder Bot และ Web Kinder Bot โดยแอปพลิเคชัน Kinder Bot มุ่งเน้นให้ผู้ใช้สามารถเลือกใช้งานฟังก์ชันต่าง ๆ ได้อย่างหลากหลาย ซึ่งรวมถึงการเรียนรู้พยัญชนะภาษาไทย ภาษาอังกฤษ การทำแบบฝึกหัด การสอนนับเลข รวมถึงกิจกรรมสนทนาการ เช่น เกมปริศนาทายสัตว์ การแสดงผลผ่านภาพเสียง และการเล่นเพลง ทั้งนี้หากผู้ใช้เลือกฟังก์ชันสนทนาการและทำการเลือกเพลง หุ่นยนต์จะสามารถเคลื่อนไหวตามจังหวะเพลงได้โดยอัตโนมัติ นอกจากนี้ระบบยังมีความสามารถในการตรวจจับวัตถุโดยใช้เซ็นเซอร์ เช่น เมื่อมีผู้ใช้งานเข้าใกล้ หุ่นยนต์จะหยุดทำงานทันทีเพื่อความปลอดภัย

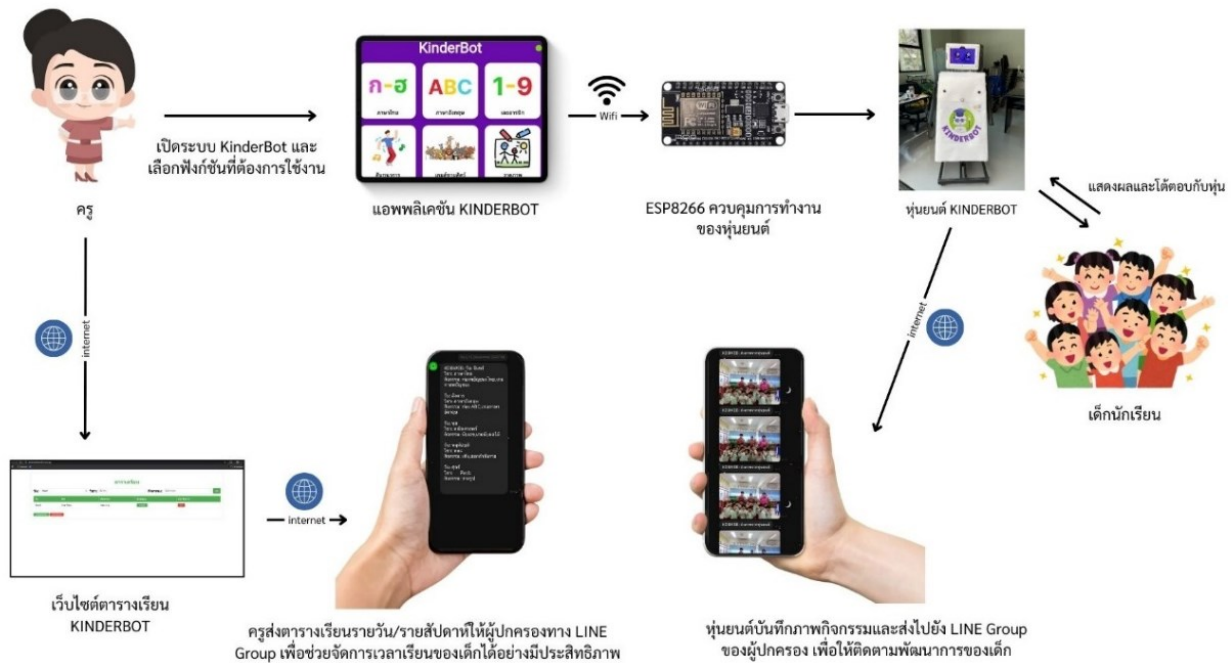


ภาพที่ 2 ภาพกรณีการใช้งานผ่านแอปพลิเคชันและเว็บไซต์

สำหรับในส่วนของ Web Kinde Bot ได้รับการออกแบบเพื่ออำนวยความสะดวกในการเข้าถึงข้อมูลผ่านเว็บไซต์ โดยมุ่งเน้นไปที่การแสดงผลข้อมูลทางการศึกษา เช่น ตารางเรียน การจัดการข้อมูล การเพิ่มหรือลบข้อมูลในระบบ การส่งข้อมูลออนไลน์ และการอัปเดตข้อมูลตามเวลาจริง โดยผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงข้อมูลต่าง ๆ ได้อย่างสะดวกและรวดเร็วผ่านเว็บไซต์ ซึ่งรวมถึงการแสดงผลรูปภาพและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมการเรียนรู้ระบบ ซึ่ง Kinder Bot ได้รับการพัฒนาให้สามารถรองรับการโต้ตอบได้หลายรูปแบบ ทั้งผ่านแอปพลิเคชันและเว็บไซต์ เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเข้าถึงข้อมูลและฟังก์ชันต่าง ๆ ได้อย่างสะดวกและมีประสิทธิภาพสูงสุด การออกแบบฟังก์ชันทั้งหมดมีเป้าหมายเพื่อให้เหมาะสมกับกลุ่มผู้ใช้งานและตอบสนองต่อความต้องการทางการศึกษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. ภาพรวมของระบบ

จากภาพที่ 3 แสดงถึงภาพรวมของระบบ โดยที่ผู้ใช้งานสามารถควบคุม Kinder Bot ผ่านแอปพลิเคชันและระบบออนไลน์ โดยมีการเชื่อมต่อผ่านอินเทอร์เน็ต เพื่อให้สามารถติดตามผลการเรียนรู้ของเด็กได้ตามเวลาจริง ระบบถูกออกแบบมาให้ครูสามารถควบคุมหุ่นยนต์เพื่อใช้ในการสอนและบันทึกข้อมูลพัฒนาการของเด็กปฐมวัย รวมถึงการส่งข้อมูลไปยังผู้ปกครอง Kinder Bot ทำงานโดยใช้ระบบที่สามารถรับคำสั่งจากครูและส่งข้อมูลกลับไปยังผู้ปกครอง ผ่านแพลตฟอร์ม LINE และเว็บไซต์ นอกจากนี้ครูยังสามารถเลือกและตั้งค่ากิจกรรมการเรียนรู้ผ่านเว็บไซต์ ซึ่งจะถูกระบุไปยังหุ่นยนต์เพื่อแสดงผลและโต้ตอบกับนักเรียนโดยการทำงานของระบบ



ภาพที่ 3 ภาพรวมระบบ

Kinder Bot รองรับการทำงานใน 2 รูปแบบหลักคือ รูปแบบแรก คือ การควบคุมโดยครูด้วยมือ (Manual Mode) โดยครูสามารถเปิดการใช้งาน Kinder Bot และเลือกบทเรียนหรือกิจกรรมที่ต้องการให้เด็กเรียนรู้และสามารถควบคุมการแสดงผลของหุ่นยนต์ เช่น การสอนพยัญชนะไทย การสอนตัวอักษร A-Z การเล่นเกมทายสัตว์ หรือการฟังนิทาน และครูยังสามารถดูข้อมูลของนักเรียน เช่น การมีส่วนร่วมในกิจกรรม การตอบคำถาม หรือพฤติกรรมการเรียนรู้ ได้โดยจะถูกบันทึกลงในฐานข้อมูล นอกจากนี้ครูยังสามารถตรวจสอบข้อมูลผ่านเว็บไซต์ และนำเสนอรายงานการเรียนรู้ไปยังผู้ปกครองผ่าน LINE

รูปแบบที่ 2 คือ แบบอัตโนมัติ (Automatic Mode) โดยที่ Kinder Bot สามารถทำงานตามตารางการเรียนรู้ที่ตั้งค่าไว้ล่วงหน้า หุ่นยนต์สามารถแสดงผลบทเรียนอัตโนมัติ โดยไม่ต้องมีการควบคุมแบบตามเวลาจริงจากครู เมื่อสิ้นสุดกิจกรรม หุ่นยนต์จะทำการบันทึกผลการเรียนรู้ของเด็ก และอัปโหลดไปยังระบบฐานข้อมูล โดยมีข้อมูลที่บันทึกไว้ได้แก่ เวลาที่เด็กใช้ในการเรียนรู้ คะแนนจากการทำกิจกรรม หรือภาพถ่ายขณะทำกิจกรรม จะถูกส่งไปยัง LINE ของผู้ปกครอง ทั้งนี้การเชื่อมต่อและการส่งข้อมูลในระบบ Kinder Bot ผ่านอินเทอร์เน็ต เพื่อรับคำสั่งจากครูและอัปโหลดข้อมูลไปยังเซิร์ฟเวอร์ นอกจากนี้ครูสามารถควบคุม Kinder Bot ผ่านเว็บไซต์เพิ่มเติม เช่น การเพิ่มตารางเรียน ปรับเปลี่ยนกิจกรรม และดูผลลัพธ์การเรียนรู้ของเด็ก และในส่วนของผู้ปกครองสามารถติดตามพัฒนาการของเด็กผ่าน LINE เช่น สามารถรับรูปภาพ และรายงานผล รวมถึงพฤติกรรมการเรียนรู้ของเด็กได้อีกด้วย

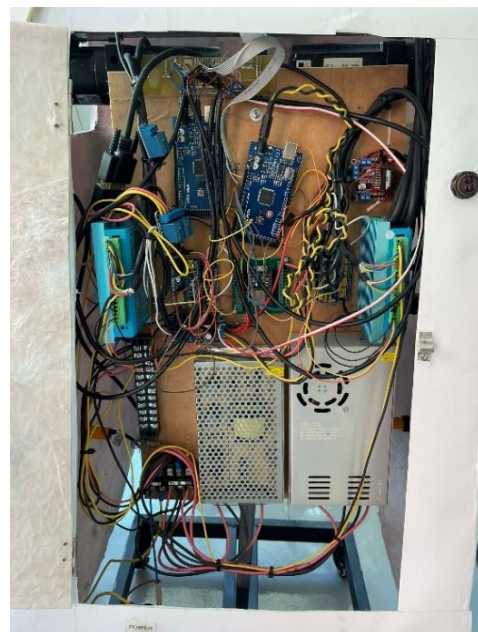
3. การพัฒนาหุ่นยนต์และแอปพลิเคชัน

3.1 การพัฒนาหุ่นยนต์สื่อการเรียนรู้สำหรับเด็กปฐมวัย (Kinder Bot)

หุ่นยนต์สื่อการเรียนรู้สำหรับเด็กปฐมวัย ได้รับการพัฒนาให้มีโครงสร้างแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักคือ ส่วนภายนอกของหุ่นยนต์ และส่วนภายในหุ่นยนต์ โดยแต่ละส่วนได้รับการออกแบบสอดคล้องประสานร่วมกันเพื่อให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการของหุ่นยนต์ต่อผู้ใช้งาน โดยที่ตัวโครงสร้างภายนอกผลิตจากวัสดุไฟเบอร์กลาส ซึ่งมีคุณสมบัติเบา ทนทาน และปลอดภัยต่อการสัมผัส เหมาะสมกับการใช้งานภายในสถานศึกษา ดังภาพที่ 4(ก) และภายในหุ่นยนต์ประกอบด้วยชุดควบคุมหลักที่ใช้บอร์ด ESP8266 ซึ่งสามารถเชื่อมต่อผ่านเครือข่ายไร้สายและควบคุมการทำงานของมอเตอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ตัวหุ่นยนต์ถูกออกแบบให้สามารถขับเคลื่อนด้วยล้อและส่วนแขนทั้งสองข้างได้ โดยใช้มอเตอร์แยกอิสระจากกัน โดยส่วนของมอเตอร์ขับเคลื่อนใช้ไฟฟ้าแรงดัน 24 โวลต์ แต่ส่วนของมอเตอร์เอวใช้ไฟฟ้า 12 โวลต์ ดังภาพ 4(ข) ซึ่งเหมาะสมกับการระการหมุนที่น้อยกว่า



(ก) ด้านหน้าของ KinderBot



(ข) ด้านหลังของ KinderBot

ภาพที่ 4 โครงสร้าง KinderBot (ก) ด้านหน้าของ KinderBot
และ (ข) ด้านหลังของ KinderBot

สำหรับการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ถูกออกแบบให้เป็นไปอย่างปลอดภัยและสร้างความสนุกสนานให้กับเด็ก เช่น การยกแขน หมุนตัว และแสดงสีผ่านหลอดไฟ โดยมีหลอดไฟ AD16-16C แสดงถึงสถานะต่าง ๆ ของหุ่นยนต์ เช่น การแสดงผลเมื่อเด็กตอบคำถามได้ถูกต้อง เพื่อเพิ่มความสุขและสร้างแรงจูงใจในการเรียนรู้ นอกจากนี้มอเตอร์เหล่านี้จะถูกควบคุมผ่าน บอร์ด Arduino Nano ทำหน้าที่เป็นตัวประมวลผลและควบคุมการทำงานทั้งหมดของหุ่นยนต์ และยังมี Linear Motor (100mm Stroke/12V) ที่ช่วยควบคุมการเคลื่อนไหวเชิงเส้น เช่น การปรับตำแหน่งของหุ่นยนต์ให้สามารถเคลื่อนที่ไปยังทิศทางที่ต้องการได้อย่างอิสระ ในขณะเดียวกัน Mega 2560 จะทำหน้าที่ในการรองรับการขยายการเชื่อมต่อ หรือการควบคุมอุปกรณ์ที่ซับซ้อนมากขึ้น เช่น หากมีการเพิ่มฟังก์ชันหรือมอเตอร์เพิ่มเติมในอนาคต ซึ่งจะช่วยให้หุ่นยนต์มีความยืดหยุ่นและสามารถปรับปรุงพัฒนาได้ตามความต้องการ

3.2 การพัฒนาแอปพลิเคชัน

เมื่อผู้ใช้งานเปิดแอปพลิเคชัน Kinder Bot จะพบกับหน้าจอแรกที่ต้อนรับผู้ใช้งานด้วยอินเทอร์เฟซ (Interface) ที่เป็นมิตรกับเด็ก ดังแสดงในภาพที่ 5(ก) โดยหน้าจอนี้ถูกออกแบบมาเพื่อให้เด็กสามารถเข้าถึงและใช้งานได้ง่าย โดยมีไอคอนและสีที่ดึงดูดใจ ซึ่งเป็นศูนย์รวมของฟังก์ชันการเรียนรู้ต่าง ๆ ที่ถูกออกแบบมาให้เหมาะสมกับพัฒนาการของเด็ก ในแอปพลิเคชัน Kinder Bot เด็ก ๆ สามารถเรียนรู้พยัญชนะไทยได้จากหน้าจอแสดงในภาพที่ 5(ข) โดยมีตัวอักษรพร้อมเสียงอ่านและภาพประกอบที่ช่วยให้เด็กจดจำได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้ยังมีเกมฝึกหัดพยัญชนะไทยที่กระตุ้นให้เด็กมีส่วนร่วมในการเรียนรู้ สำหรับการเรียนรู้ภาษาอังกฤษเด็ก ๆ สามารถฝึกอ่านคำศัพท์และออกเสียงตามตัวอย่างที่มีในระบบแสดงในภาพที่ 5(ค) ซึ่งช่วยพัฒนาไวยากรณ์ด้านภาษาได้เป็นอย่างดี และเมื่อเข้าสู่โหมดการนับเลขเด็ก ๆ จะได้ฝึกทักษะการนับและเรียนรู้ตัวเลขจากภาพประกอบในภาพที่ 5(ง) ซึ่งมีแบบฝึกหัดเสริมให้เด็กสามารถทบทวนความรู้ที่ได้เรียนไปก่อนหน้านี้ นอกจากการเรียนรู้ทางวิชาการแล้ว Kinder Bot ยังมีฟังก์ชันสนทนาและเกมปริศนา เช่น เกมทายสัตว์ที่แสดงในภาพที่ 5(จ) ซึ่งช่วยพัฒนาไวยากรณ์และความสามารถในการจดจำเสียงของเด็ก นอกจากนี้ฟังก์ชันที่สำคัญที่ได้รับความนิยมคือ การวาดภาพระบายสีซึ่งแสดงในภาพที่ 5(ฉ) โดยสามารถเลือกภาพและสีตามต้องการ ทำให้เด็ก ๆ ได้ปลดปล่อยความคิดสร้างสรรค์และพัฒนากล้ามเนื้อมือไปพร้อมกัน

ทั้งนี้หากต้องการฝึกทักษะการสนทนา ในส่วนของหน้าสนทนาจะเป็นฟังก์ชันที่让孩子ฝึกพูดผ่านระบบจดจำเสียงและมีการโต้ตอบกับหุ่นยนต์ สำหรับช่วงเวลาพักสายตาที่จะแสดงหน้าโหมดพักที่ออกแบบมาเพื่อช่วยให้เด็กได้ผ่อนคลาย โดยมีตัวเลือกการแสดงสีหน้าอารมณ์ต่าง ๆ Kinder Bot ยังมีฟังก์ชันเล่านิทานที่ผู้ใช้งานสามารถเลือกฟังนิทานที่มีทั้งภาพและเสียงประกอบ โดยนิทานแต่ละเรื่องถูกคัดสรรมาให้เหมาะสมกับวัยของเด็กและส่งเสริมจินตนาการ นอกจากนี้เกมต่อจิ๊กซอว์ที่ช่วยพัฒนาทักษะด้านการแก้ปัญหาและการจดจำรูปแบบ โดยผู้ใช้งานสามารถเลือกความยากง่ายของเกมได้ตามต้องการ อีกฟังก์ชันที่สำคัญคือการถ่ายรูปและส่งไปยังไลน์ ซึ่งช่วยให้เด็กสามารถแบ่งปันผลงานของตนเองกับผู้ปกครองได้ง่ายขึ้น

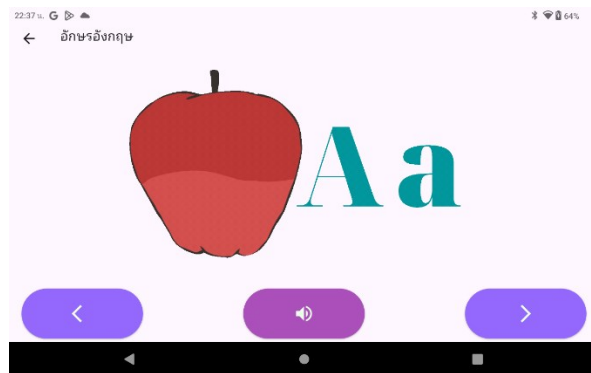
สำหรับในส่วนของการพัฒนาแอปพลิเคชัน Kinder Bot ยังมีการผสมผสานการทำงานร่วมกับหุ่นยนต์เพื่อให้เด็กสามารถมีปฏิสัมพันธ์กับอุปกรณ์จริงได้ โดยหุ่นยนต์ถูกติดตั้งเซ็นเซอร์ไวรับตัว โดยหากมีวัตถุเข้าใกล้ หุ่นยนต์จะหยุดทำงานทันทีเพื่อความปลอดภัยของเด็กและสิ่งรอบข้าง นอกจากนี้หุ่นยนต์ยังสามารถเคลื่อนที่ตามคำสั่งที่ส่งผ่านแอปพลิเคชัน และสามารถโต้ตอบกับเด็กได้ผ่านฟังก์ชันที่ออกแบบมาโดยเฉพาะในส่วนของการฝึกหัด นอกจากนี้แอปพลิเคชันรองรับทั้งการตอบแบบถูก-ผิดและการตอบเป็นเสียง โดยระบบสามารถตรวจจับเสียงของเด็กและประเมินผลลัพธ์ให้แบบอัตโนมัติ ซึ่งช่วยให้การเรียนรู้เป็นธรรมชาติและสนุกยิ่งขึ้น โดยสรุปแล้ว Kinder Bot ได้รับการออกแบบมาเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของเด็กในทุกมิติ ไม่ว่าจะเป็นด้านภาษา คณิตศาสตร์ ความคิดสร้างสรรค์ หรือปฏิสัมพันธ์ทางสังคม โดยแอปพลิเคชันจะช่วยให้การเรียนรู้เป็นเรื่องสนุกและมีประสิทธิภาพ ผ่านภาพ เสียง และกิจกรรมที่ออกแบบมาให้เหมาะสมกับเด็กอนุบาลโดยเฉพาะ



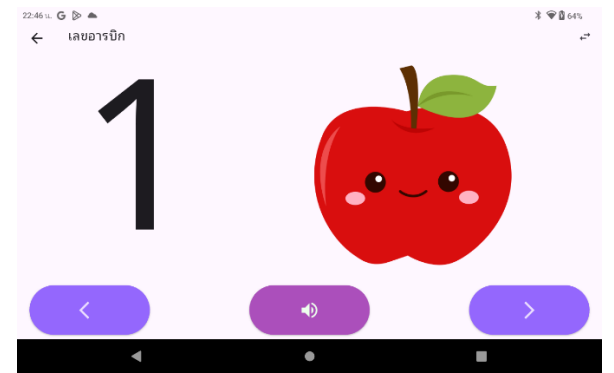
(ก) หน้าหลัก



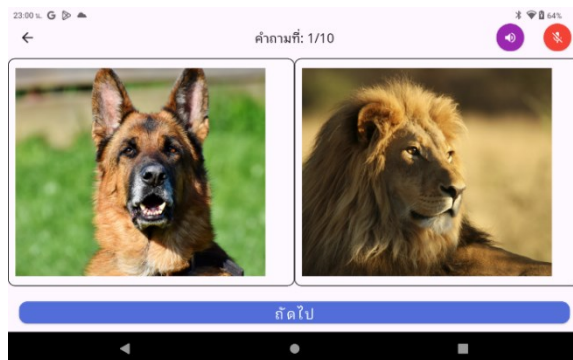
(ข) หน้าพยัญชนะไทย



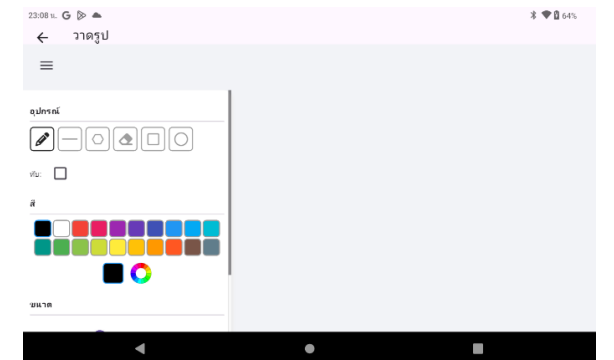
(ค) หน้าการสอนภาษาอังกฤษ



(ง) หน้าการสอนนับเลข



(จ) หน้าเกมทายสัตว์



(ฉ) หน้าวาดภาพระบายสี

ภาพที่ 5 หน้าจอของแอปพลิเคชันฝั่งผู้ใช้งาน (ก) หน้าหลัก (ข) หน้าพยัญชนะไทย
(ค) หน้าการสอนภาษาอังกฤษ (ง) หน้าการสอนนับเลข (จ) หน้าเกมทายสัตว์
และ (ฉ) หน้าวาดภาพระบายสี

3.3 กรณีศึกษาการใช้งานจริง

เมื่อวันที่ 11 มีนาคม พ.ศ. 2568 ผู้วิจัยได้นำหุ่นยนต์ Kinder Bot ไปใช้ในการเรียนการสอน ระดับชั้นอนุบาล 2 ของโรงเรียนเทศบาล 4 ฉลองรัตน โดยมีครูผู้สอนจำนวน 3 คน และนักเรียนระดับปฐมวัยจำนวน 10 คน เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยหุ่นยนต์ Kinder Bot รุ่นต้นแบบ ซึ่งมีฟังก์ชันการโต้ตอบด้วยเสียง แสดงสีหน้าและอารมณ์ผ่านหน้าจอตอบสนองต่อการสัมผัส และเชื่อมต่อกับระบบเว็บไซต์สำหรับส่งข้อมูลไปยังผู้ปกครอง จากการสังเกตพฤติกรรมของนักเรียน ดังแสดงในภาพที่ 6 พบว่านักเรียนมีความสนใจและให้ความร่วมมือในการทำกิจกรรมร่วมกับหุ่นยนต์เป็นอย่างดี โดยเฉพาะการตอบโต้กับเสียงและภาพแสดงอารมณ์ของหุ่นยนต์ นักเรียนแสดงพฤติกรรมเชิงบวก เช่น การยิ้ม หัวเราะ และพยายามตอบคำถามแม้ในกรณีที่ตอบผิด ดังแสดงในภาพที่ 6 ผลประเมินพบว่า ครูผู้สอนทั้ง 3 คนให้ความเห็นตรงกันว่า Kinder Bot มีศักยภาพในการเป็นสื่อการเรียนรู้ที่สามารถสร้างแรงจูงใจในการเรียนให้กับเด็กได้ดี และช่วยให้กิจกรรมการเรียนรู้มีความน่าสนใจยิ่งขึ้น โดยเฉพาะในด้านภาษาอังกฤษ ซึ่งมักเป็นเรื่องยากสำหรับเด็กระดับปฐมวัย อย่างไรก็ตามครูมีข้อเสนอแนะว่าควรเพิ่มความหลากหลายของบทเรียน รวมถึงเพิ่มความสามารถในการสื่อสารในภาษาถิ่นหรือภาษากลางที่เข้าใจง่ายสำหรับเด็กบางกลุ่ม



(ก) นักเรียนมีปฏิสัมพันธ์กับ Kinder Bot



(ข) รับฟังคำแนะนำเกี่ยวกับการใช้งาน Kinder Bot



(ค) นักเรียนยิ้มแย้มและแสดงความสนใจ



(ง) นักเรียนตั้งใจฟังครูอธิบายกิจกรรมในห้องเรียน

ภาพที่ 6 การใช้งานจริง (ก) นักเรียนมีปฏิสัมพันธ์กับ Kinder Bot (ข) รับฟังคำแนะนำเกี่ยวกับการใช้งาน Kinder Bot
(ค) นักเรียนยิ้มแย้มและแสดงความสนใจ และ (ง) นักเรียนตั้งใจฟังครูอธิบายกิจกรรมในห้องเรียน

4. สถิติที่ใช้ในการวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้สถิติที่สำคัญได้แก่ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยนำผลที่ได้เทียบกับเกณฑ์การประเมิน (สมบัติ, 2555) ปรากฏดังนี้คือ

- ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.51 – 5.00 หมายความว่า ระดับมากที่สุด
- ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.51 – 4.50 หมายความว่า ระดับมาก
- ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.51 – 3.50 หมายความว่า ระดับปานกลาง
- ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.51 – 2.50 หมายความว่า ระดับน้อย
- ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.01 – 1.50 หมายความว่า ระดับน้อยที่สุด

ผลการวิจัย และวิจารณ์ผลการวิจัย

1. ผลการพัฒนาหุ่นยนต์สื่อการเรียนรู้ในครั้งนี้ประกอบด้วยองค์ประกอบ 2 หลักคือ 1) หุ่นยนต์สื่อการเรียนรู้ และ 2) แอปพลิเคชันสำหรับควบคุมการทำงาน โดยในส่วนแรกนั้นได้รับการออกแบบให้ทำหน้าที่ควบคุมและสั่งการอุปกรณ์ภายในหุ่นยนต์ เพื่อให้สามารถทำงานร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยรองรับการทำงานในรูปแบบต่าง ๆ ตามที่กำหนดไว้ ซึ่งสามารถโต้ตอบกับผู้ใช้ผ่านแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ โดยแอปพลิเคชันดังกล่าวมีหน้าที่หลักในการควบคุมฟังก์ชันต่าง ๆ ของหุ่นยนต์ เช่น สั่นทวนการ โดยผู้ใช้งานสามารถเลือกเพลงเพื่อให้หุ่นยนต์ขับแขนและเอวได้ตามจังหวะของเพลง และการตอบคำถาม โดยหุ่นยนต์จะประเมินคำตอบของผู้ใช้งาน และแสดงผลผ่านไฟ LED โดยจะเป็นสีเขียวเมื่อคำตอบถูกต้อง และเป็นสีแดงเมื่อคำตอบไม่ถูกต้อง ในส่วนของการประเมินผลและอภิปรายผล ได้มีการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของหุ่นยนต์และแอปพลิเคชัน โดยเน้นพิจารณาความสามารถในการทำงานร่วมกันของระบบ ความแม่นยำของฟังก์ชันที่พัฒนา และการตอบสนองต่อผู้ใช้งาน

2. จากผลการทดสอบประสิทธิภาพของ Kinder Bot ได้ทำการประเมินตามเกณฑ์ 5 ด้าน ได้แก่ 1) การควบคุมการขับของแขนทั้งสองข้าง 2) การทดสอบเซนเซอร์เพื่อตรวจจับผู้ใช้งาน 3) การตอบสนองต่อสิ่งกีดขวางและการเดินหน้า-ถอยหลัง 4) การทำงานของไฟสถานะ และ 5) การส่งงานระยะไกลผ่านเว็บไซต์โดยผู้ปกครอง ในการวัดผลประสิทธิภาพของ Kinder Bot ในแต่ละด้านใช้เกณฑ์การประเมินเชิงสังเกตจากการทดลองใช้งานจริง โดยมีครูผู้สอนและนักพัฒนาระบบร่วมกันสังเกตพฤติกรรมและผลลัพธ์ของการทำงานในแต่ละรอบการทดสอบ รวมทั้งบันทึกความสำเร็จหรือความล้มเหลวของฟังก์ชันตามเกณฑ์ดังนี้ 1) การควบคุมการขับของแขนทั้งสองข้างในการทดสอบครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 จะเห็นว่าในการทดสอบจะได้ 90% หมายถึง หุ่นยนต์สามารถขับแขนได้เกือบสมบูรณ์ แต่มีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อย เช่น แขนข้างหนึ่งไม่ขับเต็มช่วงตอบสนองช้า หรือมีการกระตุกระหว่างเคลื่อนไหว จึงสรุปได้ว่าฟังก์ชันสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพแต่ยังมีข้อจำกัดเล็กน้อยที่ส่งผลต่อความแม่นยำของการเคลื่อนไหว จึงได้ผลการทดสอบอยู่ที่ 90% 2) การทดสอบเซนเซอร์เมื่อเข้าใกล้หุ่นยนต์ขณะทำงานในการทดสอบครั้งที่ 1-5 จะเห็นได้ว่าการทำงานของเซนเซอร์เมื่อเข้าใกล้หุ่นยนต์ขณะทำงานจะทำงานปกติเต็มประสิทธิภาพแต่เมื่อทดสอบครั้งที่ 6 จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพลดลงเป็น 90% เนื่องจากเซนเซอร์บางตำแหน่งรอบตัวหุ่นยนต์ตรวจจับได้ช้าหรือไม่ตอบสนองในบางช่วงเวลา ส่งผลให้การทำงานไม่ต่อเนื่องเท่าที่ควร แม้จะยังสามารถทำงานได้ในภาพรวมแต่ถือว่ามีความคลาดเคลื่อนที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพโดยรวม 3) การทดสอบหน้าจอสัมผัสการใช้งานฟังก์ชันต่าง ๆ ในการทดสอบครั้งที่ 5 และครั้งที่ 6 พบว่าหน้าจอสัมผัสมีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อย เช่น การตอบสนองช้ากว่าปกติเล็กน้อย หรือผู้ใช้งานต้องแตะซ้ำในบางจุดจึงจะสามารถสั่งงานได้สำเร็จ จากการทดสอบทั้งสิ้น 10 ครั้ง พบว่าระบบสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องในเกือบทุกครั้ง โดยเฉพาะในการทดสอบครั้งที่ 1-4 และครั้งที่ 7-10 ระบบตอบสนองต่อการสัมผัสได้อย่างแม่นยำรวดเร็ว และต่อเนื่อง ให้ผลลัพธ์ที่สมบูรณ์ 100% 4) การส่งตารางเรียนจากเว็บไซต์ไปยังไลน์ผู้ปกครอง จากการทดสอบทั้งหมด 10 ครั้ง พบว่าระบบสามารถส่งตารางเรียนจากเว็บไซต์ไปยังไลน์ของผู้ปกครองได้อย่างสมบูรณ์ใน 9 ครั้ง (100%) ยกเว้นในการทดสอบครั้งที่ 3 ซึ่งผลการทดสอบอยู่ที่ 90% เนื่องจากเกิดความล่าช้าในการส่งข้อมูล โดยตารางเรียนถูกส่งถึงปลายทางล่าช้ากว่าปกติประมาณ 1-2 นาที แม้ข้อมูลที่ส่งจะถูกต้องครบถ้วนและไม่มีความผิดพลาดด้านเนื้อหา

แสดงได้ดังตารางที่ 1 โดยทำการทดสอบแต่ละเกณฑ์จำนวน 10 ครั้ง และบันทึกผลลัพธ์ที่ได้จากการทำงานของหุ่นยนต์ โดยผลลัพธ์มีดังนี้คือ หุ่นยนต์สามารถควบคุมการขับของแขนทั้งสองข้าง ได้อย่างแม่นยำในระดับสูง โดยมีความถูกต้องเฉลี่ยอยู่ที่ 97.7% อย่างไรก็ตามพบว่าบางครั้งการเคลื่อนไหวของแขนอาจไม่สมบูรณ์แบบตามที่กำหนดไว้

นอกจากนี้การทำงานของเซนเซอร์เพื่อตรวจจับผู้ใช้งาน แสดงให้เห็นได้ว่าหุ่นยนต์สามารถตรวจจับและตอบสนองต่อการมีอยู่ของผู้ใช้ได้อย่างแม่นยำ โดยมีความถูกต้องเฉลี่ย 99% ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับที่ดีมาก สำหรับในด้านการตอบสนองต่อสิ่งกีดขวางและการเคลื่อนที่พบว่าหุ่นยนต์สามารถตรวจจับสิ่งกีดขวางและตัดสินใจเดินหน้า-ถอยหลังได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีความถูกต้องอยู่ที่ 97.7% ซึ่งสะท้อนถึงความสามารถของเซนเซอร์ในด้านการรับรู้และการหลบหลีกอุปสรรค สำหรับในส่วนการทำงานของไฟสถานะ ซึ่งเป็นระบบที่ช่วยบ่งบอกผลลัพธ์ของคำตอบ เช่น แสดงไฟสีเขียวเมื่อตอบถูกและไฟสีแดงเมื่อตอบผิด ผลการทดสอบแสดงให้เห็นได้ว่าระบบสามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง 100% สำหรับการสั่งงานระยะไกลผ่านเว็บไซต์โดยผู้ปกครอง พบว่าหุ่นยนต์สามารถรับคำสั่งและตอบสนองต่อการควบคุมจากระยะไกลได้อย่างแม่นยำ โดยมีความถูกต้อง 100% ซึ่งเป็นการยืนยันถึงความเสถียรของระบบเชื่อมต่อและการสั่งงานผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์ โดยสรุปผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า Kinder Bot มีความสามารถในการทำงานได้อย่างถูกต้องและแม่นยำในทุกด้าน โดยเฉพาะระบบไฟสถานะและการควบคุมระยะไกลที่ให้ผลลัพธ์ 100% ขณะที่ฟังก์ชันอื่น ๆ มีระดับความถูกต้องที่สูงมาก แสดงให้เห็นถึงความสามารถของหุ่นยนต์ในการทำงานร่วมกับผู้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของหุ่นยนต์สื่อการเรียนรู้ (Kinder Bot)

ลำดับ	เกณฑ์การประเมิน	ผลการทดสอบ (ครั้งที่, %)										สรุป (%)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	การควบคุมการขับของแขนทั้งสองข้าง	90	90	100	100	100	100	100	100	100	100	97.7
2	การทดสอบเซนเซอร์เมื่อเข้าใกล้หุ่นยนต์ขณะทำงาน	100	100	100	100	100	90	100	100	100	100	99.0
3	การทดสอบหน้าจอสัมผัสการใช้งานฟังก์ชันต่าง ๆ	100	100	100	100	90	90	100	100	100	100	97.7
4	การถ่ายภาพส่งภาพไปยังไลน์	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
5	การส่งตารางเรียนจากเว็บไซต์ไปยังไลน์ผู้ปกครอง	100	100	90	100	100	100	100	100	100	100	99.0

3. ผลการสอบถามความพึงพอใจจากตัวอย่างที่มีการใช้งานหุ่นยนต์สื่อการเรียนรู้ (Kinder Bot) จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ 1) เด็กอนุบาล 2 จำนวน 10 คน ใช้วิธีการประเมินความพึงพอใจผ่านกิจกรรมการระบายสี โดยให้เด็กเลือกสีเพื่อแสดงความรู้สึกที่มีต่อการใช้งานหุ่นยนต์ โดยการประเมินแบ่งออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ พอใจมาก ปานกลาง และไม่ชอบ จากผลการประเมินพบว่า เด็กส่วนใหญ่รู้สึก พอใจมาก กับการใช้งาน โดยให้เหตุผลว่าหุ่นยนต์มีสีสันสดใส สามารถขับได้และโต้ตอบกับพวกเขาได้อย่างสนุกสนาน โดยเฉพาะฟังก์ชันการเดินและตอบคำถามที่ช่วยสร้างความตื่นเต้นและความสนุกสนานระหว่างการใช้งาน นอกจากนี้ Kinder Bot ยังช่วยให้เด็ก ๆ มีปฏิสัมพันธ์กับเทคโนโลยีในรูปแบบที่เข้าใจง่ายและเป็นมิตร โดยสรุปแล้ว หุ่นยนต์ได้รับการตอบรับเชิงบวก และมีศักยภาพในการเป็นสื่อการเรียนรู้ที่สามารถกระตุ้นความสนใจและสร้างประสบการณ์ที่ดีให้กับเด็กในวัยนี้ (ดังตารางที่ 2) และ 2) ครู โดยใช้แบบฟอร์มประเมินความพึงพอใจเป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูล จากการประเมินความพึงพอใจ พบว่าครูมีความคิดเห็นเชิงบวกเกี่ยวกับการใช้งานหุ่นยนต์และแอปพลิเคชัน

ประกอบโดยผลการประเมินสามารถสรุปได้ดังนี้คือ ในด้าน ความคิดเห็นเกี่ยวกับหุ่นยนต์สื่อการเรียนรู้ พบว่าครูมองว่า หุ่นยนต์มีส่วนช่วยกระตุ้นความสนใจของเด็กในการเรียนรู้ โดยมีคะแนนเฉลี่ยที่ 80% ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าหุ่นยนต์สามารถเป็น สื่อการเรียนรู้ที่ช่วยให้เด็กมีปฏิสัมพันธ์และมีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 2 คะแนนความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

หัวข้อประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความคิดเห็น
ความคิดเห็นเกี่ยวกับหุ่นยนต์สื่อการเรียนรู้			
1. หุ่นยนต์ช่วยให้เด็กสนใจการเรียนรู้มากขึ้นหรือไม่	4.00	0.35	มาก
2. เด็กมีปฏิสัมพันธ์กับหุ่นยนต์มากน้อยเพียงใด	5.00	0.35	มากที่สุด
ประเมินด้านการใช้งานแอปพลิเคชัน			
3. พยัญชนะไทยและเกมแบบฝึกหัด	4.33	0.35	มาก
4. สอนภาษาอังกฤษและเกมแบบฝึกหัด	4.65	0.35	มากที่สุด
5. นับเลขและเกมแบบฝึกหัด	5.00	0.35	มากที่สุด
6. สันทนการ (เดิน)	5.00	0.35	มากที่สุด
7. ปริศนาเกมส์ทายสัตว์	4.65	0.35	มากที่สุด
8. วาดภาพระบายสี	5.00	0.35	มากที่สุด
9. เล่นิทาน	5.00	0.35	มากที่สุด
10. เกมต่อจิ๊กซอว์	4.33	0.35	มาก
ประเมินการใช้งานของหุ่นยนต์			
11. ด้านความปลอดภัยของหุ่นยนต์	5.00	0.35	มากที่สุด
12. ด้านความเสถียรของหุ่นยนต์	5.00	0.35	มากที่สุด
คะแนนเฉลี่ยโดยรวม	4.75	0.35	มากที่สุด

วิจารณ์ผลการวิจัย

ในการอภิปรายผลของการวิจัยเรื่อง หุ่นยนต์สื่อการเรียนรู้เด็กปฐมวัย: กรณีศึกษาโรงเรียนเทศบาล 4 ฉลองรัตน ผู้วิจัยได้พิจารณาเปรียบเทียบผลลัพธ์และคุณลักษณะของหุ่นยนต์ต้นแบบที่พัฒนาขึ้นกับงานวิจัยอื่น ๆ ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน โดยเน้นทั้งในแง่ข้อดี ข้อจำกัด และจุดเด่นที่แตกต่าง เพื่อสะท้อนถึงประสิทธิภาพและศักยภาพในการนำมาใช้เป็นสื่อการเรียนรู้ในระดับปฐมวัยผล ทั้งนี้จากการนำหุ่นยนต์ไปใช้งานจริงในห้องเรียนพบว่า หุ่นยนต์สามารถกระตุ้นความสนใจของผู้เรียนได้อย่างมีนัยสำคัญ เด็ก ๆ มีความกระตือรือร้นและมีปฏิสัมพันธ์กับหุ่นยนต์อย่างต่อเนื่อง ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงศักยภาพของหุ่นยนต์ในการสร้างแรงจูงใจและส่งเสริมการเรียนรู้ที่สอดคล้องกับวัย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการเรียนการสอนในรูปแบบเดิมที่อาจขาดความน่าสนใจและมีรูปแบบสื่อที่ตายตัว เป็นต้น

นอกจากนี้หุ่นยนต์สามารถสร้างบรรยากาศการเรียนรู้ที่เป็นมิตร สนุกสนาน และมีปฏิสัมพันธ์แบบสองทาง ทำให้เด็กเกิดการเรียนรู้จากการลงมือทำและตอบสนองทันทีจากหุ่นยนต์เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ใช้หุ่นยนต์ในการช่วยสอนภาษา เช่น งานของ Meirbekov et al. (2016) และ Causo et al. (2017) ที่เน้นการนำหุ่นยนต์มาใช้ในการบำบัดครูผู้ช่วย พบว่า หุ่นยนต์ที่พัฒนาขึ้นนี้มีความโดดเด่นในด้านการออกแบบให้สอดคล้องกับบริบทของโรงเรียนขนาดเล็กในประเทศไทย โดยใช้ อุปกรณ์ที่มีต้นทุนต่ำ เช่น การใช้บอร์ด Arduino Nano และ Mega 2560 ควบคุมมอเตอร์ส่วนแขนและเอว

พร้อมเซ็นเซอร์ตรวจจับวัตถุที่ช่วยเพิ่มความสามารถในการโต้ตอบกับเด็ก นอกจากนี้ยังมีการใช้เทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติและวัสดุไฟเบอร์กลาสในการสร้างโครงสร้างหุ่นยนต์ ทำให้สามารถลดต้นทุนและผลิตได้อย่างเหมาะสมกับบริบทของโรงเรียนในส่วนภูมิภาค ที่มีงบประมาณจำกัด ในขณะที่งานวิจัยที่ผ่านมา เช่น การใช้หุ่นยนต์ NAO ซึ่งแม้ว่าจะมีความสามารถสูงและมีระบบ AI ในตัว แต่มีราคาสูงและไม่เหมาะสมกับการใช้งานในสถานศึกษาในประเทศไทย ดังนั้นหุ่นยนต์ Kinder Bot ที่พัฒนาขึ้นนี้แสดงให้เห็นถึงความสมดุลระหว่างประสิทธิภาพและต้นทุน โดยยังคงไว้ซึ่งความสามารถในการสื่อสาร การปฏิสัมพันธ์ และสนับสนุนการเรียนรู้ด้านภาษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

นอกจากนี้งานของ Lee et al. (2018) ที่พัฒนาหุ่นยนต์เพื่อส่งเสริมทักษะการแก้ปัญหาในเด็ก พบว่าหุ่นยนต์มีบทบาทสำคัญในการกระตุ้นการคิดอย่างมีระบบและพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์ของเด็กได้อย่างชัดเจน แต่หุ่นยนต์ดังกล่าวยังมีข้อจำกัดในด้านการออกแบบที่ไม่สอดคล้องกับบริบททางวัฒนธรรมและความต้องการเฉพาะของเด็กไทย เช่น รูปแบบการสื่อสาร และรูปแบบการปฏิสัมพันธ์ที่ไม่เหมาะสมกับลักษณะนิสัยและพฤติกรรมของเด็กในบริบทโรงเรียนขนาดเล็กในชนบท นอกจากนี้วัสดุและเทคโนโลยีที่ใช้ในงานวิจัยนี้ยังมีต้นทุนสูงและการดูแลรักษาค่อนข้างซับซ้อน ส่งผลให้มีข้อจำกัดในการนำไปใช้งานจริงในโรงเรียนที่มีงบประมาณจำกัด ต่างจากหุ่นยนต์ Kinder Bot ที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ที่ให้ความสำคัญกับการเลือกใช้วัสดุที่มีต้นทุนต่ำ เช่น บอร์ด Arduino Nano และ Mega 2560 รวมถึงการออกแบบโครงสร้างหุ่นยนต์โดยใช้เทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติและวัสดุไฟเบอร์กลาส ซึ่งช่วยลดต้นทุนและเพิ่มความเหมาะสมในการใช้งานจริงกับบริบทของโรงเรียนในประเทศไทย นอกจากนี้การออกแบบยังคำนึงถึงความเหมาะสมทางวัฒนธรรมและพฤติกรรมของเด็กปฐมวัยในโรงเรียนเทศบาลขนาดเล็ก ทำให้หุ่นยนต์มีความโดดเด่นในด้านการสร้างปฏิสัมพันธ์และการสื่อสารที่ตอบโจทย์การเรียนรู้ของเด็กไทยได้ดีกว่า

ทั้งนี้ถึงแม้ว่าหุ่นยนต์ที่ได้พัฒนาขึ้นนี้จะสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ยังคงมีข้อจำกัดสำคัญในด้านการเคลื่อนที่ (ไม่มีระบบขับเคลื่อนอัตโนมัติ) และโครงสร้างพื้นฐานบางส่วนอาจจะต้องพัฒนาเพิ่มเติมให้มีความแข็งแรงขึ้นเพื่อรองรับการใช้งานได้ในระยะยาว แต่โดยภาพรวมถือได้ว่าเป็นต้นแบบที่มีความพร้อมสำหรับการต่อยอด ทั้งในด้านเนื้อหาการเรียนรู้ เทคโนโลยีการควบคุม และความสามารถในการปรับตัวเข้ากับแอปพลิเคชันควบคุมจากระยะไกลได้ในอนาคต ซึ่งจะช่วยให้สามารถเสริมสร้างประสบการณ์การเรียนรู้ที่ทันสมัย ปลอดภัย และตอบโจทย์ยุคดิจิทัลได้อย่างแท้จริง

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการพัฒนาและทดลองใช้งานหุ่นยนต์สื่อสารการเรียนรู้เด็กปฐมวัยในบริบทของโรงเรียนเทศบาลขนาดเล็ก โดยผลลัพธ์ที่ได้สะท้อนให้เห็นถึงการตอบรับที่ดีจากผู้ใช้งาน ทั้งในด้านการออกแบบที่เหมาะสมกับเด็กปฐมวัย ความสามารถในการสื่อสารที่เป็นมิตร และศักยภาพในการส่งเสริมการเรียนรู้ผ่านปฏิสัมพันธ์กับผู้เรียนอย่างไรก็ตาม ยังคงมีบางประเด็นที่สามารถพัฒนาเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของหุ่นยนต์ เช่น การปรับปรุงความเร็วและความเสถียรของระบบการเพิ่มฟังก์ชันการโต้ตอบที่ตอบสนองแบบเรียลไทม์ และการขยายเนื้อหาการเรียนรู้ให้มีความหลากหลายมากยิ่งขึ้นครอบคลุมทั้งทักษะด้านภาษา คณิตศาสตร์ และทักษะชีวิต จากผลการทดลองใช้งานสามารถสรุปได้ว่า หุ่นยนต์ต้นแบบที่พัฒนาขึ้นมีศักยภาพสูงในการนำไปใช้เป็นเครื่องมือช่วยสอนในระดับปฐมวัย อีกทั้งยังสามารถพัฒนาและต่อยอดให้กลายเป็นหุ่นยนต์เพื่อการเรียนรู้ที่ครอบคลุมมากขึ้น ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการส่งเสริมพัฒนาการทางการศึกษาของเด็ก ตลอดจนสนับสนุนการทำงานของครูและการมีส่วนร่วมของผู้ปกครองในกระบวนการเรียนรู้ในยุคดิจิทัล

ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัย พบว่าหุ่นยนต์สื่อการเรียนรู้สำหรับเด็กปฐมวัยมีศักยภาพในการเป็นสื่อการเรียนรู้ที่เหมาะสมและส่งเสริมพัฒนาการของเด็กได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตาม เพื่อให้การใช้งานมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ควรมีการพัฒนาและต่อยอดในหลายด้าน ทั้งในเชิงโครงสร้างและฟังก์ชันการทำงาน ในด้านโครงสร้าง ควรเสริมความแข็งแรงของชิ้นส่วนหุ่นยนต์ให้มีความทนทาน รองรับการใช้งานในระยะยาว และเพิ่มความสามารถในการเคลื่อนที่ เพื่อส่งเสริมปฏิสัมพันธ์ที่หลากหลายและใกล้เคียงกับพฤติกรรมของมนุษย์มากยิ่งขึ้น ขณะเดียวกันควรพัฒนาเนื้อหาการเรียนรู้ให้มีความหลากหลาย ครอบคลุมทักษะสำคัญ เช่น ภาษา คณิตศาสตร์ และทักษะชีวิต ให้สอดคล้องกับช่วงวัยของเด็กสำหรับด้านซอฟต์แวร์ ควรปรับปรุงระบบให้มีความเสถียรและตอบสนองรวดเร็วขึ้น ลดความล่าช้าในการโต้ตอบ พร้อมออกแบบฟังก์ชันการโต้ตอบให้เหมาะสมกับลักษณะการเรียนรู้ของเด็ก เช่น การตอบสนองผ่านเสียง สี หรือการเคลื่อนไหวแบบเรียลไทม์ เพื่อเพิ่มความสนใจและการมีส่วนร่วมของเด็กในการเรียนรู้ นอกจากนี้ ควรเตรียมความพร้อมให้กับครูผู้สอน ด้วยการจัดอบรมเชิงปฏิบัติการ หรือจัดทำคู่มือการใช้งานที่ชัดเจนและเป็นระบบ เพื่อสนับสนุนให้นำหุ่นยนต์ไปใช้ในห้องเรียนเป็นไปอย่างราบรื่นและเกิดประโยชน์สูงสุด

เอกสารอ้างอิง

- จรัพร มุลณี. (2565). ประสิทธิภาพการจัดการเรียนการสอนของครูในศตวรรษที่ 21 ของสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษา ประถมศึกษาชลบุรี เขต 1. ค้นจาก <https://art.krirk.ac.th/wp-content/uploads/sites/6/2022/06/2.pdf>
- ชธีรพันธุ์เมธี ป. (2565). การพัฒนาสื่อการเรียนการสอนโดยใช้เทคโนโลยีเสมือนจริงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเรียนรู้ของนักเรียน. *วารสารศิลปศาสตร์และวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา*, 19(1), 45–56.
- ศูนย์เทคโนโลยีการศึกษา มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. (2565). การใช้สื่อเทคโนโลยีสารสนเทศในการจัดการเรียนการสอน. ค้นจาก <https://ir.stou.ac.th/bitstream/123456789/12072/1/FULLTEXT.pdf>
- Brown, C. P., et al. (2023). First-year teachers' challenges with implementing developmentally appropriate practices in their public school classrooms. *Journal of Research in Childhood Education*, 38(1), 104–122. doi:10.1080/02568543.2023.2190787
- EF Education First. (2018). *EF English Proficiency Index*. Retrieved from <https://www.ef.co.th/epi/regions/asia/thailand/>
- Fisher-Price. (2021). *The Future of Learning Through Play: Embracing Digital Tools for Early Education*. Retrieved from <https://www.fisher-price.com>
- Grosch, M. (2017). Educational robotics: Opportunities for the future of education. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 8(11), 1–6.
- Houtman, E. (2012). Robots in early childhood education: Preparing children for a changing world. *Journal of Early Childhood Research*, 10(1), 3–14. doi:10.1177/1476718X11407993
- Kewalramani, S., Havu-Nuutinen, S., and Rintakorpi, K. (2020). Enhancing creativity through robotics in early years learning: A study in STEAM education. *Early Child Development and Care*, 190(15), 2369–2380. doi:10.1080/03004430.2019.1574777
- Lee, J., Kim, H., and Park, S. (2018). Development of a robot-based learning system to enhance problem-solving skills in children. *International Journal of Social Robotics*, 10(3), 345–356. doi: 1007/s12369-018-0476-5

- National Association for the Education of Young Children. (2022). **Developmentally appropriate practice in early childhood programs serving children from birth through age 8** (4th ed.). NAEYC. Retrieved from https://www.naeyc.org/resources/pubs/books/dap-fourth-edition?utm_source
- Patil, S. B., and Kale, A. (2017). Application of robotics in education. **International Journal of Research in Advent Technology**, 5(6), 60–63.
- VEX Robotics. (2024). **STEM education with VEX Robotics**. Retrieved from <https://www.vexrobotics.com/>

วิธีการวิจัย

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

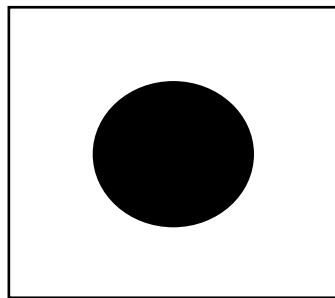
.....

.....

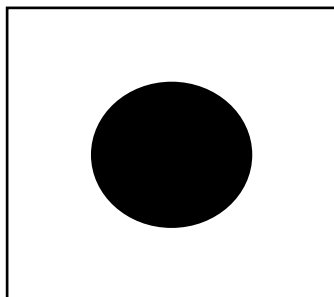
.....

.....

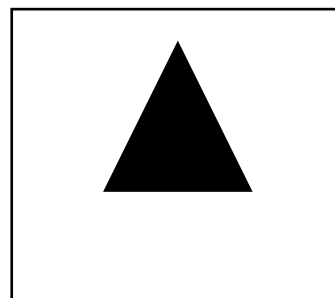
ตัวอย่างรูปภาพ



ภาพที่ 1 แผนภาพตัวอย่าง



(ก).....



(ข).....

ภาพที่ 2 แผนภาพตัวอย่าง (ก)..... (ข).....

ตารางที่ 1 ปริมาณการใช้น้ำมันปิโตรเลียมในแต่ละภาคเศรษฐกิจต่างๆ ของประเทศไทย (หน่วย : ล้านลิตร)
ใส่ที่มาหรืออ้างอิงด้วยถ้ามี

การระบุหมายเลขลำดับรูปภาพและตารางในบทความให้ระบุเป็นภาพที่ และตารางที่ เช่น ภาพที่ 1 และตารางที่ 1 การจัดรูปแบบตารางให้เหมาะสมกับข้อมูล

การเขียนสมการให้เขียนไว้กลางคอลัมน์ เว้นบรรทัดบนและล่าง อย่างละ 1 บรรทัด และมีการระบุลำดับของสมการโดยใช้ตัวเลขที่พิมพ์อยู่ในวงเล็บ และเรียงลำดับที่ถูกต้อง เช่น (1), (2) เป็นต้น ตำแหน่งของหมายเลขสมการจะต้องอยู่ชิดขอบด้านขวาของคอลัมน์ โดยใช้โปรแกรม Equation หรือจะเป็นโปรแกรม MathType ดังตัวอย่าง

ตัวอย่างหน่วยที่ใช้

หน่วยในการใช้เป็นระบบสากล หน่วย SI เช่น kg, m, s หรือ Mg/L เป็นต้น

ผลการวิจัย และวิจารณ์ผลการวิจัย

[illegible]

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

สรุปผลการวิจัย

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

กิตติกรรมประกาศ

.....

.....

.....

.....

.....

เอกสารอ้างอิง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ตัวอย่างการเขียนเอกสารอ้างอิง

ฝ่ายบริการทรัพยากรสารสนเทศ สำนักหอสมุดกลาง มศว. (2542). การเขียนบรรณานุกรมตามรูปแบบ APA 6th (American Psychological Association). ค้นจาก <https://lib.swu.ac.th/images/Documents/Researchsupport/APA6th-Citation160820.pdf>

ศุสึพร ช่วยชูวงศ์. (2558). การเขียนอ้างอิงแบบ APA ฉบับพิมพ์ครั้งที่ 6. ค้นจาก <https://clib.psu.ac.th/images/ratana/APA-6-edition.pdf>

American Psychological Association. (2010). **Publication manual of the American Psychological Association** (6th ed.). Washington, D.C.: The Association.



Journal of Science,
Engineering and Technology
LOEI RAJABHAT UNIVERSITY

