

มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย

วารสารวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี

JSET LRU

ปีที่ 6 ฉบับที่ 1 (2026) : มกราคม - มิถุนายน 2569

Journal of Science,
Engineering and Technology
LOEI RAJABHAT UNIVERSITY

ISSN : 2773-9856 (Online)

วัตถุประสงค์

วารสารฯ มีวัตถุประสงค์ เพื่อเป็นสื่อกลางในการเผยแพร่บทความวิจัยคุณภาพสูงด้านวิทยาศาสตร์กายภาพ (Physical Sciences) ในสาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ (Computer Science), วิศวกรรมศาสตร์ (Engineering), วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (Environmental Science) และอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง พร้อมทั้งเป็นสื่อประสานและส่งข่าวสารระหว่างเครือข่ายนักวิชาการ

เจ้าของ

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย

คณะกรรมการอำนวยการ

- | | |
|---|--|
| 1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาณุมาศ พรหมเทศ | อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏเลย |
| 2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพรรณิ พฤกษา | รองอธิการบดีฝ่ายวิจัยและประกันคุณภาพ |
| 3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เนตรนภา พงษ์เพชร | ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา |
| 4. นายวิสุทธิ กิจชัยนุกูล | คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 5. รองศาสตราจารย์ศักดิ์ชาย พวงจันทร์ | คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม |

กองบรรณาธิการ

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

ผู้ทรงคุณวุฒิประจำกองบรรณาธิการ

- | | |
|---|---------------------------------------|
| 1. ศาสตราจารย์ ดร.พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี |
| 2. ศาสตราจารย์ ดร.สมชาย ปิ่นล่อ | มหาวิทยาลัยขอนแก่น |
| 3. ศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ ประมวล | มหาวิทยาลัยมหาสารคาม |
| 4. ศาสตราจารย์ ดร.ธนากร วงศ์วัฒนาเสถียร | มหาวิทยาลัยขอนแก่น |
| 5. ศาสตราจารย์ ดร.บุญเสถียร บุญสูง | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 6. รองศาสตราจารย์ ดร.จักรมาส เลหาวิช | มหาวิทยาลัยมหาสารคาม |
| 7. รองศาสตราจารย์ ดร.โอภาส วนิชชีวะ | มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร |
| 8. รองศาสตราจารย์ ดร.วาทิ คงบรรทัด | มหาวิทยาลัยแม่โจ้ |
| 9. รองศาสตราจารย์ ดร.ชาติไทย แก้วทอง | มหาวิทยาลัยมหาสารคาม |
| 10. รองศาสตราจารย์ ดร.ต้องจิตร์ ถิ่นชนม | มหาวิทยาลัยมหาสารคาม |
| 11. รองศาสตราจารย์ ดร.พงษ์เดช สารการ | มหาวิทยาลัยขอนแก่น |
| 12. รองศาสตราจารย์ ดร.สิทธิชัย แสงอาทิตย์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี |
| 13. รองศาสตราจารย์ ดร.นันทพงษ์ พลพวง | มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม |
| 14. รองศาสตราจารย์ ดร.อลงกรณ์ พรหมที | มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี |

- | | |
|--|--|
| 15. รองศาสตราจารย์ ดร.ศิวคล ภัยญาคำ | มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม |
| 16. รองศาสตราจารย์ ดร.วุฒิชัย รสชาติ | มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร |
| 17. รองศาสตราจารย์ประสงค์ สีหานาม | มหาวิทยาลัยมหาสารคาม |
| 18. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัชรวัฒน์ ครอบเคหา | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ |
| 19. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิรายุส วรรัตน์โกคา | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน |
| 20. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรัชญา มุขดา | มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี |
| 21. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาทิตย์ ฉิ่งสูงเนิน | มหาวิทยาลัยมหาสารคาม |
| 22. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทิพวิมล ชมภูคำ | มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม |
| 23. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิภาพร ชนะมาร | มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร |
| 24. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ โยธาทักดี | มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย |
| 25. ดร.ภัทรพงศ์ พงศ์ภัทรกานต์ | มหาวิทยาลัยนเรศวร |
| 26. ดร.ธนากร จันทสุบรรณ | มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี |
| 27. ดร.กันยาลักษณ์ โพธิ์ดง | มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา |
| 28. ดร.พัทธเพ็ญ เพ็ญจำรัส | มหาวิทยาลัยแม่โจ้ |

เจ้าหน้าที่ประจำวารสาร

- | | |
|-------------------------------|-------------------------------|
| 1. นางสาวอัญชลีพร เนื่องมัจฉา | เจ้าหน้าที่ประจำกองบรรณาธิการ |
| 2. นายชนาธิป สุรงษา | เจ้าหน้าที่ประจำกองบรรณาธิการ |
| 3. นายสุทธิกานต์ หอมคำพัด | เจ้าหน้าที่ประจำกองบรรณาธิการ |
| 4. นายธนาวุฒิ ศรพรหม | เจ้าหน้าที่ประจำกองบรรณาธิการ |
| 5. นางทัศนีย์ บุตรเพ็ง | 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 ตันเมืองปัก
สถานที่ติดต่อ	234 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ตึก 28 มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย ถนนเลย-เชียงคาน อำเภอเมือง ตำบลเมือง 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 6 ฉบับที่ 1 (มกราคม – มิถุนายน 2569) ได้จัดทำขึ้นโดย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ร่วมกับคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย ซึ่งบทความในวารสารเป็นบทความที่ได้รับการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิ ทั้งจากภายในและภายนอกมหาวิทยาลัยราชภัฏเลย มีวัตถุประสงค์การจัดทำเพื่อเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ เป็นสื่อกลาง รายงานความก้าวหน้าทางวิจัย และแลกเปลี่ยนแนวความคิดในการวิจัย การตีพิมพ์ฉบับนี้ กองบรรณาธิการได้พิจารณา บทความวิจัยลงตีพิมพ์เผยแพร่ จำนวน 8 บทความ

ในการนี้ กองบรรณาธิการวารสารวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย ขอเชิญชวนนักวิจัย นักวิชาการ นิสิต นักศึกษา เครือข่าย หน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ส่งบทความที่ดีมีประโยชน์เผยแพร่ ต่อสาธารณชน ในการนำไปใช้ประโยชน์ทั้งทางวิชาการและพัฒนาต่อยอดต่อไปนี้ หากท่านใดประสงค์ที่จะเป็นสมาชิก สามารถสมัครได้ตามระเบียบการตีพิมพ์แนบท้ายวารสารนี้และเว็บไซต์ <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/JSET/>

สารบัญ

บทความวิจัย

ไอเอ็ม โรบอท: เพื่อนสัตว์เลี้ยงอัจฉริยะ พรทิศา รูปจันทร์ ผกามาศ มุ่งเป้า สาธิต กระเวนกิจ และ จักรชัย โสอินทร์*	1-16
การพัฒนาและประเมินโมชันอินโฟกราฟิก เพื่อสร้างความเข้าใจเรื่องโรคเบาหวานระยะสงบ กิตติเชษฐ ฐปบุชา ¹ ไชยวัฒน์ เอี่ยมกระจ่าง ² และ สุรพงษ์ วิริยะ ^{2*}	17-26
การพัฒนาระบบบริหารจัดการห้องอาหารบัวขาวศูนย์ฝึกประสบการณ์วิชาชีพ ดาวธนา วีระพันธ์ นวรัตน์ อาสนะ และ ณัฐรดี อนุพงศ์	27-42
การพัฒนาเครื่องอบแห้งสับปรดทำอุเทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดที่ควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ด้วยระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ทรงพล วิจารณ์จักร ¹ อำไพศักดิ์ ธิบุญญา ² อภินันต์ นามเขต ² ทรงสุภา พุ่มชุมพล ² อธิวัฒน์ สารไพศา ³ และ กานต์ กอมณี ^{1*}	43-59
การพัฒนาผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งสีทองในจังหวัดเลย จุไรรัตน์ อาจแก้ว ^{1*} และ โสภา ธงศิลา ²	60-74
ระบบควบคุมสภาพแวดล้อมสำหรับฟาร์มไส้เดือนโดยใช้เทคโนโลยี IoT เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ การผลิตมูลไส้เดือน คณินุช สารอินจักร ¹ นราวิชัย ความหมั่น ¹ ศิริประภา ศรีทอง ² และ สุขุมาล ตัวสกุล ^{1*}	75-90
การวิเคราะห์เชิงทำนายพฤติกรรมกรซื้อของลูกค้าโดยใช้อัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่อง: กรณีศึกษาร้านซูชิปิดแฮนด์เมดจิ๋วเอลรี จิตติมาวิทย์ บัคเลย์ และ นิติเศรษฐ์ หมวดทองอ่อน*	91-112
ผลการทำแห้งผลหม่อนด้วยวิธีที่ต่างกันต่อปริมาณเรสเวอรอลซึ่งตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค โครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง วิไลวรรณ สิมเชื้อ ^{1*} อธิภัทร์ อนุชาติ ² ภัทรานุช ผงสุข ¹ และ เปรมชัย มูลหล้า ³	113-124

โอมิ โรบอท: เพื่อนสัตว์เลี้ยงอัจฉริยะ

Development of Imi Robot: A Wireless Remote-Controlled Pet Companion with IoT Integration

พรทิศา รูปจันทร์ ผกามาศ มุ่งเป้า สาธิต กระเวนกิจ และ จักรชัย โสอินทร์*

Pontita Roobjan Pakamas Mungpao Satit Kravenkit and Chakchai So-Ino*

สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ วิทยาลัยการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40000

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

Khon Kaen Province, 400000

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

Received 3 April 2025, Accepted 28 October 2025, Published 10 February 2026

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนา โอมิ โรบอท: เพื่อนสัตว์เลี้ยงอัจฉริยะ แบบการควบคุมระยะไกลแบบไร้สาย โดยมีกลุ่มตัวอย่างคือ นักศึกษาหลักสูตรเทคโนโลยีสารสนเทศ วิทยาลัยการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จำนวน 10 คน ซึ่งถูกคัดเลือกแบบเจาะจงและเป็นผู้ที่สมัครใจที่จะใช้งาน โอมิ โรบอท โดยมีเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยได้แก่ โอมิ โรบอท และการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละฟังก์ชัน รวมถึงแบบสอบถามความพึงพอใจของผู้ใช้งาน ซึ่งเป็นแบบสอบถามเชิงปริมาณ ใช้วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลด้วย ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากผลการวิจัย พบว่า 1) โอมิ โรบอท ประกอบไปด้วย 3 องค์ประกอบหลักสำคัญคือ (1) กล้องควบคุมระบบ โอมิ โรบอท ทำหน้าที่ควบคุมและสั่งการอุปกรณ์ภายในหุ่นยนต์ (2) แอปพลิเคชันที่ใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ผ่านสมาร์ตโฟนไร้สาย ซึ่งเป็นแนวทางที่ได้รับความนิยมในการพัฒนาหุ่นยนต์เพื่อความสะดวกในการควบคุมและการเข้าถึงของผู้ใช้งาน (3) การทำงานของหุ่นยนต์มีการประยุกต์ใช้ร่วมกับอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) 2) ผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงาน ของหุ่นยนต์ โดยการประเมินรายฟังก์ชัน ได้แก่ การควบคุมการทำงาน การใช้งานไลฟ์สตรีม การตรวจจับสัตว์เลี้ยง พบว่ามีความถูกต้อง 98.75% ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ระบุว่า การใช้เทคโนโลยี AI และการประมวลผลภาพสามารถเพิ่มความแม่นยำในการตรวจจับวัตถุได้อย่างมีประสิทธิภาพและ 3) ผลการสอบถามความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างที่ทดลองใช้หุ่นยนต์ที่อยู่ในระดับมาก

คำสำคัญ: เพื่อนสัตว์เลี้ยงอัจฉริยะ การควบคุมระยะไกลแบบไร้สาย แอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT)

ABSTRACT

This research aimed to develop Imi Robot, an intelligent pet-companion robot equipped with wireless remote-controlled functionality. The sample group consisted of 10 undergraduate students from the Information Technology program at the College of Computing, Khon Kaen University. Participants were purposively selected and voluntarily agreed to use Imi Robot during the study. The research instruments included the Imi Robot prototype, performance tests for each of its functions, and a quantitative user satisfaction questionnaire. Data were analyzed using mean and standard deviation. The research findings

revealed the following: 1) The Imi Robot comprises three key components: (1) a central control unit responsible for managing and operating the robot's internal mechanisms; (2) a smartphone application that enables wireless control of the robot's movement, which is an approach commonly adopted to enhance control and accessibility; and (3) the robot's operations integrated with the Internet of Things (IoT), which enhances connectivity and system functionality. 2) The performance evaluation of the robot, based on its core functionalities including operational control, live streaming, and pet detection, showed a high accuracy rate of 98.75%. This result aligns with existing research, indicating that the artificial intelligence (AI) and image-processing technologies significantly enhance object-detection accuracy. 3) The user satisfaction survey indicated that participants reported a high level of satisfaction with both the functionality and usability of Imi Robot.

Keywords: Smart Pet Companion, Wireless Remote Control, Smartphone Application, Internet of Things (IoT)

บทนำ

ในปัจจุบันผู้คนหันมาเลี้ยงสัตว์เลี้ยงมากขึ้น (วศิกา, 2563) เนื่องจากสัตว์เลี้ยงมีหน้าตาน่ารัก นิสัยเป็นมิตร สามารถช่วยให้เจ้าของผ่อนคลายจากปัญหาต่าง ๆ รอบตัว อีกทั้งยังสร้างความสุขเมื่อได้อยู่ใกล้ สัตว์เลี้ยงยังเปรียบเสมือนเพื่อนคู่ใจที่ช่วยคลายเหงา เบียดว้าจิตใจ ทำให้เจ้าของรู้สึกสดชื่น คลายเครียดจากปัญหาชีวิต และบำบัดจิตใจให้ดีขึ้น (พนิดา, 2564) อย่างไรก็ตามการเลี้ยงสัตว์เลี้ยงต้องอาศัยความใส่ใจและเวลาเป็นอย่างมาก ซึ่งอาจเป็นปัญหาสำหรับผู้ต้องการเลี้ยงแต่ต้องทำงานหรือเรียนไปด้วย โดยเฉพาะคนที่มีกิจวัตรประจำวันที่แน่นหนา หากต้องคอยดูแลสัตว์เลี้ยงตลอด 24 ชั่วโมง อาจทำให้ไม่มีเวลาหรือมีเวลาส่วนตัวลดลง ซึ่งสัตว์เลี้ยงยังต้องการความรักและการดูแลใส่ใจเป็นพิเศษ ดังนั้นการหาอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่สามารถช่วยดูแลสัตว์เลี้ยงจึงเข้ามามีบทบาทมากขึ้น

ในอดีตกล้องวงจรปิด (CCTV) ได้ถูกนำมาใช้ในการรักษาความปลอดภัย การเฝ้าระวัง และป้องกันเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ (ศิริวิทย์ และชาญคณิตกฤตยา, 2562) รวมไปถึงการตรวจสอบพฤติกรรมของสัตว์เลี้ยง พบว่าอุปกรณ์เหล่านี้มีประโยชน์ในการเฝ้าระวังและช่วยให้เจ้าของสัตว์เลี้ยงสามารถตรวจสอบพฤติกรรมของสัตว์เลี้ยงได้ เมื่อเกิดสิ่งผิดปกติขึ้น อย่างไรก็ตาม กล้องวงจรปิดทั่วไปนั้น มักถูกออกแบบให้ติดตั้งในพื้นที่ ๆ มีการใช้งานเฉพาะ เช่น อาคาร บ้านเรือน ซึ่งอาจมีข้อจำกัดในการติดตามสัตว์เลี้ยงในบางจุด เช่น ใต้เตียง มุมห้อง หรือบริเวณที่กล้องไม่สามารถหมุนไปถึง ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการพัฒนาหุ่นยนต์ที่สามารถติดตามสัตว์เลี้ยงได้อย่างใกล้ชิดมากยิ่งขึ้น หรือที่เรียกว่า หุ่นยนต์สัตว์เลี้ยงอัจฉริยะ (Bestiebrand, 2566; Bennett et al., 2022)

งานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาและนำเสนอหุ่นยนต์สัตว์เลี้ยงอัจฉริยะหลากหลายรูปแบบ เช่น EBO X (RealTummie, 2566) ซึ่งพัฒนาโดย Enabot บริษัทเทคโนโลยีที่มุ่งเน้นการวิจัยและพัฒนาหุ่นยนต์สำหรับใช้ภายในบ้าน Enabot ก่อตั้งขึ้นในปี ค.ศ. 2018 ที่เมืองเซินเจิ้น ประเทศจีน โดยสร้างความโดดเด่นด้วยการออกที่กะทัดรัดและน่ารัก รูปทรงมนคล้ายลูกบอลหรือโดม สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ บางรุ่นมาพร้อมหน้าจอแสดงอารมณ์และโต้ตอบกับผู้ใช้ได้ โดยมีจุดเด่นสำคัญของหุ่นยนต์รุ่นนี้คือ การผสมผสานเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ Alexa AI เพื่อรองรับคำสั่งเสียงและการโต้ตอบอัจฉริยะ พร้อมด้วยกล้องมองเห็นกลางคืนความละเอียด 8MP 4K UHD และลำโพง Harman AudioEFX ซึ่งช่วยให้การสื่อสารและการใช้งานภายในบ้านเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้เป็นหุ่นยนต์ที่ล้ำสมัยแต่จะมีราคาค่อนข้างสูง

นอกจากนี้ BellaBot เป็นหุ่นยนต์บริการ (ฟอร์จูนเมคคาทรอนิกส์ซัพพลาย จำกัด, 2563) ที่พัฒนาโดยบริษัท Pudu Robotics ประเทศจีน ซึ่งได้รับความนิยมในอุตสาหกรรมการให้บริการ เช่น ร้านอาหาร โรงแรม และสถานพยาบาล ภายนอกมีลักษณะโค้งมนและไม่แหลมคม มีขนาดกะทัดรัดและสามารถเคลื่อนที่ได้สะดวกในทางเดินแคบ ๆ เมื่อมีลูกค้าเข้ามา

ในร้าน BellaBot จะเคลื่อนที่เข้าไปหา โดยแสดงใบหน้ายิ้มแย้มและส่งเสียงร้อง “เมี้ยว” โดยมีการทำงานโดยใช้ระบบ PUDU SLAM ซึ่งเป็นการผสมผสานเทคโนโลยี AI กับเซ็นเซอร์อัจฉริยะ เช่น LiDAR เซ็นเซอร์ 3D กล้อง RGB-D และ Ultrasonic Radar ที่ช่วยให้หุ่นยนต์สามารถนำทางได้อย่างแม่นยำและหลบหลีกสิ่งกีดขวางได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังมี AI Voice Interaction ที่ช่วยให้หุ่นยนต์สามารถโต้ตอบกับลูกค้าได้อย่างเป็นธรรมชาติ ผ่านการจดจำเสียงและการประมวลผลภาษาธรรมชาติ โดยมีจุดเด่นสำคัญคือ การโต้ตอบผ่านเสียงและการแสดงสีหน้าบนหน้าจอ ซึ่งช่วยเพิ่มประสบการณ์ที่น่าประทับใจให้กับลูกค้า (Huang, 2023) ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการประมวลผลภาษาธรรมชาติและ การรู้จำเสียงพูด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความเป็นส่วนตัวในการโต้ตอบของหุ่นยนต์บริการกับลูกค้า

เมื่อไม่นานมานี้ยังมี Petoneer Smart Pet Cam PC001 (Aquapro, 2568) ที่เป็นกล้องวงจรปิดสำหรับสัตว์เลี้ยง โดยออกแบบมาให้เจ้าของสามารถดูและสื่อสารกับสัตว์เลี้ยงจากระยะไกลผ่านแอปพลิเคชัน Petoneer โดยผลิตจากประเทศจีน ซึ่งมีกล้องทรงกลมที่มีขนาดกะทัดรัดและฐานรองที่มั่นคง โดยมีจุดเด่นของกล้องคือ ความสะดวกในการดูแลสัตว์เลี้ยงจากระยะไกล และมีฟังก์ชันหลากหลาย เช่น การบันทึกวิดีโอความละเอียด 1080p รองรับโหมด Night Vision สำหรับการมองเห็นในที่มืด ฟังก์ชัน 2-way audio ที่ช่วยให้เจ้าของสามารถพูดคุยกับสัตว์เลี้ยงผ่านไมโครโฟนและลำโพงของกล้อง และฟังก์ชัน Motion Detection ที่สามารถกำหนด Activity zone เพื่อการแจ้งเตือนหรือบันทึกภาพเมื่อมีการเคลื่อนไหวในพื้นที่ ๆ กำหนด นอกจากนี้ยังรองรับการใส่ micro SD card ขนาดสูงสุด 256GB และสามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่น ๆ ของ Petoneer เพื่อดูภาพจากกล้องในขณะที่มีการใช้งานอุปกรณ์อื่น ๆ ร่วมด้วยได้

นอกจากนี้ ในประเทศไทย ยังมีการวิจัยและพัฒนา หุ่นยนต์เพื่อการศึกษา โดยเฉพาะในด้านวิศวกรรมหุ่นยนต์ เช่น งานวิจัยของ (ธีรพงษ์ และสมคิด, 2564) ซึ่งได้พัฒนาชุดสาธิตเรื่องหุ่นยนต์แขนกลอุตสาหกรรมแบบ SCARA ที่สามารถเคลื่อนที่อิสระได้ 4 ทิศทาง เพื่อใช้ในการจัดการเรียนการสอนทางด้านวิศวกรรมหุ่นยนต์ โดยมีเป้าหมายเพื่อส่งเสริมความเข้าใจด้านกลไก การควบคุม และการเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์ ซึ่งเป็นรากฐานสำคัญของการพัฒนาหุ่นยนต์ในภาคส่วนต่าง ๆ รวมถึงการประยุกต์ในชีวิตประจำวัน เช่น หุ่นยนต์สัตว์เลี้ยงอัจฉริยะ ในปัจจุบันมีการพัฒนาหุ่นยนต์ AMR (Autonomous Mobile Robots) ที่ใช้เทคโนโลยีการนำทางด้วยเลเซอร์ ซึ่งมีลักษณะทรงกลมหรือสี่เหลี่ยมขนาดเล็ก ออกแบบมาให้สามารถเคลื่อนที่ได้สะดวกในพื้นที่แคบ ตัวหุ่นยนต์ใช้ล้อหรือมอเตอร์ในการเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่กำหนดตามแผนที่เสมือน (Virtual Map) สำหรับการทำงานอัตโนมัติ หรือสามารถควบคุมด้วยรีโมทคอนโทรลในระยะสายตา โดยมีจุดเด่นสำคัญของหุ่นยนต์คือ ฟังก์ชันการตรวจจับสิ่งกีดขวาง ซึ่งช่วยให้หุ่นยนต์สามารถหลบหลีกอุปสรรคได้อย่างปลอดภัย พร้อมความสามารถในการปรับเส้นทางได้ตามความต้องการ นอกจากนี้ยังสามารถปรับโครงสร้างด้านบนของหุ่นยนต์ให้เหมาะสมกับงานต่าง ๆ เช่น การติดตั้งสายพาน ตะกร้า หรือชั้นวาง เพื่อรองรับการขนส่งสินค้าได้อย่างสะดวกและมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังสามารถควบคุมหุ่นยนต์ได้ง่ายผ่านแอปพลิเคชันหรือปุ่มคลิกเรียก ผู้ใช้งานยังสามารถติดตามสถานะต่าง ๆ เช่น ระดับแบตเตอรี่และผลการทำงานผ่านแอปพลิเคชัน รวมถึงสามารถตั้งตารางเวลาทำงานล่วงหน้า และเชื่อมต่อกับระบบอื่น ๆ เช่น สายพานหรือประตูอัตโนมัติ ได้อีกด้วย

นอกจากนี้ ยังมีกล้องวงจรปิด Outdoor Wi-Fi Camera (THAI SECOM SECURITY, 2567) จากบริษัท THAI SECOM SECURITY CO., LTD. ถูกออกแบบให้มีลักษณะทนทานและเหมาะสำหรับการใช้งานภายนอกอาคาร ตัวกล้องมีการออกแบบที่กะทัดรัดและแข็งแรงเป็นกล้องวงจรปิดที่ถูกออกแบบมาเพื่อใช้งานภายนอกอาคาร โดยมาพร้อมฟังก์ชัน VIDEO ANALYTICS ซึ่งสามารถวิเคราะห์และแยกแยะเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเป็นบุคคล ยานพาหนะ หรือสัตว์ เพื่อการตรวจจับเหตุการณ์ที่มีความแม่นยำสูง กล้องนี้สามารถตั้งค่าการตรวจจับการบุกรุกได้ทั้งแบบขีดเส้น (Tripwire) หรือพื้นที่ (Zone) เพิ่มความแม่นยำในการตรวจจับ ฟังก์ชัน HDR ช่วยให้กล้องสามารถบันทึกภาพได้แม้ในสภาพแสงที่มีความแตกต่างระหว่างที่มืดและสว่าง (Dong et al., 2025) อีกทั้งยังรองรับการบันทึกภาพในความละเอียดสูงและแสดงภาพในมุมมองกว้าง รวมถึงการบันทึกในช่วงกลางคืน ระบบสามารถแจ้งเตือนผู้ใช้อินเทอร์เน็ต หรือข้อความทันทีเมื่อมีการตรวจพบการเคลื่อนไหวในพื้นที่ ๆ กำหนด เช่น การบุกรุกในพื้นที่ต้องห้าม หรือเมื่อมีบุคคลอยู่ใกล้เคียงพื้นที่สำคัญ ซึ่งช่วยให้ผู้ใช้สามารถจัดการกับเหตุการณ์ได้อย่างทันที

ทั้งนี้ยังมียานวิจัยที่ใกล้เคียงที่มีการนำเสนอและพัฒนาหุ่นยนต์สัตว์เลี้ยงอัจฉริยะ PANDO PET COMPANION CAMERA หรือที่เรียกว่า PECO ซึ่งเป็นกล้องวงจรปิดสำหรับสัตว์เลี้ยงที่มีลักษณะดังนี้คือ มีกล้องที่ด้านหน้า มีล้อทรงแมคคานัม 4 ล้อ โดยมีจุดเด่นด้านการสื่อสารแบบสองทาง การติดตามสัตว์เลี้ยงแบบตามเวลาจริง และฟังก์ชันแจกขนมผ่านแอปพลิเคชัน ซึ่งเหมาะสำหรับเจ้าของสัตว์เลี้ยงที่ต้องการเชื่อมต่อกับการดูแลสัตว์เลี้ยงเมื่ออยู่นอกบ้าน โดยมีจุดเด่นสำคัญคือ ความสะดวกสบายและการควบคุมผ่านอุปกรณ์พกพา ทำให้เจ้าของสะดวกในการใช้งานที่อยู่ในระยะไกลจากสัตว์เลี้ยงการปฏิสัมพันธ์กับหุ่นยนต์สัตว์เลี้ยงโดยใช้ AI ในการโต้ตอบกับเจ้าของ นอกจากนี้เจ้าของยังสามารถพูดคุยกับสัตว์เลี้ยงผ่านไมโครโฟนและลำโพงของ PECO ได้แบบตามเวลาจริง ผ่านแอปพลิเคชัน หุ่นยนต์ยังสามารถตอบสนองต่อเสียงของเจ้าของได้ เช่น เมื่อมีการเรียกชื่อสัตว์เลี้ยงหรือใช้คำสั่งเสียงเพื่อให้สัตว์เลี้ยงเข้ามาหา อีกทั้งมีระบบแจกขนม (PANDO PECO) เหมาะสำหรับเจ้าของที่ต้องการเล่นกับสัตว์เลี้ยงในระยะไกลอีกด้วย (Bestiebrand, 2566)

จากการวิเคราะห์งานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าหุ่นยนต์สัตว์เลี้ยงและกล้องวงจรปิดได้ถูกนำมาใช้ในการดูแลและเล่นกับสัตว์เลี้ยงในหลากหลายรูปแบบ อย่างไรก็ตามอุปสรรคเหล่านี้ยังมีข้อจำกัดสำคัญคือ ไม่สามารถจำแนกประเภทของสัตว์เลี้ยงได้อย่างชัดเจนระหว่างสุนัขและแมว ส่งผลให้ฟังก์ชันการเล่นของหุ่นยนต์อาจไม่เหมาะสมกับพฤติกรรมของสัตว์เลี้ยงในแต่ละประเภท นอกจากนี้ฟังก์ชันการเรียกหาสัตว์เลี้ยงผ่านเสียงจากอุปกรณ์ที่ช่วยให้สัตว์เลี้ยงได้ยินเสียงเจ้าของ แต่ก็ยังไม่สามารถระบุตำแหน่งของเจ้าของได้อย่างแม่นยำ ทำให้การโต้ตอบระหว่างสัตว์เลี้ยงและอุปกรณ์ไม่สมบูรณ์ในบางสถานการณ์ เช่น เมื่อมีเสียงดังออกจากหุ่นยนต์ แต่สัตว์เลี้ยงก็ไม่สามารถมองเห็นเจ้าของได้และไม่ทราบแหล่งที่มาของเสียง

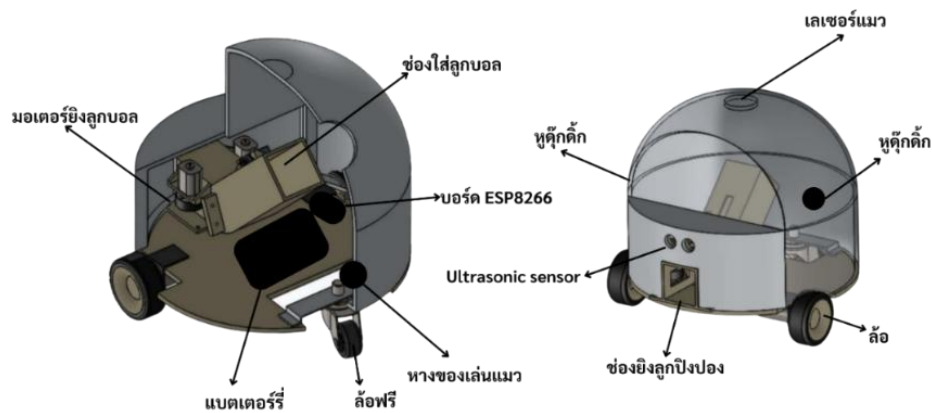
จากประเด็นปัญหาข้างต้น ผู้วิจัยจึงได้พัฒนา ไอเอ็ม โรบอท: เพื่อนสัตว์เลี้ยงอัจฉริยะ หุ่นยนต์เพื่อนสัตว์เลี้ยงที่เหมาะสมกับพฤติกรรมการเล่นของสัตว์เลี้ยง มีฟังก์ชันการเล่นที่สนับสนุนต่อพฤติกรรมการเล่นของสัตว์เลี้ยงที่แยกตามประเภทของสัตว์เลี้ยง เช่น สุนัขและแมว โดยมีฟังก์ชันหลักของสุนัขคือ 1) การยิงลูกปิงปอง และ 2) หูตักตัก ในขณะที่แมวจะมีฟังก์ชันการเล่นคือ 1) เลเซอร์แมว และ 2) ทางสายไปมา ซึ่งฟังก์ชันการเล่นดังกล่าวได้อ้างอิงมาจากของเล่นปกติที่แมวและสุนัขชอบเล่นมาประกอบเข้าในหุ่นยนต์ และได้มีการเพิ่มจอเพื่อให้สัตว์เลี้ยงสามารถมองเห็นผู้ใช้งานจากอีกฝั่งจากระยะไกลได้ และควบคุมง่ายผ่านเครือข่ายไร้สายและแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ ด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (กิตติศักดิ์ และมัทมณฑานต์, 2567) โดยสรุปมีวัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้คือ เพื่อพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับควบคุมหุ่นยนต์เพื่อนสัตว์เลี้ยง และเพื่อออกแบบและสร้างหุ่นยนต์โดยสั่งการผ่านแอปพลิเคชัน ที่สามารถติดตามพฤติกรรมสัตว์เลี้ยงแบบตามเวลาจริง โดยทำงานได้ทั้งในโหมดควบคุมด้วยมือ (Manual) ที่ผู้ใช้งานสามารถควบคุมการเคลื่อนที่และการเล่นของหุ่นยนต์ได้ด้วยตัวเอง และโหมดอัตโนมัติ (Automatic) ที่หุ่นยนต์สัตว์เลี้ยงสามารถทำงานเล่นได้ตามเวลาที่ผู้ใช้ตั้งค่าไว้ได้

วิธีการวิจัย

1. การออกแบบ Hardware และ Software

1.1 การออกแบบ Hardware ของไอเอ็ม โรบอท: เพื่อนสัตว์เลี้ยงอัจฉริยะ

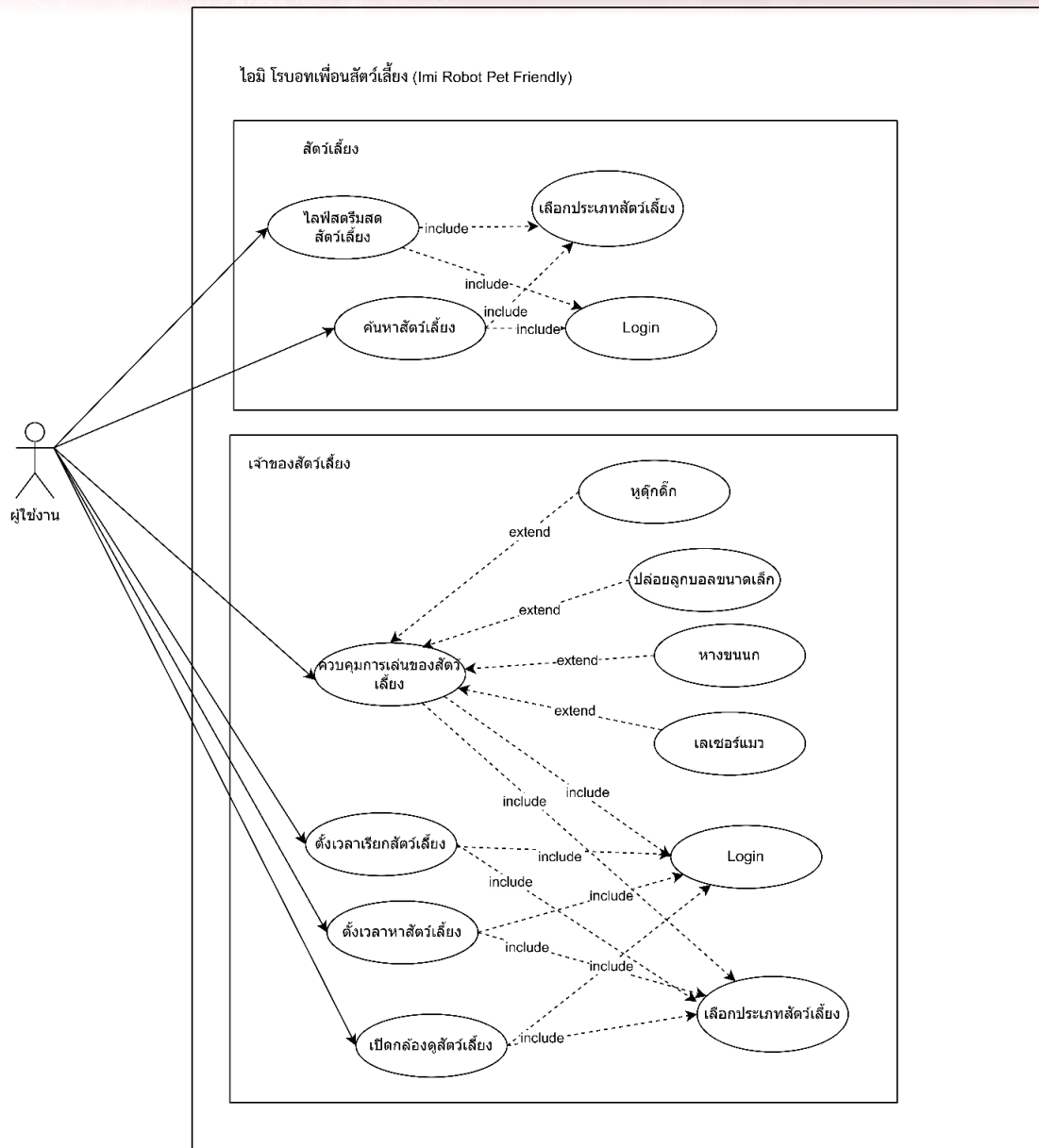
ไอเอ็ม โรบอท ถูกออกแบบมาด้วยขนาดความสูง 272.5 มิลลิเมตร และความกว้าง 280 มิลลิเมตร ตัวหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ด้วยล้อจำนวน 3 ล้อ โดยจะมีแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ ซึ่งแบตเตอรี่เหล่านี้เป็นแหล่งจ่ายไฟหลักให้กับบอร์ดควบคุมมอเตอร์ โดยทำงานที่แรงดัน 12 โวลต์ ในการควบคุมล้อในการขับเคลื่อนของหุ่นยนต์ ผู้ใช้งานสามารถใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ควบคุมทิศทางหุ่นยนต์ในโหมด Manual ผ่านเครือข่ายไร้สาย ด้วยเทคโนโลยีสั่งการผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่ส่งผ่านข้อมูลไปยัง Firebase Realtime Database โดยจะใช้บอร์ด ESP8266 เพื่อรับคำสั่งจากโทรศัพท์เคลื่อนที่ เพื่อควบคุมมอเตอร์และบังคับทิศทางของหุ่นยนต์ได้ตามต้องการ นอกจากนั้นในโหมดนี้ยังสามารถบังคับการเล่น ฟังก์ชันของสัตว์เลี้ยงได้อีกด้วย เช่น การยิงเลเซอร์และการยิงลูกปิงปอง และในส่วนของโหมด Automatic บอร์ดจะทำการรับคำสั่งจากไฟล์เบส เพื่อประมวลผลเวลาตามที่ผู้ใช้งานตั้งค่าไว้ และสามารถเคลื่อนที่ร่วมกับการทำงานของ Ultrasonic sensor ซึ่งจะทำหน้าที่หลบหลีกสิ่งกีดขวางเมื่อถึงระยะที่กำหนด (Akter et al., 2022) แสดงได้ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การจำลองโครงสร้าง ไซมูเลชัน หุ่นยนต์: เพื่อนสัตว์เลี้ยงอัจฉริยะ

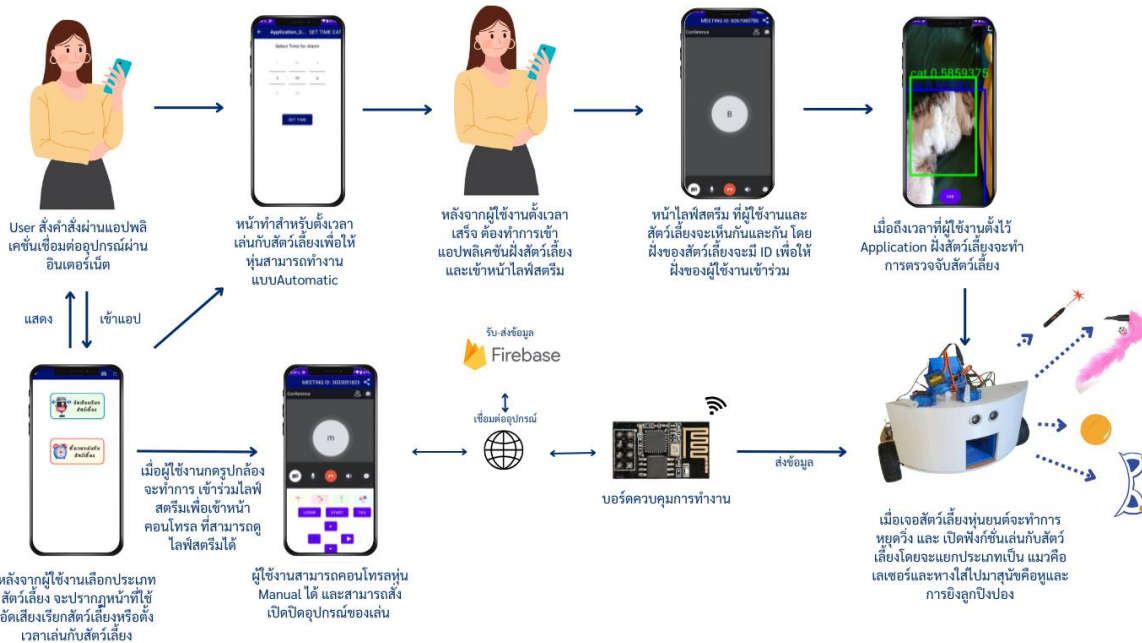
1.2 การออกแบบ Software ของไซมูเลชัน หุ่นยนต์: เพื่อนสัตว์เลี้ยงอัจฉริยะ

สำหรับในส่วนของ Software ภาพที่ 2 แสดงถึง Use case การใช้งานแอปพลิเคชัน โดยแบ่งผู้ใช้งานออกเป็น 2 กลุ่มหลัก คือ เจ้าของสัตว์เลี้ยงและผู้ใช้งานฝั่งสัตว์เลี้ยง โดยมีการใช้งาน 2 ส่วนได้แก่ แอปพลิเคชันฝั่งสัตว์เลี้ยงที่ช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถไลฟ์สตรีมสดเพื่อดูสัตว์เลี้ยงได้ตามเวลาที่ตั้งค่าไว้ในฝั่งเจ้าของสัตว์เลี้ยง ซึ่งเมื่อถึงเวลาที่กำหนด ผู้ใช้งานสัตว์เลี้ยงจะเล่นเสียงเรียกหาสัตว์เลี้ยงและทำการค้นหาสัตว์เลี้ยง หากเมื่อพบสัตว์เลี้ยง หุ่นยนต์จะทำการเล่นฟังก์ชันของเล่นที่เหมาะสมกับประเภทของสัตว์เลี้ยง เช่น หากเลือกเป็นสุนัข จะทำงานส่วนหูดักและการปล่อย (หรือยิง) ลูกปิงปอง หรือหากเลือกเป็นแมว จะทำงานส่วนเลเซอร์และทางชนก สำหรับในส่วนแอปพลิเคชันฝั่งผู้ใช้งานเจ้าของสัตว์เลี้ยง จะทำหน้าที่เพื่อช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถตั้งเวลาเพื่อค้นหาสัตว์เลี้ยง และเรียกหาสัตว์เลี้ยงตามเวลาที่กำหนด รวมถึงสามารถเปิดดูสัตว์เลี้ยงได้จากกระยะไกล อีกทั้งยังสามารถควบคุมการเล่นและทิศทางการเดินของหุ่นยนต์ได้แบบควบคุมด้วยมืออีกด้วย ทั้งนี้การใช้งานทั้งสองจะช่วยให้เจ้าของสัตว์เลี้ยงสามารถดูแลและเล่นกับสัตว์เลี้ยงได้อย่างสะดวกสบายแม้จะอยู่ห่างไกลกันก็ตาม



ภาพที่ 2 แผนภาพกรณีการใช้งานผ่านแอปพลิเคชัน

2. ภาพรวมของระบบ



ภาพที่ 3 ภาพรวมของระบบ

ภาพที่ 3 แสดงถึงการใช้งาน โอมิโรบอท: เพื่อนสัตว์เลี้ยง โดยแบ่งผู้ใช้งานเป็น 2 กลุ่มหลักคือ เจ้าของสัตว์เลี้ยงและฟังก์ชันสัตว์เลี้ยง โดยผู้ใช้งานฟังก์ชันสัตว์เลี้ยงสามารถใช้งานแอปพลิเคชันเพื่อทำการถ่ายทอดสด (Live Streaming) ซึ่งช่วยให้เจ้าของสามารถเฝ้าดูสัตว์เลี้ยงของตนเองได้แบบตามเวลาจริง นอกจากนี้เมื่อถึงเวลาที่กำหนดไว้ล่วงหน้า แอปพลิเคชันฟังก์ชันสัตว์เลี้ยงจะทำการค้นหาสัตว์เลี้ยงโดยอัตโนมัติ และเมื่อตรวจพบสัตว์เลี้ยงได้สำเร็จจะส่งค่าประเภทของสัตว์เลี้ยง (เช่น "Cat" หรือ "Dog") ไปยัง Firebase Realtime Database (Li et al., 2018) ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการรับส่งข้อมูล เมื่อข้อมูลประเภทสัตว์เลี้ยงถูกส่งไปยังบอร์ด ESP8266 ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในการประมวลผล ระบบจะส่งการไปยังหุ่นยนต์ให้ทำงานตามฟังก์ชันที่กำหนดไว้ โดยฟังก์ชันของหุ่นยนต์จะมีการปรับให้เหมาะสมกับลักษณะของสัตว์เลี้ยงแต่ละประเภท เช่น ในกรณีสุนัข หุ่นยนต์จะทำงานในโหมดที่เหมาะสมกับสุนัข เช่น สามารถขยับส่วนหัวให้ดูคึกคักและปล่อยลูกปืนขนาดเล็ก หรือในกรณีแมว หุ่นยนต์จะทำงานในโหมดที่เหมาะสมกับแมว เช่น ปล่อยแสงเลเซอร์และขยับหางขนนก ทั้งนี้การเล่นของหุ่นยนต์จะดำเนินการเป็นระยะเวลาทั้งสิ้น 3 นาที เพื่อเป้าหมายในการประหยัดพลังงาน หลังจากนั้นหุ่นยนต์จะหยุดทำงานในระบบ Automatic นอกจากนี้ในส่วนฟังก์ชันแจ้งเตือนเล่นกับสัตว์เลี้ยง โดยเสียงจะถูกเล่นเมื่อถึงเวลาที่ผู้ใช้งานฟังก์ชันสัตว์เลี้ยงกำหนดไว้ ดังออกมาผ่านแอปพลิเคชันฟังก์ชันสัตว์เลี้ยงอีกด้วย

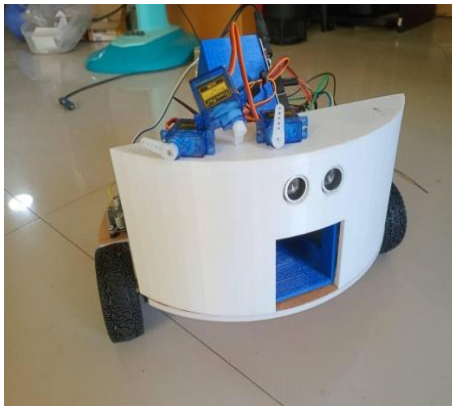
3. การพัฒนาหุ่นยนต์และแอปพลิเคชันควบคุม

3.1 การพัฒนาหุ่นยนต์ โอมิ โรบอท: เพื่อนสัตว์เลี้ยงอัจฉริยะ

หุ่นยนต์ โอมิ โรบอท ได้รับการพัฒนาให้มีโครงสร้างแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักคือ ส่วนภายนอกตัวหุ่นยนต์และส่วนภายในตัวหุ่นยนต์ โดยแต่ละส่วนได้รับการออกแบบให้ทำงานร่วมประสานกันเพื่อให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งาน โดยที่ในส่วนโครงสร้างภายนอก ได้รับการออกแบบด้วยโปรแกรม SolidWorks (อภิชาติ, 2567) ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการออกแบบชิ้นส่วนและโครงสร้าง 3 มิติ จากนั้นนำแบบไปผลิตด้วยเทคโนโลยี การพิมพ์สามมิติ (3D Printing) เพื่อให้ได้ชิ้นส่วนที่มีน้ำหนักเบา ความแม่นยำสูง และสามารถปรับแต่งได้ตามต้องการ ในส่วนของโครงสร้างภายในได้ติดตั้งระบบ

ขับเคลื่อนซึ่งประกอบด้วยล้อทั้งหมด 3 ล้อ โดยมีลักษณะการทำงานสำคัญดังนี้คือ ล้อขับเคลื่อนหลัก จำนวน 2 ล้อ ที่ติดตั้งมอเตอร์เพื่อใช้ควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ และ ล้ออิสระจำนวน 1 ล้อ ทำหน้าที่ช่วยหุ่นยนต์ให้สามารถหมุนและเปลี่ยนทิศทางได้อย่างคล่องตัว เช่น เซอร์อัลตราโซนิก (Ultrasonic Sensor) ติดตั้งบริเวณด้านหน้าของหุ่นยนต์ ดังภาพที่ 4(ก) ทำหน้าที่ตรวจจับสิ่งกีดขวางและสามารถทำงานในโหมด Automatic โดยเมื่อหุ่นยนต์เคลื่อนที่เข้าใกล้สิ่งกีดขวาง ระบบจะสั่งให้หุ่นยนต์หยุดชั่วขณะ และทำการหักเลี้ยวไปทางขวาเพื่อหลบหลีกสิ่งกีดขวางโดยอัตโนมัติ นอกจากนี้หุ่นยนต์ยังมีฟังก์ชันการเล่นของสัตว์เลี้ยงโดยจะแยกเป็น 2 ประเภท คือ หากเป็นแมว จะมีหางของหุ่นยนต์ที่สามารถแกว่งไปมาได้ ดังภาพที่ 4(ข) ซึ่งมีการควบคุมการเคลื่อนไหวผ่าน เซอร์โวมอเตอร์ และเลเซอร์ ซึ่งจะมีการยิงแสงลงบนพื้นเพื่อสร้างจุดสีแดง และในกรณีที่หุ่นยนต์โดยจะมีการยิงลูกปิงปองที่ใช้มอเตอร์ขับเคลื่อนล้อจำนวน 2 ล้อ เพื่อส่งแรงยิงลูกปิงปองออกจากตัวหุ่นยนต์ แสดงได้ดังภาพที่ 5 นอกจากนี้หูของหุ่นยนต์ติดตั้งกระดิ่งและเซอร์โวมอเตอร์ (MG90S Servo) สามารถหมุนได้ 90 องศา เพื่อสร้างเสียงกระดิ่ง เพื่อเพิ่มการดึงดูดความสนใจ

ส่วนของระบบภายในตัวหุ่นยนต์ ประกอบด้วยวงจรควบคุมและกลไกต่าง ๆ ซึ่งพัฒนาขึ้นโดยใช้ Arduino IDE (ณัฐพล และคณะ, 2563) เป็นเครื่องมือหลักในการเขียนโปรแกรม และใช้ ภาษา C/C++ สำหรับ Arduino โดยมีองค์ประกอบสำคัญ ดังนี้: บอร์ดควบคุม Arduino Mega 2560 ทำหน้าที่รับและประมวลผลข้อมูล รวมถึงสั่งการไปยังอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในหุ่นยนต์ บอร์ด ESP8266 ทำหน้าที่เชื่อมต่อและรับส่งข้อมูลจาก Firebase Realtime Database ซึ่งเป็นตัวกลางในการสื่อสารข้อมูลระหว่างหุ่นยนต์และแอปพลิเคชัน แบตเตอรี่ขนาด 12V/1.5Ah ที่ใช้เป็นแหล่งพลังงานหลักสำหรับการทำงานของหุ่นยนต์ โดยสามารถใช้งานต่อเนื่องได้ประมาณ 60-90 นาที ต่อการชาร์จเต็มหนึ่งครั้ง (ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานและจำนวนการเชื่อมต่อพร้อมกัน) โดยระบบได้รับการออกแบบให้ใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ด้วยการแบ่งการทำงานเป็นโหมด Active และ Standby เมื่อไม่มีการเคลื่อนไหวหรือการโต้ตอบ ระบบจะเข้าสู่โหมดประหยัดพลังงานโดยอัตโนมัติ โดยสามารถชาร์จแบตเตอรี่ใหม่ได้ภายในเวลา 2-3 ชั่วโมง ในการขับเคลื่อนอุปกรณ์ภายในหุ่นยนต์ DC Motor 3-6 Volts ใช้เป็นมอเตอร์ขับเคลื่อนล้อ จำนวน 2 ล้อ เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

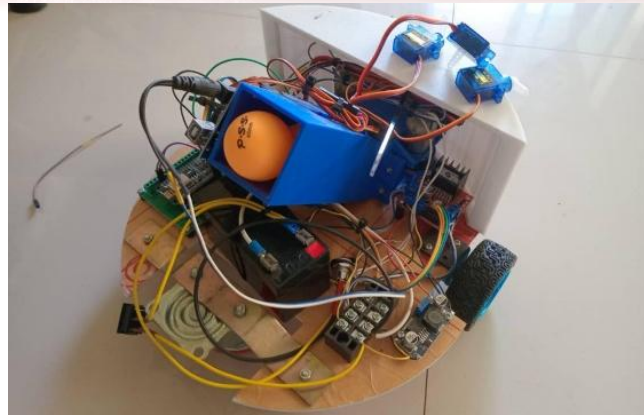


(ก) ด้านหน้า : Ultrasonic Sensor และเซอร์โวมอเตอร์



(ข) ด้านหลัง : สวิตช์เปิด-ปิด และ หาง

ภาพที่ 4 โครงสร้างภายนอกของอิมิโรบอท: (ก) ด้านหน้า และ (ข) ด้านหลัง

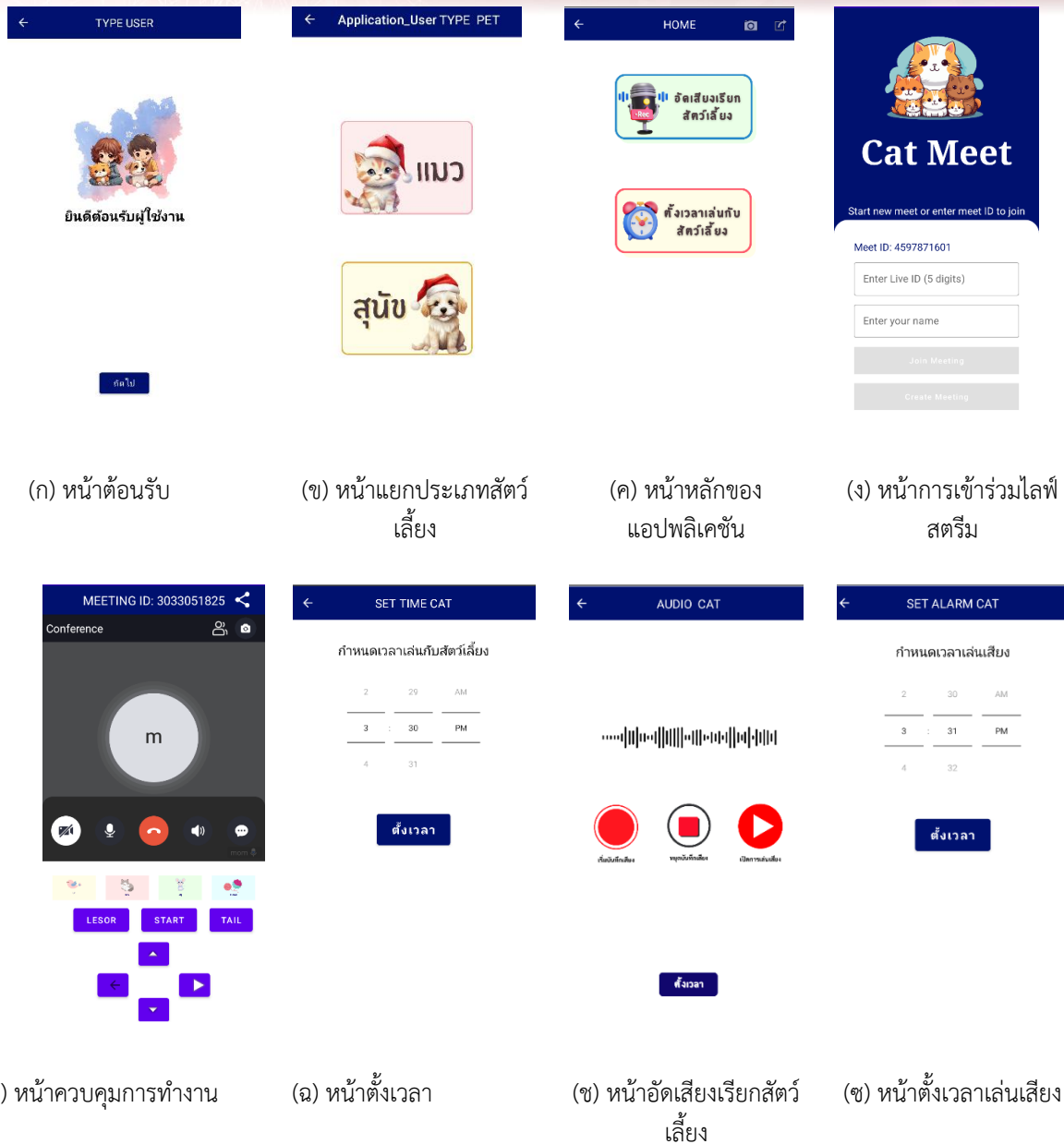


ภาพที่ 5 โครงสร้างภายในของอิมิโรบอทและระบบยิงลูกปิงปอง

3.2 การพัฒนาแอปพลิเคชัน

3.2.1 แอปพลิเคชันฝั่งผู้ใช้งาน

แอปพลิเคชันฝั่งผู้ใช้งาน ได้รับการออกแบบและพัฒนาเพื่อให้เจ้าของสัตว์เลี้ยงสามารถควบคุมหุ่นยนต์และโต้ตอบกับสัตว์เลี้ยงได้อย่างสะดวกและมีประสิทธิภาพ โดยแอปพลิเคชันนี้ถูกพัฒนาด้วย ภาษา Kotlin บนระบบปฏิบัติการ Android (นฤพนธ์ และคณะ, 2567) และใช้ Android Studio เป็นเครื่องมือหลักในการพัฒนา พร้อมทั้งใช้ Firebase Realtime Database เป็นแพลตฟอร์มสำหรับจัดเก็บข้อมูลแบบเรียลไทม์และเชื่อมต่อระหว่างฝั่งผู้ใช้งานกับฝั่งของหุ่นยนต์ เมื่อผู้ใช้งาน (ฝั่งเจ้าของสัตว์เลี้ยง) เข้าสู่แอปพลิเคชันจะปรากฏหน้าแรก แสดงดังภาพที่ 6(ก) โดยจะแสดงข้อความสวัสดิ์ผู้ใช้งาน เมื่อผู้ใช้งานคลิกปุ่มถัดไป จะนำไปยังหน้าสำหรับเลือกประเภทของสัตว์เลี้ยง แสดงดังภาพที่ 6(ข) ซึ่งผู้ใช้งานสามารถเลือกได้ระหว่าง สุนัขหรือแมว เมื่อทำการเลือกประเภทสัตว์เลี้ยงเสร็จสิ้น จะนำไปสู่หน้าเมนูหลัก แสดงดังภาพที่ 6(ค) ซึ่งมีฟังก์ชันหลัก 3 ส่วน ที่สามารถใช้งานได้เหมือนกันทั้ง 2 ประเภทของสัตว์เลี้ยง โดยมีปุ่มที่ 1 ผู้ใช้งานสามารถเข้าสู่หน้าการถ่ายทอดสด ได้โดยการคลิกที่ปุ่มรูปกล้อง ซึ่งจะนำไปยังหน้าการเข้าร่วมไลฟ์สตรีม แสดงดังภาพที่ 6(ง) เมื่อคลิกเข้าร่วมสำเร็จ จะทำการเชื่อมต่อกับกล้องของฝั่งสัตว์เลี้ยง และจะแสดงภาพถ่ายทอดสดของสัตว์เลี้ยงแบบตามเวลาจริงในหน้าการไลฟ์สตรีมนี้



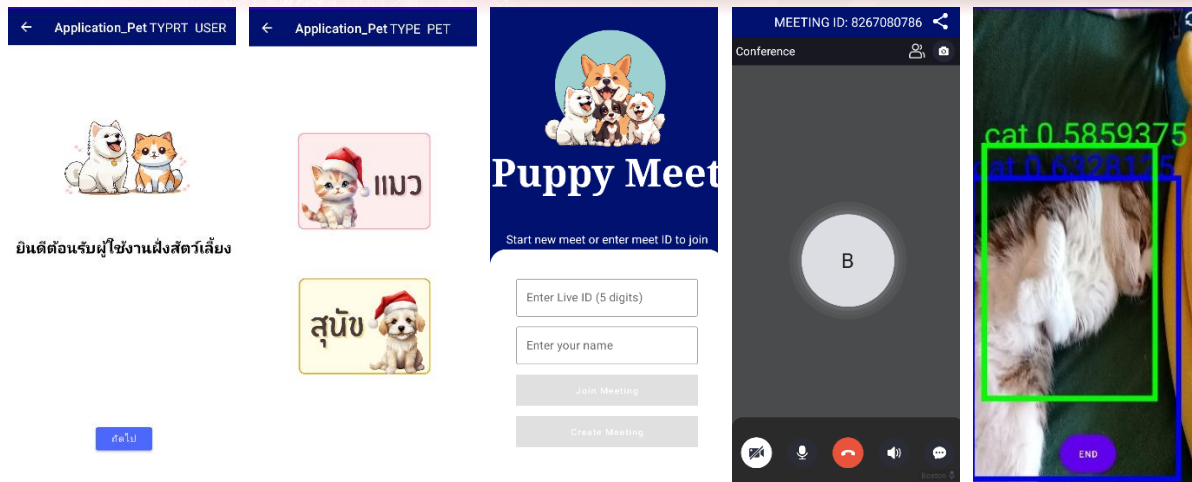
ภาพที่ 6 หน้าจอของแอปพลิเคชันฝั่งผู้ใช้งาน (ก) หน้าต้อนรับ (ข) หน้าแยกประเภทสัตว์เลี้ยง (ค) หน้าหลักของแอปพลิเคชัน (ง) หน้าการเข้าร่วมไลฟ์สตรีม (จ) หน้าควบคุมการทำงาน (ฉ) หน้าตั้งเวลา (ช) หน้าอัดเสียงเรียกสัตว์เลี้ยง และ (ซ) หน้าตั้งเวลาเล่นเสียง

นอกจากนี้ผู้ใช้งานยังสามารถควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ผ่านปุ่มควบคุม ซึ่งอยู่บริเวณด้านล่างของหน้าจอ ซึ่งหน้าจอนี้จะมีหน้าที่แตกต่างกันอยู่คือ หากเลือกเป็นประเภทแมว จะมีปุ่มควบคุม ที่ชื่อว่า LASER (เลเซอร์) และ TAIL (หาง) แต่หากเลือกเป็นประเภทสุนัข จะมีปุ่มควบคุม คือ BOLL (บอล/ปิงปอง) และ EAR (หู) แสดงได้ดังภาพที่ 6(จ) ปุ่มที่ 2 จากหน้าเมนูหลักจะเป็นปุ่มตั้งค่าเวลาเล่นกับสัตว์เลี้ยง เมื่อผู้ใช้งานตั้งเวลาสำเร็จเวลาจะถูกบันทึกลงใน Firebase Realtime Database เพื่อตรวจหาสัตว์เลี้ยง แสดงได้ดังภาพที่ 6(ฉ) ปุ่มที่ 3 อัดเสียงเรียกสัตว์เลี้ยงซึ่งหน้าจอนี้จะมี 3 ปุ่มด้วยกันคือ

1) ปุ่มเริ่มบันทึกเสียง ใช้สำหรับเริ่มต้นการบันทึกเสียงของผู้ใช้งาน 2) ปุ่มหยุดบันทึกเสียง เมื่อคลิกปุ่มหยุดบันทึกเสียง เสียงของผู้ใช้งานจะถูกบันทึกลงใน Firebase Realtime Database 3) ปุ่มเปิดการเล่นเสียง ใช้สำหรับตรวจสอบเสียงที่ผู้ใช้งานได้บันทึกไว้ก่อนหน้านี้ แสดงได้ดังภาพที่ 6(ข) เมื่ออัดเสียงเสร็จจะมีปุ่มด้านล่างคือ ปุ่มตั้งเวลา ใช้เพื่อเล่นเรียกสัตร์เสียงเมื่อถึงเวลาเสียงที่ผู้ใช้งานได้บันทึกจะออกจากแอปพลิเคชันฝั่งของสัตร์เสียง เมื่อคลิกเข้าไปจะ แสดงได้ดังภาพที่ 6(ข)

3.2.2 แอปพลิเคชันฝั่งสัตร์เสียง

แอปพลิเคชันฝั่งสัตร์เสียง ได้รับการออกแบบและพัฒนาเพื่อให้เจ้าของสัตร์เสียงสามารถควบคุมหุ่นยนต์และโต้ตอบกับสัตร์เสียงได้อย่างสะดวกและมีประสิทธิภาพ โดยแอปพลิเคชันนี้ถูกพัฒนาด้วย ภาษา Kotlin บนระบบปฏิบัติการ Android (นฤพนธ์ และคณะ, 2567) และใช้ Android Studio เป็นเครื่องมือหลักในการพัฒนา พร้อมทั้งใช้ Firebase Realtime Database เป็นแพลตฟอร์มสำหรับจัดเก็บข้อมูลแบบเรียลไทม์และเชื่อมต่อระหว่างฝั่งผู้ใช้งานกับฝั่งของหุ่นยนต์ เมื่อผู้ใช้งาน (ฝั่งสัตร์เสียง) เข้าสู่แอปพลิเคชัน จะปรากฏหน้าแรก แสดงได้ดังภาพที่ 7(ก) โดยจะแสดงข้อความสวัสดีผู้ใช้งาน เมื่อคลิกถัดไปจะปรากฏหน้าประเภทสัตร์เสียง ซึ่งผู้ใช้งานสามารถเลือกได้ระหว่าง สุนัขหรือแมว แสดงได้ดังภาพที่ 7(ข) และเมื่อทำการเลือกประเภทสัตร์เสียงเสร็จสิ้น จะปรากฏหน้าสร้างไลฟ์สตรีม แสดงได้ดังภาพที่ 7(ค) ในหน้าสร้างไลฟ์สตรีมนี้ ผู้ใช้งานสามารถคลิกปุ่มสร้าง เพื่อเริ่มต้นการถ่ายทอดสดจากฝั่งสัตร์เสียง และเมื่อการเชื่อมต่อสำเร็จจะแสดงผลหน้าจอไลฟ์สตรีม ซึ่งสามารถใช้งานได้เหมือนกันทั้งสองประเภทของสัตร์เสียง แสดงได้ดังภาพที่ 7(ง) โดยภาพจากกล้องฝั่งสัตร์เสียงจะถูกถ่ายทอดไปยังแอปพลิเคชันฝั่งเจ้าของสัตร์เสียงแบบตามเวลาจริง และเมื่อถึงเวลาที่กำหนดไว้โดยผู้ใช้งานฝั่งเจ้าของสัตร์เสียงสามารถค้นหาสัตร์เสียง ระบบจะทำการตรวจจับสัตร์เสียงโดยอัตโนมัติเมื่อถึงเวลาที่กำหนดไว้ล่วงหน้า โดยใช้โมเดลการเรียนรู้ของเครื่องที่พัฒนาบนแพลตฟอร์ม TensorFlow ซึ่งเป็นไลบรารีโอเพ่นซอร์สสำหรับการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) โดยโมเดลนี้ได้รับการฝึกฝนด้วยชุดข้อมูลภาพของสุนัขและแมวจำนวนหลายพันภาพ ซึ่งแบ่งเป็น 2 หมวดหลัก ได้แก่ “สุนัข” และ “แมว” โดยใช้เทคนิคการเรียนรู้แบบจำแนกภาพ (Image Classification) ร่วมกับการตรวจจับวัตถุ (Object Detection) การฝึกสอนโมเดลดำเนินการโดยใช้โมเดลต้นแบบ (Pre-Trained Model) เช่น MobileNetV2 SSD บน TensorFlow Lite เพื่อลดขนาดโมเดลและเพิ่มประสิทธิภาพการประมวลผลบนอุปกรณ์พกพา หลังจากการฝึกแล้ว โมเดลสามารถตรวจจับสัตร์เสียงได้ด้วยความแม่นยำเฉลี่ยประมาณ 92% และทำงานได้แบบเรียลไทม์ โดยเมื่อมีการตรวจจับสำเร็จ จะมีการแสดงกรอบสี่เหลี่ยมสีเขียวสำหรับสุนัข และสีน้ำเงินสำหรับแมว เพื่อแสดงผลการจำแนกประเภท จากนั้นหุ่นยนต์จะหยุดเคลื่อนที่และเริ่มต้นฟังก์ชันการเล่นแบบอัตโนมัติตามประเภทของสัตร์เสียงที่ตรวจพบ ดังแสดงในภาพที่ 7(จ) และเมื่อเล่นจนครบเวลาที่จะวนกลับมาแสดงหน้าไลฟ์สตรีม จนกว่าผู้ใช้งานจะคลิกปิดไลฟ์สตรีม ตามลำดับ



(ก) หน้าต้อนรับ (ข) หน้าแยกประเภท สัตว์เลี้ยง (ค) หน้าเข้าร่วมไลฟ์ สตรีม (ง) หน้าไลฟ์สตรีม (จ) หน้าตรวจจับสัตว์ เลี้ยง

ภาพที่ 7 หน้าจอของแอปพลิเคชันฝังสัตว์เลี้ยง (ก) หน้าต้อนรับ (ข) หน้าแยกประเภทสัตว์เลี้ยง (ค) หน้าสร้างไลฟ์สตรีม (ง) หน้าไลฟ์สตรีม และ (จ) หน้าตรวจจับสัตว์เลี้ยง

4. สถิติที่ใช้ในการวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้สถิติที่สำคัญได้แก่ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยนำผลที่ได้เทียบกับเกณฑ์การประเมิน (ลัดดา, 2562) 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. ผลการวิจัย

1) ผลลัพธ์ในการพัฒนาหุ่นยนต์ โอมิ โรโบท ประกอบด้วย 3 องค์ประกอบหลักคือ (1) ตัวหุ่นยนต์ ทำหน้าที่ควบคุม และสั่งการอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้สามารถทำงานร่วมกันได้ (2) แอปพลิเคชันที่ติดตั้งกับตัวหุ่นยนต์เพื่อใช้งานในฝังสัตว์เลี้ยง โดยมีการทำงานหลักคือ การควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ การตั้งค่าเวลาสำหรับการทำงานในโหมดอัตโนมัติและการใช้งานไลฟ์สตรีม และ (3) แอปพลิเคชันให้บริการผู้ใช้งานฝังสัตว์เลี้ยงที่จะติดกับตัวหุ่นยนต์ เพื่อใช้ในการไลฟ์สตรีมกับผู้ใช้งาน และตรวจจับสัตว์เลี้ยงตามเวลาที่ผู้ใช้งานได้ตั้งค่าไว้เพื่อให้ทำงานแบบอัตโนมัติ โดยเฉพาะเมื่อตรวจจับเจอสุนัขหรือแมว ฟังก์ชันการเล่นกับสัตว์เลี้ยงของหุ่นยนต์จะทำงานทันที โดยมีจุดเด่นสำคัญคือผู้ใช้งานสามารถวิดีโอสัตว์เลี้ยงได้ตลอด 24 ชั่วโมง ตามเวลาจริง

2) ผลลัพธ์ในการทดสอบประสิทธิภาพของหุ่นยนต์ โอมิ โรโบท โดยประเมินจากความถูกต้องของการใช้งาน โดยพิจารณา 4 ฟังก์ชันหลัก คือ (1) การควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ (2) การควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ (3) การใช้งานไลฟ์สตรีม และ (4) การตรวจหาสัตว์เลื้อย แสดงได้ดังตารางที่ 1 โดยจากการทดสอบฟังก์ชันการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ โดยที่จะเป็นการควบคุมฟังก์ชันการเล่นที่จะแยกประเภทตามสัตว์เลื้อย โดยดำเนินการใช้แอปพลิเคชันในการควบคุมการทำงานเป็นจำนวน 10 ครั้ง แล้วจากนั้นจึงบันทึกข้อมูลการควบคุมจากผู้ใช้งาน พบว่ามีความถูกต้อง 98% เนื่องจากเมื่อผู้ใช้งานสั่งการผ่านแอปพลิเคชัน บอร์ดประมวลผลต้องรอรับค่าที่ส่งมาจาก Firebase Realtime Database ส่งผลให้การตอบสนองของหุ่นยนต์ที่อาจจะก่อให้เกิดความล่าช้า

นอกจากนี้ยังมีส่วนของฟังก์ชันควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์และการใช้งานไลฟ์สตรีม ที่สามารถเปิดกล้องเปิดไมโครโฟน เปิดลำโพง และยังสามารถพิมพ์ข้อความได้อีกด้วย โดยมีการทดสอบจากผู้ใช้งานทั้ง 2 ฝ่าย ได้แก่ ฝ่ายผู้ใช้งาน (ควบคุมทางไกล) และฝ่ายที่อยู่กับหุ่นยนต์ โดยดำเนินการใช้แอปพลิเคชันในการไลฟ์สตรีม เป็นจำนวน 10 ครั้ง จากนั้นได้ทำการบันทึกข้อมูลการใช้งานไลฟ์สตรีมของผู้ใช้งาน พบว่ามีความถูกต้อง 100% สำหรับในส่วนที่ 3 การประเมินฟังก์ชันการตรวจจับสัตว์เลื้อย ซึ่งทดสอบโดยการที่หุ่นยนต์จะทำการเดินอัตโนมัติเพื่อตรวจหาสัตว์เลื้อย เมื่อตรวจเจอสัตว์เลื้อยหุ่นยนต์จะหยุดเดินในทันที โดยจากผลการทดสอบจำนวน 10 ครั้ง แล้วจึงบันทึกข้อมูลการตรวจจับสัตว์เลื้อยจากผู้ใช้งาน พบว่ามีความถูกต้อง 97% เนื่องจากหน้าจอของแอปพลิเคชันในฟังก์ชันนี้มีความล่าช้าในการตรวจจับสัตว์เลื้อยอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้โดยเฉลี่ยจากทั้ง 4 เกณฑ์การประเมิน มีประสิทธิภาพ 98.75%

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพโอมิ โรโบทเพื่อนสัตว์เลื้อย

ลำดับ	เกณฑ์การประเมิน	ผลการทดสอบ (ครั้งที่)										สรุป (%)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	การควบคุมการทำงานของอุปกรณ์	100%	90%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	90%	100%	98%
2	ควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
3	การใช้งานไลฟ์สตรีม	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
4	การตรวจหาสัตว์เลื้อย	100%	100%	100%	90%	100%	100%	90%	90%	100%	100%	97%

3) ผลลัพธ์จากการสอบถามความพึงพอใจจากประชากรที่ทดลองใช้หุ่นยนต์ โอมิ โรโบท จำนวน 10 คน แสดงได้ดังตารางที่ 2 พบว่า ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจมากที่สุด ในด้านภาษาที่เข้าใจง่าย และยังมีมีความพึงพอใจระดับมาก ในหลายด้าน ได้แก่ ความสะดวกและความง่ายในการใช้งาน และสามารถใช้งานบนแอปพลิเคชันด้วยอุปกรณ์พกพา/เคลื่อนที่ได้อย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตามพบว่ามีความพึงพอใจในระดับปานกลาง คือ ระบบสามารถใช้งานบนแพลตฟอร์มโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้อย่างสิ้นไหล โดยในหัวข้อประเมินนี้พบว่าเมื่อถึงหน้าตรวจจับสัตว์เลื้อย จะมีความหน่วงของแอปพลิเคชันในการตรวจจับอยู่เล็กน้อย และความเสถียรในการทำงานแอปพลิเคชันก็เช่นกัน จากการวิเคราะห์เบื้องต้นแล้วพบว่า ควรจะพัฒนาระบบให้ลดความหน่วงโดยเก็บข้อมูลในแคช (Cache) และควรพัฒนาฟังก์ชันของการตรวจจับสัตว์เลื้อยให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

ตารางที่ 2 คะแนนความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

หัวข้อประเมิน	$\bar{x}$	S.D.	ระดับความคิดเห็น
1. ความสะดวกและง่ายในการใช้งานของระบบ	4.45	0.76	มาก
2. ระบบสามารถใช้งานบนแพลตฟอร์มโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้อย่างลื่นไหล	3.48	0.95	ปานกลาง
3. ความเสถียรในการทำงานแอปพลิเคชัน	3.48	0.95	ปานกลาง
4. ภาษาที่เข้าใจง่าย	4.65	0.49	มากที่สุด
5. การควบคุมหุ่นยนต์	4.00	0.85	มาก
6. การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์	4.45	0.69	มาก
คะแนนเฉลี่ยโดยรวม	4.05	0.82	มาก

2. การวิจารณ์ผลการวิจัย

ในหัวข้อนี้ ผู้วิจัยได้เลือกองค์ประกอบหลักที่สำคัญในการพัฒนาหุ่นยนต์ โอมิ โรบอท มาอภิปรายผล เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น ๆ ที่ผ่านมา โดยพิจารณาถึง ข้อดี ข้อเสีย และข้อแตกต่าง ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 องค์ประกอบดังนี้คือ 1) การทำงานของตัวหุ่นยนต์ และ 2) การทำงานของแอปพลิเคชันควบคุมหุ่นยนต์

ในการพัฒนาหุ่นยนต์ โอมิ โรบอท ผู้วิจัยได้ศึกษาแนวทางการทำงานของ กล้องวงจรปิด TECHPRO Smart Baby Monitor (Apichat Noiprachar, 2566) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ออกแบบมาเพื่อเฝ้าดูเด็กทารกแบบตามเวลาจริง ผ่านจอแสดงผล โดยใช้ระบบสื่อสารแบบสองทิศทางที่สามารถพูดคุยโต้ตอบได้ จากการศึกษาพบว่า กล้องวงจรปิด TECHPRO มีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งในตำแหน่งที่สามารถมองเห็นเด็กได้โดยตรง แต่ไม่สามารถปรับหรือหมุนกล้องผ่านแอปพลิเคชันได้นอกจากนี้ อุปกรณ์ดังกล่าวยังไม่รองรับระบบการตรวจจับอัจฉริยะ และไม่มีโหมดอัตโนมัติ ในขณะที่ โอมิ โรบอท: เพื่อนสัตว์เลี้ยงอัจฉริยะ ได้รับการออกแบบให้สามารถเคลื่อนที่ได้ทั่วทั้งบริเวณ และมีฟังก์ชันตรวจจับสัตว์เลี้ยงแบบอัตโนมัติ โดยอาศัยเทคโนโลยีอินเทอร์เนตของสรรพสิ่ง ควบคู่กับโมเดลปัญญาประดิษฐ์ TensorFlow เพื่อเสริมประสิทธิภาพในการทำงาน เช่น การตรวจจับสัตว์เลี้ยงในโหมดอัตโนมัติ ซึ่งเมื่อพบสัตว์เลี้ยงแล้ว ระบบจะเปิดใช้งานฟังก์ชันการเล่น โดยสามารถจำแนกประเภทของสัตว์เลี้ยงเป็นสุนัขและแมว เพื่อให้สามารถโต้ตอบได้อย่างเหมาะสมกับลักษณะเฉพาะของสัตว์เลี้ยงแต่ละชนิดอย่างไ้ก็ตาม แม้ว่าทั้ง โอมิ โรบอท: เพื่อนสัตว์เลี้ยงอัจฉริยะและกล้องวงจรปิด TECHPRO Smart Baby Monitor จะมีคุณลักษณะและวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกัน แต่ล้วนมีบทบาทสำคัญในการเสริมสร้างความสัมพันธ์และเพิ่มคุณภาพชีวิตให้กับผู้ใช้งานในรูปแบบที่แตกต่างกัน

นอกจากนี้ยังอีกองค์ประกอบหนึ่งที่สำคัญของหุ่นยนต์ โอมิ โรบอท คือ แอปพลิเคชันที่ทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางในการควบคุมและสั่งการการทำงานของหุ่นยนต์ผ่านอุปกรณ์สมาร์ตโฟน ซึ่งเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าแอปพลิเคชัน Manything (Siamphone, 2568) ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นสำหรับการใช้สมาร์ตโฟนเครื่องเก่าที่ไม่ได้ใช้งานโดยการติดตั้งแอปพลิเคชันลงไป สมาร์ตโฟนเดิมจะสามารถทำงานเป็นกล้องวงจรปิดที่คอยสอดส่องดูแลแบบตามเวลาจริงสามารถควบคุมผ่านสมาร์ตโฟนได้ ซึ่งมีข้อดีสำคัญคือ การใช้เทคโนโลยีไร้สายในการควบคุมทำให้การติดตามดูแลบ้านได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการติดตามดูแลและเฝ้าบ้านเป็นสำคัญ ในขณะที่ โอมิ โรบอท: เพื่อนสัตว์เลี้ยงอัจฉริยะ ได้รับการออกแบบให้สามารถทำงานได้ครอบคลุมมากยิ่งขึ้น โดยไม่เพียงแต่การติดตามดูแลสัตว์เลี้ยงผ่านฟังก์ชันไลฟ์สตรีม ซึ่งช่วยให้เจ้าของสามารถเห็นสัตว์เลี้ยงของตัวเองได้ตามเวลาจริง แต่ก็ยังทำให้สัตว์เลี้ยงสามารถมองเห็นเจ้าของได้เช่นกัน นอกจากนี้ยังมีฟังก์ชันเสริมเน้นที่การมีปฏิสัมพันธ์กับสัตว์เลี้ยง เช่น การควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์และการควบคุมฟังก์ชันการเล่นจากระยะไกล ที่สามารถตั้งเวลาเพื่อให้แอปพลิเคชันตรวจจับหาสัตว์เลี้ยง เพื่อให้สัตว์เลี้ยงเล่น ซึ่งเป็นข้อแตกต่างที่สำคัญจากงานวิจัยอื่น ๆ

สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยได้พัฒนา โอมิ โรบอท: เพื่อนสัตว์เลี้ยงอัจฉริยะ โดยมุ่งเน้นการพัฒนาหุ่นยนต์ที่ประกอบด้วย 3 องค์ประกอบหลัก คือ (1) กล้องควบคุมระบบทำหน้าที่ควบคุมและสั่งการอุปกรณ์ภายในตัวหุ่นยนต์ (2) แอปพลิเคชันที่ใช้ในการควบคุมทิศทางและการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยแอปพลิเคชันนี้สามารถดูการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ผ่านกล้องโทรศัพท์เคลื่อนที่ ด้วยระบบไลฟ์สตรีมในฝั่งแอปพลิเคชันของผู้ใช้งาน โดยภายในหน้าเดียวกันนี้สามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์และสามารถสั่งการทำงานของอุปกรณ์ของเล่นได้ (3) ตัวหุ่นยนต์ มีการประยุกต์ใช้งานร่วมกับเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง โดยมีการนำเซ็นเซอร์อัลตราโซนิก (Ultrasonic sensor) เซอร์โวมอเตอร์ (mg90s servo) และมอเตอร์ (DC Motor 3-6 Volts) มาใช้โดยมีบอร์ด ESP8266 เป็นตัวกลางในการรับ-ส่งข้อมูลร่วมกับบอร์ดควบคุม Arduino Mega 2560 และใช้ Android Studio ในการพัฒนาส่วนของแอปพลิเคชัน ซึ่งทำงานร่วมกับ Firebase เพื่อเป็นตัวกลางในการรับ-ส่งข้อมูล ทั้งนี้คณะผู้วิจัยได้ประเมินประสิทธิภาพการทำงานของ โอมิ โรบอท: เพื่อนสัตว์เลี้ยงอัจฉริยะ พบว่ามีความถูกต้อง 98.75% และยังได้ประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน ซึ่งพบว่าโดยภาพรวมผู้ใช้งานมีความพึงพอใจในระดับมาก (มีคะแนนเฉลี่ย 4.05) อย่างไรก็ตาม โอมิ โรบอท: เพื่อนสัตว์เลี้ยงอัจฉริยะ ยังคงมีข้อจำกัดในด้านความเสถียรของอุปกรณ์ (เนื่องจากข้อจำกัดในด้านงบประมาณ) ซึ่งสามารถพัฒนาให้ดียิ่งขึ้นได้ในอนาคต โดยทางผู้วิจัยจะยังคงพัฒนาต่อยอดเพิ่มเติมเพื่อให้สามารถนำไปใช้ในการดำเนินธุรกิจได้ต่อไปในอนาคต

ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัย พบว่า โอมิ โรบอท: เพื่อนสัตว์เลี้ยงอัจฉริยะ มีศักยภาพในการทำงานที่เหมาะสมกับสุนัขและแมว อย่างไรก็ตาม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานให้ดียิ่งขึ้น ควรมีการพัฒนาต่อยอดในหลายด้าน ทั้งในแง่ของโครงสร้างและฟังก์ชันการทำงาน เช่น การเสริมความแข็งแรงของชิ้นส่วนหุ่นยนต์ให้ทนทานต่อการใช้งานในระยะยาว การพัฒนาระบบแบตเตอรี่ให้มีความสามารถในการใช้งานที่ยาวนานขึ้น รวมทั้งการพัฒนาให้หุ่นยนต์สามารถทำงานได้ในสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย เช่น พื้นผิวที่ลื่น หรือการทำงานในพื้นที่แคบที่กล้องวงจรปิดไม่สามารถเข้าถึงได้ นอกจากนี้ยังควรมีการพัฒนาแอปพลิเคชันให้สามารถบันทึกประวัติการใช้งานของสัตว์เลี้ยง รวมถึงการโต้ตอบระหว่างสัตว์เลี้ยงกับหุ่นยนต์ เพื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์หรือนำเสนอคำแนะนำในการดูแลสัตว์เลี้ยงให้เหมาะสมยิ่งขึ้น สำหรับกลุ่มตัวอย่างในการทดลองประกอบด้วยนักศึกษาจำนวน 10 คน ซึ่งเป็นกลุ่มที่อยู่ในสาขาเดียวกันและมีความคุ้นเคยกับเทคโนโลยี อย่างไรก็ตาม การขยายกลุ่มตัวอย่างให้ครอบคลุมผู้ใช้ที่มีความหลากหลายมากขึ้น ทั้งในด้านช่วงอายุและพื้นฐานความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยี จะช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือและความครอบคลุมของผลการทดสอบ ซึ่งเป็นข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษารุ่นต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- กิตติศักดิ์ สิงห์สูงเนิน, และมัชฌกานต์ เผ่าสวัสดิ์. (2567). การพัฒนาต้นแบบชุดฝึกปฏิบัติการเรียนอินเทอร์เน็ตเพื่อทุกสรรพสิ่งสำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี. วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย, 27(1), 91-101.
- ณัฐพล เจริญศิริ, ประชาสันต์ แวนไธสง และกฤษณพล เกิดทองคำ. (2563). ระบบแจ้งเตือนอุณหภูมิและความชื้นสำหรับห้องควบคุมไฟฟ้า สำหรับบริษัทสวนวงษ์อุตสาหกรรม จำกัด. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีรัตนโกสินทร์, 2(3), 119-132.
- ธีรพงษ์ นิยมเพชร, และ สมคิด สุทธิศักดิ์. (2564). การพัฒนาชุดสาธิตเรื่องหุ่นยนต์แขนกลอุตสาหกรรมแบบสควาร์เคลื่อนที่อิสระ 4 ทิศทางสำหรับการจัดการเรียนการสอนทางด้านวิศวกรรมหุ่นยนต์. ค้นจาก <https://riss.rmuts.ac.th/upload/doc/202207/vvYgqp4WW cpG0EFAywhd/ vvYgqp4WWcpG0EFAywhd.pdf>
- ฟอร์จูนเมคคานิคแอนด์ซัพพลาย จำกัด. (2563). BellaBot หุ่นยนต์บริการ (Service Robot) จาก PUDUTECH หุ่นยนต์แมวเลี้ยงอาหารสุด CUTE. ค้นจาก <https://fortunesupply.co.th/th/articles/206762-bellabot>

- พนิดา จุลมณฑล. (2564). ความสัมพันธ์ระหว่างความผูกพันกับสัตว์เลี้ยงและความเหงาในวัยรุ่น โดยมีการสนับสนุนทางสังคมด้านอารมณ์เป็นตัวแปรส่งผ่าน. ค้นจาก [https:// digital.car.chula.ac.th/chulaetd/9144/](https://digital.car.chula.ac.th/chulaetd/9144/)
- ลัดดา ภูเกษม. (2562). สถิติสำหรับการวิจัยทางการศึกษา. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นฤพนธ์ พนาวงศ์, เอกสิทธิ์ สิทธิสมาน และ ภักจิรา ศิริโสม. (2567). การศึกษาเปรียบเทียบวิธีที่เหมาะสมสำหรับพัฒนาหุ่นยนต์เคลื่อนที่แบบอัตโนมัติ ด้วยแพลตฟอร์ม Arduino. วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์, 16(23), 1–15.
- วศิกา กระเทศ. (2563). พฤติกรรมการใช้บริการร้านสัตว์เลี้ยงของกลุ่มคนโสดที่นิยมเลี้ยงสัตว์. ค้นจาก <https://archive.cm.mahidol.ac.th/handle/123456789/3587>
- ศิริวิทย์ ตาดพริ้ง และ ชาณุคณิตกฤตยา สุริยะมณี. (2562). การใช้กล้องโทรทัศน์วงจรปิดเพื่อป้องกันอาชญากรรมในที่พักอาศัย: ศึกษาเฉพาะกรณีเกสต์เฮาส์ในพื้นที่เขตพระนคร กรุงเทพฯ. ค้นจาก <https://so02.tci-thaijo.org/index.php/forensic/article/download/240067/166625>
- อภิชาติ เสมศรี. (2567). การออกแบบการทดลองปัจจัยรูปทรงปลายวีลของระบบจัดเก็บสะสมพลังงานปลายวีล. วารสารมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 34(1), 4–11.
- Akter, J., Nusrat, M., Hossain, M. R., Sakib, M. H., and Rajee, A. (2022). Distance measurement using ultrasonic sensor & Arduino Microprocessor & Microcontroller. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/367162982_DISTANCE_MEASUREMENT_USING_ULTRASO_NIC_SENSOR_ARDUINO
- Apichat Noiprachar. (2566). TechPro Smart Baby Monitor กล้องเด็กสามารถตรวจจับเสียง อุณหภูมิมีเพลงกล่อมด้วยวิดีโอ. ค้นจาก <https://www.youtube.com/watch?v=eLBVrFR18IA>
- Aquapro. (2568). Petoneer Smart Pet Cam PC001 กล้องวงจรปิดสำหรับสัตว์เลี้ยง ความละเอียดระดับ 1080P รองรับการสื่อสาร 2 ทาง ประกันศูนย์ไทย 1 ปี. ค้นจาก <https://www.aquapro.co.th/product/petoneer-smart-pet-cam-pc001/>
- Bennett, C. C., Smith, A., and Lee, J. (2022). Comparison of in-home robotic companion pet use in South Korea and the United States: A case study. Retrieved from https://www.caseybennett.com/uploads/Bennett_Comparison_RobotPetUse_USvsKOR%20_Ver2%20_Final%20_preprint.pdf
- Bestiebrand. (2566). ทดสอบและรีวิวแพนโดเพ็ทคอมแพเนียน. ค้นจาก <https://bestiebrand.com/2023/03/16/review-pando-pet-companion-camera/>
- Dong, X., Zhang, Y., and Li, H. (2025). Dynamic weighting and pyramid fusion for HDR image enhancement in low-light industrial cameras. *Journal of Industrial Imaging*, 45(3), 123–135.
- Huang, Y. (2023). Research on the development of voice assistants in the era of artificial intelligence. Retrieved from <https://doi.org/10.1051/shsconf/202315503019>
- Li, W.-J., Yen, C., Lin, Y.-S., Tung, S.-C., and Huang, S. (2018). Just IoT Internet of Things based on the Firebase Real-time Database. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/323342152_JustIoT_Internet_of_Things_based_on_the_Firebase_Real-time_Database
- RealTummie. (2566). ENABOT EBO X หุ่นยนต์กล้องวงจรปิดอัจฉริยะ ดีไซน์สุดคิวท์ พร้อมกล้อง 4K วิ่งตรวจจับได้รอบบ้าน. ค้นจาก <https://droidsans.com/enabot-ebo-x-home-robot-4k-camera-launched-kicks tarter/>
- Siamphone. (2568). Manything เปลี่ยนสมาร์ตโฟนรุ่นเก่า มาเป็นยามเฝ้าบ้านได้. ค้นจาก [https:// www.siamphone.com/contents/news-20555.html#google_vignette](https://www.siamphone.com/contents/news-20555.html#google_vignette)
- THAI SECOM SECURITY. (2567). Indoor Wi-Fi Camera. ค้นจาก https://www.secom.co.th/business/ additional_functions/cctv/

การพัฒนาและประเมินโมชันอินโฟกราฟิก เพื่อสร้างความเข้าใจ เรื่องโรคเบาหวานระยะสงบ

Development and Evaluation of a Motion Infographic for Patient Education on Visualizing Diabetes Remission

กิตติพิเชษฐ์ ฐูปบุชา¹ ไชยวัฒน์ เอี่ยมกระจ่าง² และ สุรพงษ์ วิริยะ^{*}

Kitipichet Thooobucha¹ Chaiwat Aiamkrachang² and Surapong Wiriya^{*}

¹สาขาวิชาการจัดการ คณะบริหารและการจัดการ มหาวิทยาลัยเจ้าพระยา จังหวัดนครสวรรค์ 60240

²สาขาวิชาคอมพิวเตอร์มีเดีย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเจ้าพระยา จังหวัดนครสวรรค์ 60240

¹Program of Management, Faculty of Business Administration, Chaopraya University,
Nakhon Sawan Province, 60240

²Program of Computer Multimedia, Faculty of Science and Technology, Chaopraya University,
Nakhon Sawan Province, 60240

*Corresponding Author E-mail: surapong.w@cpu.ac.th

Received 17 June 2025, Accepted 9 February 2026, Published 11 March 2026

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาสื่ออินโฟกราฟิกเพื่อให้ความรู้เรื่องเบาหวานระยะสงบ 2) ประเมินคุณภาพต่อสื่ออินโฟกราฟิกเพื่อให้ความรู้เรื่องเบาหวานระยะสงบ 3) ประเมินความพึงพอใจต่อสื่ออินโฟกราฟิกเพื่อให้ความรู้เรื่องเบาหวานระยะสงบ ดำเนินการสร้างตามขั้นตอนการผลิตสื่อแอนิเมชัน 3 ขั้นตอน ได้แก่ 1) ขั้นตอนก่อนผลิต (Pre-Production) 2) ขั้นตอนดำเนินการผลิต (Production) และ 3) ขั้นตอนหลังการผลิต (Post-Production) กลุ่มเป้าหมาย คือ กลุ่มผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 คน และกลุ่มตัวอย่างผู้รับชมสื่อแอนิเมชัน จำนวน 30 คน โดยวิธีการสุ่มแบบบังเอิญ เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย 1) สื่ออินโฟกราฟิกเพื่อให้ความรู้เรื่องเบาหวานระยะสงบ 2) แบบประเมินคุณภาพของสื่ออินโฟกราฟิก 3) แบบประเมินความพึงพอใจที่มีต่อสื่ออินโฟกราฟิก และวิเคราะห์ด้วยค่าสถิติค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิจัยพบว่า 1) สื่ออินโฟกราฟิกเพื่อให้ความรู้เรื่องเบาหวานระยะสงบ มีความถูกต้องของข้อมูล และมีการดำเนินเรื่องตรงกับลำดับเนื้อเรื่องตามบทบาทที่วางไว้ โดยมีระยะเวลาในการนำเสนอ 3.59 นาที 2) การประเมินคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญ พบว่า ภาพรวมมีคุณภาพอยู่ในระดับดี ($\bar{x} = 4.30$, $SD = 0.54$) และผลการประเมินความพึงพอใจจากกลุ่มผู้รับชมสื่ออินโฟกราฟิก ความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x} = 4.56$, $SD = 0.55$) สรุปได้ว่า สื่ออินโฟกราฟิกเพื่อให้ความรู้เรื่องเบาหวานระยะสงบ เป็นเครื่องมือที่ให้ความรู้ และสามารถเป็นสื่อการเรียนรู้ในช่องทางดิจิทัล เพื่อให้ประชาชนเข้าถึงได้อย่างกว้างขวาง อีกทั้งยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการรณรงค์ส่งเสริมสุขภาพ และลดความเสี่ยงของโรคเบาหวานในอนาคต

คำสำคัญ: อินโฟกราฟิก การพัฒนาสื่อ เบาหวานระยะสงบ สุขภาพ

ABSTRACT

This research aims to: 1) develop motion-infographic media for educating viewers about diabetes remission, 2) evaluate the quality of the motion-infographic media, and 3) assess the viewer satisfaction with the media. The motion-infographic media were created following the three steps of animation media production: pre-production, production, and post-production. The target group consisted of five experts and 30 viewers, obtained by accidental sampling. The research instruments included: 1) the motion-infographic media on diabetes remission, 2) a media quality assessment form, and 3) a viewer satisfaction assessment form. Data were analyzed using mean and standard deviations. The findings revealed that: 1) the motion-infographic media accurately presented the content about diabetes remission, and the storyline was consistent with the script and plot sequence. The total presentation time was 3.59 minutes; 2) the experts' quality assessment showed that the overall quality was good ($\bar{x} = 4.30$, $SD = 0.54$); and 3) the viewer satisfaction assessment showed the highest level of satisfaction ($\bar{x} = 4.56$, $SD = 0.55$). It can be concluded that the motion-infographic media on diabetes remission serves as an effective educational tool that provides accessible digital learning resources for public. The media can also be used in health-promotion campaigns to help reduce the risk of diabetes in the future.

Keywords: Motion Infographic, Media Development, Diabetes Remission, Health

บทนำ

โรคเบาหวานเป็นโรคเรื้อรังที่เกิดขึ้นเมื่อตับอ่อนไม่ผลิตอินซูลินที่เพียงพอต่อร่างกายได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้อินซูลินที่ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด เกิดภาวะน้ำตาลในเลือดสูงหรือที่เรียกว่าระดับน้ำตาลในเลือดสูง เป็นผลทั่วไปของโรคเบาหวานที่ไม่ได้รับการควบคุม และเมื่อเวลาผ่านไป จะทำให้ระบบต่าง ๆ ของร่างกายเสียหายอย่างรุนแรง โดยเฉพาะระบบประสาทและหลอดเลือด ในปี 2022 ผู้ใหญ่ที่มีอายุ 18 ปีขึ้นไป ร้อยละ 14 เป็นโรคเบาหวานซึ่งเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 7 ในปี 1990 ผู้ใหญ่ที่มีอายุ 30 ปีขึ้นไปมากกว่าครึ่ง (ร้อยละ 59) เป็นโรคเบาหวานที่ไม่ได้รับประทานยารักษาโรคเบาหวานในปี 2021 โรคเบาหวานเป็นสาเหตุโดยตรงของการเสียชีวิต 1.6 ล้านราย และ 47% ของการเสียชีวิตทั้งหมดเนื่องจากโรคเบาหวานเกิดขึ้นก่อนอายุ 70 ปี การเสียชีวิตจากโรคไตอีก 530,000 ราย เกิดจากโรคเบาหวาน และระดับน้ำตาลในเลือดสูง อาการของโรคเบาหวานอาจเกิดขึ้นอย่างฉับพลัน ในโรคเบาหวานประเภท 2 อาการอาจไม่รุนแรงและอาจใช้เวลานานหลายปีจึงจะสังเกตเห็นโดยมีอาการดังนี้ รู้สึกกระหายน้ำมาก มีอาการปัสสาวะบ่อยกว่าปกติ การมองเห็นพร่ามัว รู้สึกเหนื่อย การลดน้ำหนักโดยไม่ตั้งใจ เป็นต้น (องค์การอนามัยโลก, 2567) โรคเบาหวานระยะสงบ (Diabetes Remission) เป็นโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ในผู้ใหญ่ที่มีอายุตั้งแต่ 18 ปีขึ้นไป ที่ได้รับการดูแลรักษาจนสามารถควบคุมน้ำตาลในเลือดให้อยู่ในระดับที่ต่ำกว่าระดับที่ใช้เป็นเกณฑ์การวินิจฉัยโรคเบาหวาน ($HbA1c < 6.5\%$) และคงอยู่อย่างน้อย 3 เดือนโดยไม่ต้องใช้ยาเพื่อลดระดับน้ำตาลในเลือด (ราชวิทยาลัยแพทยเวชศาสตร์ครอบครัวแห่งประเทศไทย, 2565)

การผลิตสื่อโซเซียลมีเดียในยุคดิจิทัล มีบทบาทสำคัญในชีวิตประจำวันของผู้คน สื่อโซเซียลมีเดียได้กลายเป็นเครื่องมือสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการสร้างและเปลี่ยนแปลงความเห็นอย่างมหาศาล สื่อโซเซียลมีเดียไม่เพียงแต่เป็นช่องทางในการแลกเปลี่ยนความเห็นหรือการเชื่อมต่อระหว่างบุคคลเท่านั้น แต่ยังเป็นเครื่องมือที่กระตุ้นการรับรู้และเปลี่ยนแปลงทัศนคติในประเด็นต่าง ๆ (เรียงดาว และภูษิต, 2567) ในยุคที่มีข่าวสารแพร่กระจายอย่างรวดเร็วผ่านช่องทางต่าง ๆ ทั้งโซเซียลมีเดีย สื่อมวลชน และแพลตฟอร์มออนไลน์ บทบาทสำคัญในการกำหนดทิศทางของข้อมูลที่สังคมได้รับ การสร้างภาพลักษณ์

การนำเสนอในรูปแบบแอนิเมชัน ทำให้มีความน่าสนใจ เข้าใจง่าย โดยใช้เทคโนโลยีการสื่อสารในการสร้างความรู้ความ และเข้าใจ (ศุภชัย และแพร่ตะวัน, 2565) การสร้างอินโฟกราฟิกทำให้ดูแล้วเข้าใจง่ายในเวลารวดเร็วและชัดเจน สามารถสื่อให้ ผู้ชมเข้าใจความหมายของข้อมูลทั้งหมดได้ (ธัญญพิชชา และคณะ, 2563)

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้นำองค์ความรู้ในเรื่องของโรคเบาหวานระยะสงบ และการผลิตสื่อโซเชียลมีเดียมาพัฒนาเป็น สื่อโมชันอินโฟกราฟิก ที่มีลักษณะเป็นงานวิจัยและพัฒนา โดยมุ่งเน้นการสร้างสื่อโมชันอินโฟกราฟิก ในการให้ความรู้ เรื่องเบาหวานระยะสงบ แก่ประชาชน ผู้รับบริการของโรงพยาบาล หรือผู้เกี่ยวข้อง โดยผลิตสื่อโมชันอินโฟกราฟิกที่มีเนื้อหา เข้าใจง่าย มีรูปแบบที่สามารถเข้าถึงได้ทุกเพศทุกวัย เพื่อให้ได้ตระหนักถึงอันตรายที่กำลังจะเกิดขึ้นไม่ว่าจะเกิดกับตนเองหรือ คนรอบข้าง

วิธีการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาดำรง เอกสาร แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัย ที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาสื่อโมชันอินโฟกราฟิก เพื่อให้ความรู้ เรื่องเบาหวานระยะสงบ หากคุณภาพของสื่อโมชันอินโฟกราฟิก และความพึงพอใจของผู้ใช้ มีรายละเอียดดังนี้

1. เครื่องมือการวิจัย

- 1.1 สื่อโมชันอินโฟกราฟิกเพื่อให้ความรู้เรื่องเบาหวานระยะสงบ
- 1.2 แบบประเมินคุณภาพของสื่อโมชันอินโฟกราฟิกเพื่อให้ความรู้เรื่องเบาหวานระยะสงบ โดยผู้เชี่ยวชาญ เป็นแบบสอบถามแบบมาตราส่วน 5 ระดับ โดยแบ่งการประเมินเป็น 4 ด้าน ได้แก่ ด้านเนื้อหา ด้านกราฟิก ด้านเสียงบรรยาย/ประกอบ และด้านเทคนิคที่ใช้งาน
- 1.3 แบบประเมินความพึงพอใจของสื่อโมชันอินโฟกราฟิกเพื่อให้ความรู้เรื่องเบาหวานระยะสงบ โดยกลุ่มตัวอย่าง ผู้รับชมสื่อแอนิเมชัน เป็นแบบสอบถามแบบมาตราส่วน 5 ระดับ โดยแบ่งการประเมินเป็น 4 ด้าน ได้แก่ ด้านเนื้อหา ด้านรูปแบบ ด้านเสียงบรรยาย และด้านความรู้ ความเข้าใจและการนำไปใช้

2. กลุ่มเป้าหมาย

- 2.1 กลุ่มผู้เชี่ยวชาญ ได้แก่ ผู้เชี่ยวชาญทางด้านสื่อและเทคโนโลยี จำนวน 3 คน พยาบาลวิชาชีพ จำนวน 2 คน
- 2.2 กลุ่มเป้าหมาย ได้แก่ ผู้เข้ารับบริการคลินิกโรคเบาหวานของโรงพยาบาล จำนวน 30 คน โดยเลือกการสุ่มแบบ บังเอิญ (Accidental Sampling) (กัลยา, 2560)

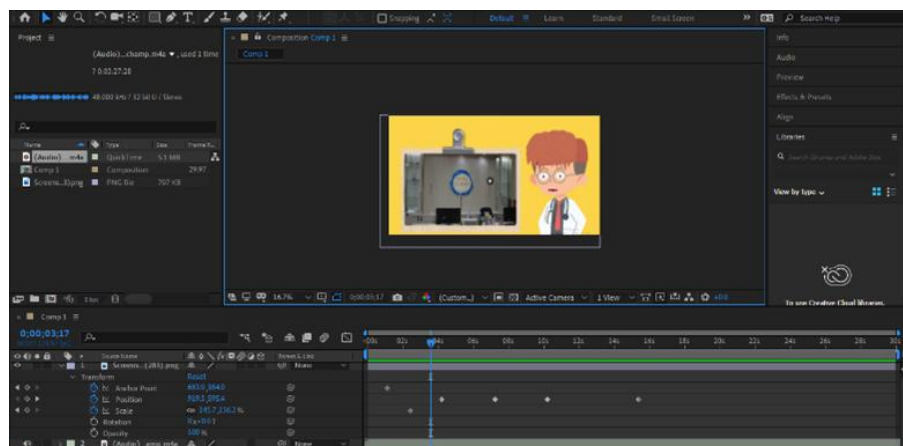
3. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยตามขั้นตอน ดังนี้

- 3.1 ขั้นตอนการพัฒนาสื่อโมชันอินโฟกราฟิก โดยดำเนินการพัฒนาสื่อโมชันอินโฟกราฟิก ตามขั้นตอนดังนี้
 - 3.1.1 ขั้นตอนก่อนการผลิต (Pre-Production)
 - 1) การเขียนเรื่องหรือบท คณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาข้อมูลเรื่องเบาหวานระยะสงบ ร่วมกับพยาบาลวิชาชีพในการเรียบเรียงข้อมูลที่ต้องการนำเสนอโดยแบ่งหัวข้อการนำเสนอ ดังนี้
 - 1.1) ความหมายของโรคเบาหวานระยะสงบ
 - 1.2) การรักษาโรคเบาหวานให้เข้าสู่ระยะสงบ
 - 1.3) การเลือกรับประทานอาหารและการดูแลตนเอง
 - 2) การออกแบบตัวละครและฉากต่าง ๆ ด้วยการออกแบบตัวละครในรูปแบบ 2 มิติ
 - 3) การเขียนบทภาพ คณะผู้วิจัยได้นำเนื้อเรื่อง ตัวละคร และฉากต่าง ๆ มาร่างเป็นบทภาพเพื่อกำหนดทิศทางการดำเนินเรื่องของสื่อโมชันอินโฟกราฟิก
 - 4) จัดเตรียมเสียงบรรยาย
 - 5) จัดเตรียมโปรแกรมที่ใช้ในการพัฒนาสื่อโมชันอินโฟกราฟิก

No.	Storyboard	Animating	Sound
6		เคลื่อนไหว: in ขนาดภาพ: MS มุมกล้อง: Eye level เชื่อมภาพ: Match & Move	บรรยาย: เบาหวานระยะสงบ หมายถึงเบาหวานชนิดที่ 2 ในผู้ใหญ่ ที่มีอายุตั้งแต่ 18 ปีขึ้นไปได้รับการ ดูแลรักษานสามารถควบคุมน้ำตาล ในเลือด ดนตรี: ABOUT THAT OLDIE Effect: - เวลา: 13 วินาที
7		เคลื่อนไหว: in ขนาดภาพ: MS มุมกล้อง: Eye level เชื่อมภาพ: Chop	บรรยาย: ให้อยู่ในระดับที่ต่ำกว่า ระดับที่ใช้เป็นเกณฑ์การวินิจฉัย เบาหวาน คือ ค่าน้ำตาลสะสม (HbA1c) น้อยกว่า 6.5% และคงอยู่ อย่างน้อย 3 เดือน ดนตรี: ABOUT THAT OLDIE Effect: - เวลา: 12 วินาที
8		เคลื่อนไหว: in ขนาดภาพ: MS มุมกล้อง: Eye level เชื่อมภาพ: Chop	บรรยาย: โดยไม่ต้องใช้ยา เพื่อลด ระดับน้ำตาลในเลือด ดนตรี: ABOUT THAT OLDIE Effect: - เวลา: 3 วินาที

ภาพที่ 1 ตัวอย่างการออกแบบสตอรี่บอร์ด

3.1.2 ขั้นตอนการผลิต (Production) ได้แก่ การวาดตัวละคร วาดฉาก การนำ Footage มารวมกันเพื่อทำให้เคลื่อนไหว



ภาพที่ 2 การกำหนดการเคลื่อนไหวของตัวละครและส่วนประกอบ

3.1.3 ขั้นตอนหลังการผลิต (Post-Production) เป็นขั้นตอนการในการประกอบไฟล์ทั้งหมด โดยการตัดต่อ (Editing) ใส่การเชื่อมภาพ (Transition) ที่เหมาะสมในการนำเสนอ และหลังจากนั้นทำการใส่เสียงให้ตรงกับภาพและข้อความ



ภาพที่ 3 ใส่เสียงดนตรีประกอบ

3.2 การสร้างแบบประเมินคุณภาพ และแบบประเมินความพึงพอใจของสื่อโมชันอินโฟกราฟิกเพื่อให้ความรู้เรื่องเบาหวานระยะสงบ โดยศึกษาและพัฒนาจากเครื่องมือในงานวิจัยเรื่องการพัฒนาสื่อโมชันอินโฟกราฟิกเรื่องโควิด-19 (กิริติ และคณะ, 2567) การพัฒนาสื่อโมชันอินโฟกราฟิก แนะนำสถานที่ท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ชุมชนชนมแปลงริมคลองหนองบัว จังหวัดจันทบุรี (สุทธิพงษ์ และณลินี, 2564) ผลการใช้โมชันอินโฟกราฟิกร่วมกับการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐาน เรื่อง ภูมิศาสตร์ ที่มีผลต่อความสามารถในการคิดวิเคราะห์และความสามารถในการทำงานร่วมกันของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนนารีวิทยา ราชบุรี (ชยามร และนันทน์, 2563)

3.3 การทดสอบสื่อโมชันอินโฟกราฟิกเพื่อให้ความรู้เรื่องเบาหวานระยะสงบ โดยคณะผู้วิจัยได้ทำการทดสอบการทำงานของสื่อเพื่อดูความถูกต้องของการลำดับเนื้อเรื่อง การดูความสมบูรณ์ของสื่อโมชันอินโฟกราฟิก

3.4 นำสื่อโมชันอินโฟกราฟิกให้ผู้เชี่ยวชาญด้านสื่อและเทคโนโลยี จำนวน 3 คน และพยาบาลวิชาชีพ จำนวน 2 คน ได้พิจารณาสื่อโมชันอินโฟกราฟิก และประเมินคุณภาพของสื่อโมชันอินโฟกราฟิก

3.5 นำสื่อโมชันอินโฟกราฟิก ไปเผยแพร่ให้กลุ่มเป้าหมายได้รับชม และทำการประเมินความพึงพอใจที่มีต่อสื่อโมชันอินโฟกราฟิก

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

ค่าเฉลี่ย 4.50 – 5.00 หมายถึง คุณภาพสื่อ อยู่ในระดับดีมาก ความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด

ค่าเฉลี่ย 3.50 – 4.49 หมายถึง คุณภาพสื่อ อยู่ในระดับดี ความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก

ค่าเฉลี่ย 2.50 – 3.49 หมายถึง คุณภาพสื่อ อยู่ในระดับปานกลาง ความพึงพอใจอยู่ในระดับปานกลาง

ค่าเฉลี่ย 1.50 – 2.49 หมายถึง คุณภาพสื่อ อยู่ในระดับพอใช้ ความพึงพอใจอยู่ในระดับน้อย

ค่าเฉลี่ย 1.00 – 1.49 หมายถึง คุณภาพสื่อ อยู่ในระดับควรปรับปรุง ความพึงพอใจอยู่ในระดับน้อยที่สุด

ผลการวิจัย และวิจารณ์ผลการวิจัย

1. ผลการพัฒนาสื่อโมชันอินโฟกราฟิกเพื่อให้ความรู้เรื่องเบาหวานระยะสงบ

คณะผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาสื่อโมชันอินโฟกราฟิกที่มุ่งเน้นให้ความรู้เกี่ยวกับโรคเบาหวานในระยะสงบและการจัดการโรคอย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด การดูแลตนเอง และการหลีกเลี่ยงภาวะแทรกซ้อนที่อาจเกิดขึ้นจากโรคเบาหวานของผู้ป่วยโรคเบาหวาน ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและอัตราการเสียชีวิตก่อนวัยอันควรด้วยโรคเบาหวานที่เพิ่มสูงขึ้น โดยสื่อโมชันอินโฟกราฟิกมีความยาว 3.59 นาที ที่นำเสนอเนื้อหาที่ครอบคลุมใน 3 ประเด็นคือ 1) ความหมายของโรคเบาหวานระยะสงบ 2) การรักษาโรคเบาหวานให้เข้าสู่ระยะสงบ 3) การเลือกรับประทานอาหารและการดูแลตนเอง และใช้กระบวนการของการพัฒนาสื่อแอนิเมชัน 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนก่อนการผลิต ขั้นตอนการผลิต และขั้นตอนหลังการผลิต ในการพัฒนาสื่อโมชันอินโฟกราฟิก และได้ทำการทดสอบการทำงานของสื่อโมชันอินโฟกราฟิก โดยมีผลการพัฒนาสื่อโมชันอินโฟกราฟิก ดังนี้



ภาพที่ 4 ตัวอย่างผลการพัฒนาสื่อโมชันอินโฟกราฟิกเพื่อให้ความรู้เรื่องเบาหวานระยะสงบ

โดยองค์ความรู้ใหม่ที่ได้จากการวิจัยนั้นคือการนำเสนอข้อมูลในด้านการดูแลรักษาสุขภาพในด้านการให้ความรู้เกี่ยวกับโรคเบาหวานในระยะสงบผ่านสื่อโมชันอินโฟกราฟิก ซึ่งสามารถถ่ายทอดความรู้จำนวนมากได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้ความเบื่อหน่ายและภาระทางปัญญา การใช้ภาพเคลื่อนไหวและเสียงประกอบช่วยให้ผู้รับสารสามารถรับรู้ได้ง่ายขึ้น โดยสอดคล้องกับหลักการด้านมัลติมีเดียเพื่อการเรียนรู้ของ ที่เน้นการใช้เสียงและภาพแทนข้อความ แบ่งเนื้อหาออกเป็นช่วงสั้น ๆ เพื่อให้เกิดการเรียนรู้อย่างเป็นระบบ ส่งผลให้ผู้ชมสามารถเข้าใจเนื้อหาได้ดีขึ้น และจดจำข้อมูลจากสื่อโมชันอินโฟกราฟิกได้ดีกว่าข้อความยาว ๆ (Serhat, 2024) นอกจากนี้การออกแบบสื่อในลักษณะนี้ยังช่วยเพิ่มความน่าสนใจ และทำให้เข้าใจในเรื่องของการดูแลสุขภาพตนเอง โดยระยะเวลาในการนำเสนอของสื่อที่ไม่ยาวเกินไป ทำให้การเล่าเรื่องมีความน่าสนใจ และสามารถนำสิ่งที่ได้รับจากการชมสื่อโมชันอินโฟกราฟิก เพื่อให้ความรู้เรื่องเบาหวานระยะสงบไปใช้ในชีวิตประจำวันได้เพื่อการดูแลตนเองให้ปลอดภัยจากภาวะแทรกซ้อนของโรคเบาหวานได้

2. ผลการประเมินคุณภาพสื่อโมชันอินโฟกราฟิกเพื่อให้ความรู้เรื่องเบาหวานระยะสงบ

เมื่อคณะผู้วิจัยได้พัฒนาสื่อโมชันอินโฟกราฟิกเสร็จสิ้นแล้ว ได้นำสื่อไปให้ผู้เชี่ยวชาญด้านสื่อและเทคโนโลยี จำนวน 3 คน และพยาบาลวิชาชีพ จำนวน 2 คน ได้พิจารณาสื่อโมชันอินโฟกราฟิก และทำการประเมินคุณภาพของสื่อโมชันอินโฟกราฟิก โดยมีผลการประเมินตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเลขคณิตกับเกณฑ์ที่ตั้งไว้ของคุณภาพสื่อโมชันอินโฟกราฟิกเพื่อให้ความรู้เรื่องเบาหวานระยะสงบ

รายการประเมินประสิทธิภาพ	$\bar{X}$	SD	ระดับคุณภาพ
1. ด้านเนื้อหา			
1.1 ความเหมาะสมของการจัดลำดับชั้นการนำเสนอเนื้อหา	4.40	0.55	ดี
1.2 ความถูกต้องของเนื้อหา	4.80	0.45	ดีมาก
1.3 ความชัดเจนของการอธิบายเนื้อหา	4.60	0.55	ดีมาก
1.4 ความเหมาะสมของเนื้อหา	4.60	0.55	ดีมาก
1.5 เนื้อหามีความเข้าใจง่าย	4.40	0.55	ดี
ค่าเฉลี่ยด้านเนื้อหา	4.56	0.53	ดีมาก
2. ด้านกราฟิก			
2.1 ภาพที่นำเสนอตรงตามเนื้อหา	4.60	0.55	ดีมาก
2.2 ความคมชัดของสื่อ	4.00	0.71	ดี
2.3 ความเหมาะสมของการจัดวางองค์ประกอบ	4.40	0.55	ดี
2.4 ความเหมาะสมของตัวอักษร	4.20	0.45	ดี
2.5 สีสื่อมีความเหมาะสมกับงาน	4.40	0.55	ดี
ค่าเฉลี่ยด้านกราฟิก	4.32	0.56	ดี
3. ด้านเสียงบรรยาย/ประกอบ			
3.1 จังหวะในการพูดบรรยาย	3.80	0.45	ดี
3.2 ใช้น้ำเสียงเข้าใจง่าย	3.60	0.55	ดี
3.3 ไม่มีเสียงรบกวน	4.20	0.45	ดี
3.4 ความกระชับในการใช้คำพูด	4.40	0.55	ดี
3.5 ความเหมาะสมของเสียงดนตรีประกอบ	4.20	0.45	ดี
ค่าเฉลี่ยด้านเสียงบรรยาย/ประกอบ	4.04	0.49	ดี
4. ด้านเทคนิคที่ใช้งาน			
4.1 เทคนิคที่ใช้ในการนำเสนอ	4.20	0.45	ดี
4.2 ความเหมาะสมของการเคลื่อนไหว	4.40	0.55	ดี
4.3 เทคนิคการออกแบบ	4.20	0.84	ดี
ค่าเฉลี่ยด้านเทคนิค	4.27	0.61	ดี
ค่าเฉลี่ยโดยรวม	4.30	0.54	ดี

จากตารางที่ 1 พบว่าระดับคุณภาพของสื่อโมชันอินโฟกราฟิกที่ประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญทั้ง 5 ท่าน มีประสิทธิภาพอยู่ในระดับดี ($\bar{X} = 4.30$, $SD = 0.54$) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่าด้านที่มีระดับคุณภาพมากที่สุด คือ ด้านเนื้อหา มีระดับคุณภาพอยู่ในระดับดีมาก ($\bar{X} = 4.56$, $SD = 0.53$) รองลงมาคือ ด้านกราฟิก มีระดับคุณภาพอยู่ในระดับดี ($\bar{X} = 4.32$, $SD = 0.56$) และด้านที่มีปคุณภาพน้อยที่สุด คือ ด้านเสียงบรรยาย มีระดับประสิทธิภาพอยู่ในระดับดี ($\bar{X} = 4.04$, $SD = 0.49$) เนื่องจากการบรรยายในส่วนของการใช้สำเนียงที่ยังไม่ดีเท่าที่ควร จึงทำให้ผลการประเมินในหัวข้อเสียงบรรยาย/ประกอบ มีค่าเฉลี่ยน้อยสุด ผู้วิจัยได้นำข้อเสนอแนะและผลการประเมินไปปรับปรุงเพื่อให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น โดยผลการประเมินด้านคุณภาพด้านเนื้อหา อยู่ในระดับดีมาก สอดคล้องกับงานวิจัยของ สุริดา และคณะ (2566) ที่มีผลการประเมินคุณภาพด้านเนื้อหาอยู่ในระดับดีมาก ผลการประเมินคุณภาพด้านเสียงบรรยาย/ประกอบ อยู่ในระดับดี สอดคล้องกับงานวิจัยของ สุชารัตน์ และณัฐพงษ์ (2564) ที่มีผลประเมินคุณภาพด้านเสียงบรรยายประกอบ อยู่ในระดับมาก

และมีผลการประเมินคุณภาพด้านเทคนิคอยู่ในระดับดี สอดคล้องกับงานวิจัยของ นาทยา และคณะ (2564) ที่มีผลการประเมินคุณภาพด้านเทคนิคอยู่ในระดับดี

3. ผลการประเมินความพึงพอใจของสื่อโมชันอินโฟกราฟิกเพื่อให้ความรู้เรื่องเบาหวานระยะสงบ

คณะผู้วิจัยได้นำสื่อโมชันอินโฟกราฟิกไปทำการเปิดให้กับผู้รับบริการคลินิกเบาหวานในโรงพยาบาลได้รับชมดังภาพที่ 5 และทำการประเมินความพึงพอใจที่มีต่อสื่อ จำนวน 30 คน โดยมีผลการประเมินตามตารางที่ 2



ภาพที่ 5 การนำสื่อโมชันอินโฟกราฟิกเพื่อให้ความรู้เรื่องเบาหวานระยะสงบไปเผยแพร่

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเลขคณิตกับเกณฑ์ที่ตั้งไว้ของความพึงพอใจของสื่อโมชันอินโฟกราฟิกเพื่อให้ความรู้เรื่องเบาหวานระยะสงบ

รายการ	$\bar{x}$	SD	แปลผล
1. ด้านเนื้อหา			
1.1 อธิบายเนื้อหาเข้าใจง่าย	4.66	0.48	มากที่สุด
1.2 มีความถูกต้อง มีความสมบูรณ์ น่าเชื่อถือ	4.55	0.51	มากที่สุด
1.3 ภาพประกอบ/ภาพกราฟิกสื่อสารความหมายได้ตรงกับเนื้อหา	4.50	0.61	มากที่สุด
ภาพรวมด้านเนื้อหา	4.57	0.53	มากที่สุด
2. ด้านรูปแบบ			
2.1 ความเหมาะสมของรูปแบบ และขนาดตัวอักษร	4.50	0.61	มากที่สุด
2.2 ความเหมาะสมของภาพ สี และเสียงประกอบ	4.44	0.61	มาก
2.3 การออกแบบกราฟิกมีความสวยงาม	4.38	0.69	มาก
ภาพรวมด้านรูปแบบ	4.44	0.64	มาก
3. ด้านเสียงบรรยาย			
3.1 จังหวะในการพูดบรรยาย	4.61	0.50	มากที่สุด
3.2 ใช้น้ำเสียงเข้าใจง่าย	4.55	0.51	มากที่สุด
3.3 ความกระชับในการใช้คำพูด	4.66	0.48	มากที่สุด
ภาพรวมด้านเสียงบรรยาย	4.60	0.49	มากที่สุด
4. ด้านความรู้ ความเข้าใจและการนำไปใช้			
4.1 เมื่อชมสื่อโมชันอินโฟกราฟิก และเกิดความเข้าใจไม่ซับซ้อน	4.61	0.50	มากที่สุด

รายการ	$\bar{X}$	SD	แปลผล
4.2 ได้รับความรู้เรื่อง โรคเบาหวานระยะสงบ	4.50	0.51	มากที่สุด
4.3 สามารถนำสิ่งที่ได้รับจากการชมสื่อโมชันอินโฟกราฟิก เพื่อให้ความรู้เรื่องเบาหวานระยะสงบ ไปใช้ในชีวิตประจำวัน ได้	4.72	0.57	มากที่สุด
ภาพรวมด้านความรู้ความเข้าใจและการนำไปใช้	4.61	0.52	มากที่สุด
ภาพรวม	4.56	0.55	มากที่สุด

จากตารางที่ 2 พบว่า ผลการประเมินความพึงพอใจของสื่อโมชันอินโฟกราฟิกเพื่อให้ความรู้เรื่องเบาหวานระยะสงบ มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.56$, $SD = 0.55$) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้านพบว่าด้านที่มีความพึงพอใจมากที่สุด ได้แก่ ด้านความรู้ ความเข้าใจและการนำไปใช้ มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.61$, $SD = 0.52$) รองลงมาได้แก่ ด้านเสียงบรรยาย มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.60$, $SD = 0.49$) และด้านที่มีความพึงพอใจน้อยที่สุด คือ ด้านรูปแบบ มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.44$, $SD = 0.64$) สอดคล้องกับงานวิจัยของ สุธิดา และคณะ (2566) ที่มีผลการประเมินความพึงพอใจต่อผู้ใช้งานอยู่ในระดับดีมาก แต่ไม่สอดคล้องกับงานวิจัยของ นรุตม์ และคณะ (2565) ที่มีผลการประเมินความพึงพอใจอยู่ในระดับดี จากผลการประเมินความพึงพอใจเห็นได้ว่า การนำสื่อโมชันอินโฟกราฟิกมาใช้ในการสร้างการรับรู้ให้แก่ผู้รับชมสื่อ ช่วยให้ผู้รับชมสื่อสามารถเรียนรู้ด้วยตัวเองได้

สรุปผลการวิจัย

การสร้างสื่อโมชันอินโฟกราฟิกเพื่อให้ความรู้เรื่องเบาหวานระยะสงบ เป็นการนำเสนอข้อมูลที่ให้ความรู้ในการดูแลตนเองในเรื่องของโรคเบาหวานให้อยู่ในระยะสงบป้องกันการเสียชีวิตก่อนวัยอันควร โดยมีระยะเวลาในการนำเสนอที่ไม่ยาวจนเกินไป ทำให้การเล่าเรื่องมีความน่าสนใจ และสามารถนำสิ่งที่ได้รับจากการชมสื่อโมชันอินโฟกราฟิกเพื่อให้ความรู้เรื่องเบาหวานระยะสงบ ไปใช้ในชีวิตประจำวันได้เพื่อการดูแลตนเองให้ปลอดภัยจากภาวะแทรกซ้อนของโรคเบาหวานได้

ผลการประเมินคุณภาพของสื่อโมชันอินโฟกราฟิกที่ประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ ภาพรวมอยู่ในระดับคุณภาพดี ($\bar{X} = 4.30$, $SD = 0.54$) และได้นำสื่อไปใช้กับกลุ่มตัวอย่างซึ่งเป็นผู้เข้ารับบริการคลินิกเบาหวาน โดยมีความพึงพอใจในภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.56$, $SD = 0.55$) ในการสร้างสื่อนำเสนอด้วยรูปแบบของสื่อโมชันอินโฟกราฟิกนั้น เป็นการนำเสนอที่มีความเรียบง่าย ชัดเจน เข้าใจได้ง่ายกว่าการนำเสนอด้วยข้อมูล

ข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษางานวิจัย ควรมีการพัฒนาสื่อในรูปแบบอื่น ๆ เช่น ในรูปแบบการ์ตูนสั้นเพื่อให้เข้ากับยุคการเรียนรู้แบบ Micro Learning การพัฒนาเป็นแอปพลิเคชันให้ความรู้เกี่ยวกับโรคเบาหวาน การพัฒนาในรูปแบบเกม หรือในลักษณะของงานด้าน 3 มิติ เพื่อให้การจัดทำสื่อในครั้งถัดไปสามารถให้ความรู้ และเพิ่มประสิทธิภาพให้เพิ่มสูงขึ้น อีกทั้งยังสามารถเข้าถึงกลุ่มคนได้ทุกเพศ ทุกวัย

เอกสารอ้างอิง

กรมประชาสัมพันธ์. (2568). ผู้มีอิทธิพลกับสื่อ : การสร้างภาพลักษณ์และควบคุมข้อมูล.

ค้นจาก <https://www.prd.go.th/th/content/category/detail/id/31/iid/377898>.

กัลยา วานิชย์บัญชา. (2560). การวิเคราะห์สถิติขั้นสูงด้วย SPSS for window. (พิมพ์ครั้งที่ 12). กรุงเทพฯ: สามลดา.

กิริติ ศิริทองเทศ, ทิฆาย แก้ววงศ์ และกิริศักดิ์ พะยะ. (2567). การพัฒนาสื่อโมชันอินโฟกราฟิก เรื่องโควิด-19.

วารสาร มรภ.ภพ. วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี, 3(1), 81-100.

ชยามร กลัดทรัพย์ และนันทน์ เรืองฤทธิ์. (2563). ผลการใช้โมชันอินโฟกราฟิกพร้อมกับการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐาน เรื่อง ภูมิศาสตร์ที่มีผลต่อความสามารถในการคิดวิเคราะห์และความสามารถในการทำงานร่วมกันของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนนารีวิทยา ราชบุรี. วารสารสิรินธรปริทรรศน์, 2(23), 65-74.

ธัญญพิชชา อมรสิริรุ่งเรือง, อวิรุทธิ์ เจริญทรัพย์ และชัยพร พานิชรุทติวงศ์. (2563). แอนิเมชันอินโฟกราฟิกในรูปแบบ 2 มิติ เพื่อให้รู้ถึงวิธีป้องกันภัยร้ายยุ่งลาย. ใน รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยรังสิต ประจำปี 2563 (หน้า 535-544). ปทุมธานี: มหาวิทยาลัยรังสิต.

นรุตม์ กลัดสำเนียง, อวิรุทธิ์ เจริญทรัพย์, และชัยพร พานิชรุทติวงศ์. (2565). การออกแบบสื่อแอนิเมชัน 3 มิติ เพื่อให้ผู้ปกครองตระหนักถึงผลเสียจากการเลี้ยงดูบุตรด้วยความเข้มงวดจนเกินไป. ใน: รายงานสืบเนื่องจากการประชุมการนำเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 17 ปีการศึกษา 2565 (หน้า 138 – 148). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย.

นาคยา ร่วมสมัคร, อมินา ฉายสุวรรณ และชุมพล จันทรฉลอง. (2564). การศึกษาคุณภาพและความพึงพอใจของการดูแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่องผลไม้มีพิษจรรยา. วารสารวิจัยและนวัตกรรมทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2(3), 14 – 24.

บุญชม ศรีสะอาด. (2560). การวิจัยเบื้องต้น ฉบับปรับปรุงใหม่ (พิมพ์ครั้งที่ 10). กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาส์น.

ราชวิทยาลัยแพทย์เวชศาสตร์ครอบครัวแห่งประเทศไทย. (2565). แนวทางการดูแลผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 ให้เข้าสู่โรคเบาหวานระยะสงบ ด้วยการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมอย่างเข้มงวด สำหรับบุคลากรทางการแพทย์และสาธารณสุข. ค้นจาก https://thaifammed.org/academic_work/ebookdm/

เรียงดาว ทเวชาติ, และภูษิต ปุณัณรัมย์. (2567). บทบาทของสื่อโซเชียลมีเดียในการสร้างและเปลี่ยนแปลงความคิดเห็นสาธารณะ. วารสารกวีานพะเยา, 1(6), 28-38.

ศุภชัย แซ่ฉิน, และ แพรตะวัน จารุตัน. (2565). การพัฒนาการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ เรื่องการผลิตฉนวนกันความร้อน. วารสารวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย, 2(1), 12 – 23.

สุชาร์ตัน จันทาพูนธยาน์, และณัฐพงษ์ บุญมี. (2564). สื่อโมชันอินโฟกราฟิกเสริมความรู้ เรื่อง การป้องกันโรคอาร์เอสวี. วารสารแม่ใจ เทคโนโลยีสารสนเทศและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยแม่ใจ, 7(2), 1 – 11.

สุทธิพงษ์ คล่องดี, และนลินี ชนะมูล. (2564). การพัฒนาสื่อโมชันอินโฟกราฟิก แนะนำสถานที่ท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ชุมชนชนมแปลกริม คลองหนองบัว จังหวัดจันทบุรี. วารสารวิชาการการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ, 7(2), 75 – 83.

สุธิดา อนุญาหงษ์, ณพน บาทขารี, วิชชุดา ภาโสเม และแพรตะวัน จารุตัน. (2566). การพัฒนาสื่อการเรียนรู้แอนิเมชัน 3 มิติ ในหัวข้อเรื่อง การผลิตแผ่นฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยกกสามเหลี่ยม. วารสารวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย, 3(1), 32 – 44.

องค์การอนามัยโลก. (2567). โรคเบาหวาน. ค้นจาก <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/diabetes>

Serhat K. (2024). Mayer's Principles of Multimedia Learning.

Retrieved from <https://educationaltechnology.net/mayers-principles-of-multimedia-learning/>.

การพัฒนาระบบบริหารจัดการห้องอาหารบัวขาว

ศูนย์ฝึกประสบการณ์วิชาชีพ

Development of Buakhao Restaurant Management System at the Professional Experience Training Center

ดาวรดา วีระพันธ์ นวรัตน์ อาสนะ และ ณัฐรดี อนุนพงศ์*

Daorathar Weerapan Nawarat Asana and Natradee Anupong*

สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏเลยออลกรณ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี 13180

Program of Computer Science, Faculty of Science and Technology,

Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage, Pathum Thani Province, 13180

* Corresponding author E-mail: natradee@vru.ac.th

Received 14 August 2025, Accepted 18 February 2026, Published 18 March 2026

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบบริหารจัดการห้องอาหารบัวขาว ศูนย์ฝึกประสบการณ์วิชาชีพให้มีประสิทธิภาพ และประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบ ระบบเดิมของห้องอาหารใช้วิธีการสั่งอาหารผ่านพนักงานหรือโทรศัพท์ ทำให้เกิดความล่าช้า ความผิดพลาดในการสื่อสาร และขาดข้อมูลที่เป็นระบบสำหรับการบริหารจัดการ จึงได้พัฒนาระบบโดยดำเนินการตามวงจรการพัฒนาระบบแบบ SDLC ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การวางแผนโครงการ 2) การวิเคราะห์ระบบ 3) การออกแบบ 4) การนำไปใช้ และ 5) การบำรุงรักษาระบบ ระบบถูกพัฒนาขึ้นโดยใช้ PHP และ jQuery ร่วมกับ MySQL กลุ่มตัวอย่างแบ่งเป็นสองกลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 ผู้ให้ข้อมูลสำคัญ ได้แก่ หัวหน้างาน และพนักงานบริการห้องอาหารบัวขาวจำนวน 5 คน และกลุ่มที่ 2 ลูกค้ายหรือผู้ที่เคยใช้บริการห้องอาหารบัวขาวจำนวน 20 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ แบบประเมินประสิทธิภาพระบบ และแบบสอบถามความพึงพอใจ วิเคราะห์ข้อมูลด้วยค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิจัยพบว่าระบบที่พัฒนามีการกำหนดบทบาทของผู้ใช้งานหลักออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ ลูกค้าย พนักงานรับออเดอร์ พนักงานครัว และผู้จัดการ ลูกค้ายสามารถสั่งอาหารและชำระเงินผ่านระบบ ลดเวลารอคอย พนักงานสามารถจัดการข้อมูลอาหาร ข้อมูลการชำระเงิน ทั้งยังสามารถจัดเก็บข้อมูลการขาย และสรุปรายงาน ระบบช่วยสร้างความสะดวกในการบริการลูกค้าย ลดปัญหาข้อผิดพลาดในการสั่งอาหาร ผลการประเมินประสิทธิภาพอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.42, SD=0.64) และผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานอยู่ในระดับดี ($\bar{x}$ = 4.59, SD=0.54)

คำสำคัญ: การพัฒนาระบบ ระบบบริหารจัดการห้องอาหาร วงจรการพัฒนาระบบ

ABSTRACT

This research aimed to design and develop an efficient management system for Buakhao Restaurant at the Professional Experience Training Center and to evaluate user satisfaction with the developed system. The previous system relied on placing orders through staff or by phone, which caused delays, communication errors, and lack of systematic data for management. The system was developed following the System Development Life Cycle (SDLC), consisting of five stages: project planning, system analysis, design, implementation, and maintenance. The system was developed using PHP, jQuery, and MySQL. The key informants included five restaurant manager and staff and 20 customers. The research instruments included a system efficiency evaluation form and a user satisfaction questionnaire. Data were analyzed using mean and standard deviation. The results indicated that the developed system defined four main users roles: customers, order staff, kitchen staff, and managers. Customers can place orders and make payments independently through the system, reducing waiting times. Restaurant staff can manage food data, payments, store sales records, and generate reports. The system improved service efficiency and reduced order errors. The system's efficiency was rated at a high level ($\bar{x} = 4.42$, $SD = 0.64$), and user satisfaction was rated at a very high level ($\bar{x} = 4.59$, $SD = 0.54$).

Keywords: System Development, Restaurant Management System, System Development Life Cycle

บทนำ

ในยุคดิจิทัลปัจจุบัน เทคโนโลยีมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาระบบดิจิทัลที่ตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้และสังคม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านเศรษฐกิจการแบ่งปัน (Sharing Economy) เป็นสังคมที่เทคโนโลยีดิจิทัลช่วยให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างผู้ให้บริการและผู้ใช้บริการอย่างมีประสิทธิภาพ ไม่ว่าจะเป็น การพัฒนาระบบดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจแบ่งปันในประเทศไทย ซึ่งมีการนำเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารมาประยุกต์ใช้ในการสร้างระบบที่สามารถเชื่อมโยงผู้ให้บริการและผู้ใช้บริการได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้เกิดการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าและลดต้นทุนในการดำเนินงาน ลดความซ้ำซ้อน และข้อผิดพลาดต่าง ๆ ทำให้ลดการรอคอยและใช้งานได้สะดวกทั้งผู้รับบริการและผู้ให้บริการ (โชคธำรง, 2566) นอกจากนี้ เทคโนโลยียังมีบทบาทในการสร้างสรรค์สื่อดิจิทัลบนเครือข่ายสังคมออนไลน์ ซึ่งเป็นช่องทางสำคัญในการสื่อสารและเผยแพร่ข้อมูลในยุคปัจจุบัน การใช้เทคโนโลยีช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้เกิดการแลกเปลี่ยนข้อมูลและความรู้ในวงกว้าง ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการพัฒนาระบบดิจิทัลที่ตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้ในยุคดิจิทัล ทินวงษ์ และคณะ (2567) เสนอว่า สื่อดิจิทัลบนเครือข่ายสังคมออนไลน์สามารถตอบโจทย์ผู้ใช้งานและตรงตามความต้องการของผู้ใช้งาน โดยสามารถแสดงผลสื่อประเภทต่าง ๆ ได้แก่ ข้อมูลภาพประกอบ เสียง และคลิปวิดีโอ และ ธนาภรณ์ (2567) กล่าวว่า เทคโนโลยีมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาระบบสารสนเทศ ซึ่งเป็นกระบวนการในการนำเอาคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการจัดการข้อมูลเพื่อให้มาซึ่งสารสนเทศที่สามารถนำไปประโยชน์ในการทำงาน ใช้เป็นเครื่องมือที่ช่วยให้ความแม่นยำถูกต้อง และทำงานได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งการพัฒนาระบบเทคโนโลยีสารสนเทศ เป็นการปรับเปลี่ยนระบบงานเดิมที่มีอยู่แล้วให้สามารถทำงาน แก้ปัญหาการดำเนินงานเดิมให้ทำงานได้ตามความต้องการของผู้ใช้งาน โดยช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและประสิทธิผลของกระบวนการทำงานในองค์กรต่าง ๆ นอกจากนี้ยังช่วยลดความซ้ำซ้อนของข้อมูล และเพิ่มความสามารถในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อการตัดสินใจที่มีประสิทธิภาพ การใช้เทคโนโลยีในการพัฒนาระบบยังช่วยลดต้นทุนในการดำเนินงาน และเพิ่มความสามารถในการแข่งขันขององค์กรในตลาดที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว

จากประสบการณ์ตรงของผู้วิจัยที่ได้ใช้บริการห้องอาหารอย่างต่อเนื่อง ทั้งในรูปแบบการให้บริการในห้องอาหาร และการสั่งอาหารผ่านโทรศัพท์พบว่า ระบบงานเดิมของห้องอาหารบัวขาวศูนย์ฝึกประสบการณ์วิชาชีพ มหาวิทยาลัยราชภัฏเลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี ยังคงใช้วิธีการบริหารจัดการแบบดั้งเดิม โดยอาศัยการสั่งอาหารผ่านพนักงานโดยตรงเปิดเมนูในการเลือก และจดอาหารใส่กระดาษ โดยยังไม่มีเมื่อนำเทคโนโลยีสารสนเทศหรือระบบคอมพิวเตอร์มาใช้นับสนุนการทำงาน ส่งผลให้เกิดปัญหาในหลายด้าน เช่น ความล่าช้าในการให้บริการ ความผิดพลาดในการรับออเดอร์หรือส่งต่อข้อมูลระหว่างพนักงานกับห้องครัว ขาดข้อมูลที่เป็นระบบสำหรับการบริหารจัดการ เช่น การสรุปยอดขาย การควบคุมสต็อกวัตถุดิบ และการประเมินคุณภาพการให้บริการ รวมถึงขั้นตอนการชำระเงินที่ยังต้องดำเนินการด้วยเงินสดหรือผ่านพนักงาน ซึ่งอาจใช้เวลานาน และเพิ่มภาระงานให้แก่พนักงานอีกด้วย ปัญหาเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อประสบการณ์ของลูกค้าและประสิทธิภาพการให้บริการและการจัดการของห้องอาหาร ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการออกแบบและพัฒนาระบบบริหารจัดการห้องอาหาร โดยนำแนวคิดวงจรการพัฒนาแบบ (System Development Life Cycle: SDLC) มาใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาระบบ ช่วยให้การพัฒนาเป็นไปอย่างมีระเบียบและมีประสิทธิภาพ โดยแบ่งกระบวนการออกเป็นขั้นตอนที่ชัดเจน โดยเริ่มตั้งแต่ การวิเคราะห์ความต้องการ การออกแบบ การพัฒนา การทดสอบ การนำไปใช้งาน และการบำรุงรักษา ซึ่งช่วยลดความเสี่ยงและความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอน Pargaonkar (2023) การใช้ SDLC ยังช่วยในการวางแผนและควบคุมคุณภาพของระบบ ทำให้สามารถติดตามและตรวจสอบความก้าวหน้าได้ง่ายขึ้น และสามารถปรับปรุงหรือขยายระบบ ในอนาคตได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตรงกับการศึกษาของ นิภาพร และคณะ (2567) ได้นำวงจรการพัฒนา SDLC มาเป็นแนวทางการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการกองทุนสหกรณ์ข้าวหมู่บ้านดอนขาว ตำบลช้างมิ่ง อำเภอพรรณานิคม จังหวัดสกลนคร พบว่า ระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการกองทุนสหกรณ์ข้าวหมู่บ้านดอนขาว สามารถใช้งานได้ ช่วยให้การทำงานของกองทุนมีประสิทธิภาพมากขึ้น มีการจัดเก็บ ค้นหา และรายงานข้อมูลกองทุนสหกรณ์ข้าวที่สะดวกและรวดเร็วช่วยลดปัญหาการสูญหายของข้อมูล มีระบบการยืม-คืน ของสมาชิกกองทุนสหกรณ์ข้าวที่สะดวกมากขึ้น โดยการรวบรวมข้อมูลและศึกษาความต้องการของระบบงานใหม่ โดยผู้วิจัยได้รวบรวมความต้องการในด้านต่าง ๆ เพื่อแก้ปัญหาของระบบงานเดิม และนำไปเป็นแนวทางในการวิเคราะห์ความต้องการของระบบ แนวความคิดของระบบงานใหม่จะมีการนำเทคโนโลยีสารสนเทศเข้ามาช่วยบริหารจัดการห้องอาหารบัวขาวอย่างมีประสิทธิภาพ ลูกค้าที่เข้ามาใช้บริการสามารถสั่งอาหารและชำระเงินผ่านระบบออนไลน์ เพื่อเพิ่มความแม่นยำและลดเวลารอคอย ทั้งยังสามารถจัดเก็บข้อมูลการขายอย่างเป็นระบบ ซึ่งจะช่วยลดข้อผิดพลาดจากการทำงานแบบเดิม เพิ่มความสะดวกในการให้บริการ ตลอดจนเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการโดยรวมของห้องอาหาร ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบบริหารจัดการห้องอาหารบัวขาวศูนย์ฝึกประสบการณ์วิชาชีพให้มีประสิทธิภาพ และประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบ

วิธีการวิจัย

ในการพัฒนาระบบบริหารจัดการห้องอาหารบัวขาว ศูนย์ฝึกประสบการณ์วิชาชีพ ผู้วิจัยดำเนินการวิจัย ดังนี้

1. กลุ่มตัวอย่าง กลุ่มที่ 1 ผู้ให้ข้อมูลสำคัญ ได้แก่หัวหน้างาน และพนักงานบริการห้องอาหารบัวขาวจำนวน 5 คน ได้มาโดยเลือกแบบเจาะจง และกลุ่มที่ 2 ลูกค้าหรือผู้ที่เคยใช้บริการห้องอาหารบัวขาว จำนวน 20 คน ได้มาโดยการสุ่มแบบบังเอิญ รวมทั้งหมด 25 คน

2. การสร้างเครื่องมือและหาคุณภาพที่ใช้ในการวิจัย

2.1 การพัฒนาระบบบริหารจัดการห้องอาหารบัวขาว ศูนย์ฝึกประสบการณ์วิชาชีพ ดำเนินงานตามวงจรการพัฒนาแบบ SDLC ตามแนวทางของ (โอภาส, 2560) ประกอบด้วย 5 ระยะ การดำเนินงานเริ่มจาก ระยะที่ 1 การวางแผนโครงการ ระยะที่ 2 การวิเคราะห์ ระยะที่ 3 ออกแบบ ระยะที่ 4 การนำไปใช้ และ ระยะที่ 5 การบำรุงรักษา

ระยะที่ 1 วางแผนโครงการ (Project Planning Phase) วางแผนในการดำเนินโครงการพัฒนาระบบกำหนดระยะเวลาและกิจกรรมต่าง ๆ รวมถึงศึกษาความเป็นไปได้ของขอบเขตการวิจัย จัดตั้งทีมงาน วางแผนแบ่งหน้าที่รับผิดชอบในการดำเนินโครงการ วางแผนทรัพยากรที่จำเป็น บุคลากรทีมวิจัย งบประมาณ ระยะเวลา และเครื่องมือที่ใช้พัฒนา รวมถึงจัดทำแผนดำเนินงานอย่างเป็นขั้นตอน เพื่อให้การพัฒนาระบบสามารถดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิภาพและเป็นไปตามแผนที่กำหนดไว้

ระยะที่ 2 การวิเคราะห์ (Analysis Phase) เป็นการศึกษาและทำความเข้าใจในความต้องการต่าง ๆ ที่ได้รวบรวมมา โดยการรวบรวมความต้องการต่าง ๆ เพื่อวิเคราะห์ประเมินถึงระบบใหม่ที่จะพัฒนา โดยผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ระบบงานปัจจุบัน รวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบสัมภาษณ์ จากกลุ่มผู้ให้ข้อมูลสำคัญได้แก่หัวหน้างาน และพนักงานบริการห้องอาหารบัวขาวจำนวน 5 คน จากนั้นนำข้อมูลจากการสัมภาษณ์สรุปประเด็นโดยการวิเคราะห์เนื้อหา ดำเนินการจัดแบ่งประเภทของข้อมูลตามวัตถุประสงค์ ทำการวิเคราะห์ข้อมูลและตรวจสอบกับข้อมูลที่ได้จากแหล่งอื่น ๆ

สรุปได้ว่าระบบงานเดิมห้องอาหารบัวขาว ระบบเดิมเป็นการสั่งอาหารผ่านพนักงานโดยตรง อาหารเลือกจากเมนูและจดอาหารใส่กระดาษ ในลูกค้าบางรายมีการสั่งอาหารผ่านโทรศัพท์ ห้องอาหารยังไม่มีการนำเทคโนโลยีสารสนเทศหรือระบบคอมพิวเตอร์มาใช้สนับสนุนการทำงาน ส่งผลให้เกิดปัญหาในหลายด้าน เช่น ทำให้เกิดความล่าช้าในการบริการและความผิดพลาดในการสื่อสาร ความผิดพลาดในการรับออเดอร์หรือส่งต่อข้อมูลระหว่างพนักงานกับห้องครัว รวมถึงการจัดการอื่น ๆ ไม่มีการนำเทคโนโลยีสารสนเทศมาสนับสนุนทำให้ขาดข้อมูลที่เป็นระบบสำหรับการบริหารจัดการ

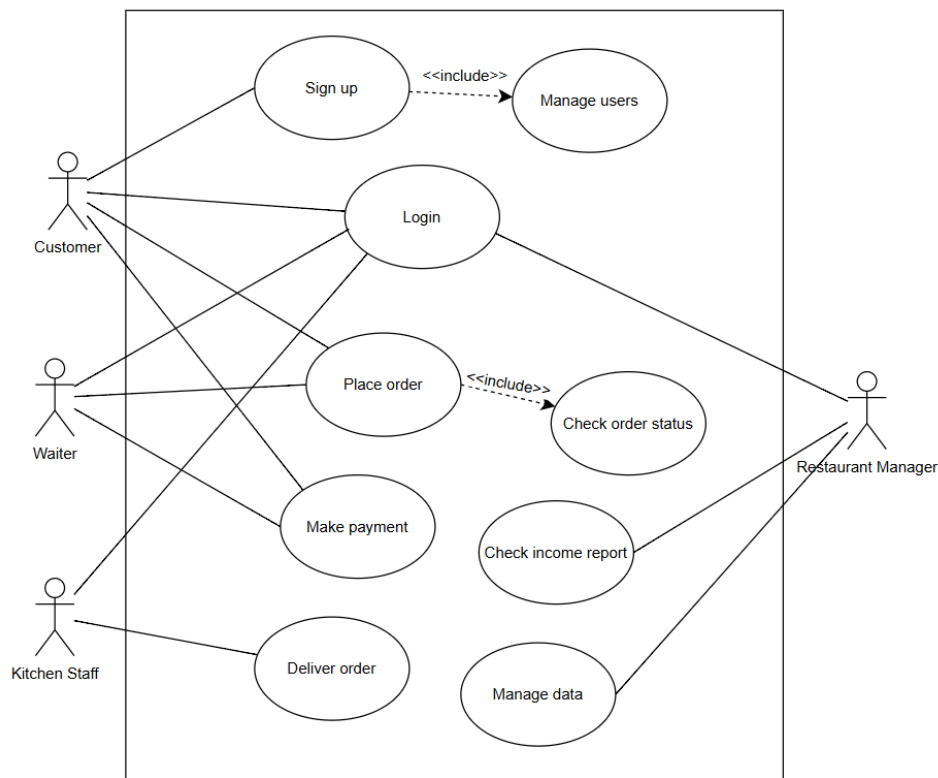
การรวบรวมข้อมูลและศึกษาความต้องการของระบบงานใหม่ ผู้วิจัยได้รวบรวมความต้องการในด้านต่าง ๆ เพื่อแก้ปัญหาของระบบงานเดิม และนำไปเป็นแนวทางในการวิเคราะห์ความต้องการของระบบ แนวความคิดของระบบงานใหม่จะมีการนำเทคโนโลยีสารสนเทศเข้ามาช่วยบริหารจัดการห้องอาหารบัวขาวอย่างมีประสิทธิภาพ โดยพัฒนาระบบที่สามารถให้ลูกค้าเลือกเมนูผ่านระบบ สามารถสั่งอาหารและชำระเงินผ่านระบบออนไลน์ ข้อมูลการสั่งอาหารจะถูกส่งเข้าสู่ระบบครัวโดยอัตโนมัติ เพื่อเพิ่มความแม่นยำและลดเวลารอคอย ทั้งยังสามารถจัดเก็บข้อมูลการขาย อย่างเป็นระบบ ซึ่งจะช่วยลดข้อผิดพลาดจากการทำงานแบบเดิม เพิ่มความสะดวกในการให้บริการ ตลอดจนเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการโดยรวมของห้องอาหาร ตารางเปรียบเทียบระบบงานเดิมกับระบบใหม่ของห้องอาหารบัวขาว แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบระบบงานเดิมกับระบบใหม่ของห้องอาหารบัวขาว

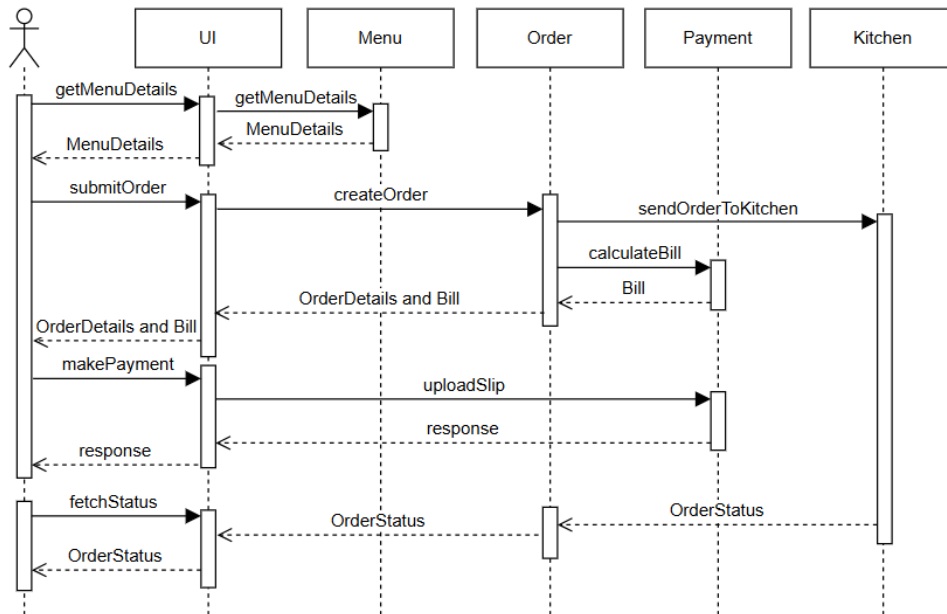
ลำดับ	ขั้นตอน	ระบบงานเดิม	ระบบที่พัฒนาใหม่	ประโยชน์ที่ได้รับจากระบบใหม่
1.	ลูกค้าเข้าร้าน	เข้าร้านและรอพนักงาน	ลูกค้าเข้าร้านเข้าสู่ระบบเพื่อสั่งอาหาร	ลดเวลารอพนักงานเริ่มใช้งานได้ทันที
2.	การดูเมนู	เมนูกระดาษ มีภาพอาหารและราคาประกอบ	เมนูแสดงผ่านหน้าจอ/อุปกรณ์สมาร์ตโฟน พร้อมภาพและรายละเอียด	ตัดสินใจง่าย น่าสนใจ ลดการสัมผัส
3.	การสั่งอาหาร	พนักงานจดออเดอร์ด้วยลายมือ	ลูกค้าสั่งอาหารผ่านระบบ	ลดความผิดพลาดจากการจดออเดอร์ผิด
4.	การส่งออเดอร์	ส่งออเดอร์ด้วยมือให้ครัว	ระบบส่งข้อมูลเข้าครัวโดยอัตโนมัติ	รวดเร็ว แม่นยำ ลดภาระพนักงาน
5.	การเตรียมอาหาร	ทำตามออเดอร์ที่เขียน	ทำตามข้อมูลที่ระบบส่งมา	ลดข้อผิดพลาด บริหารเวลาได้ดีขึ้น
6.	การเสิร์ฟอาหาร	พนักงานเสิร์ฟตามออเดอร์	พนักงานเสิร์ฟตามระบบที่ลูกค้าสั่งในระบบ	จัดลำดับการเสิร์ฟได้ชัดเจน

ลำดับ	ขั้นตอน	ระบบงานเดิม	ระบบที่พัฒนาใหม่	ประโยชน์ที่ได้รับจากระบบใหม่
7.	การชำระเงิน	รับเงินสดโดยพนักงาน พนักงานจัดการการชำระเงิน (เงินสด/บันทึกเอง)	ลูกค้าชำระผ่านระบบ (QR Code)	ลดผิดพลาดในการคิดเงิน
8.	การจัดเก็บข้อมูล	ไม่มีข้อมูลเก็บเป็นระบบ	ระบบบันทึกยอดขาย	ช่วยวิเคราะห์และบริหารจัดการได้ดีขึ้น

หลังจากที่ได้เก็บรวบรวมข้อมูลมาแล้ว ผู้วิจัยทำการศึกษาความเป็นไปได้เพื่อสรุปข้อกำหนดความต้องการ วิเคราะห์ในรายละเอียด เพื่อทำการสร้างแบบจำลองของกระบวนการใหม่ จากกระบวนการความต้องการของระบบงานใหม่ นำไปเขียนแผนภาพกรณีการใช้งาน (Use Case Diagram) แสดงดังภาพที่ 1 และเขียนแผนภาพลำดับ (Sequence Diagram) แสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 1 แสดงแผนภาพกรณีการใช้งาน (Use Case Diagram)



ภาพที่ 2 แสดงแผนภาพลำดับ (Sequence Diagram)

ระยะที่ 3 การออกแบบ (Design Phase) เป็นการนำแบบจำลองเชิงตรรกะที่ถูกสร้างขึ้นจากกระบวนการวิเคราะห์ มาสร้างเป็นแบบจำลองเชิงกายภาพเพื่อนำไปสู่การออกแบบของระบบ ออกแบบสถาปัตยกรรมการทำงาน รวมถึง การออกแบบอินเตอร์เฟซ ที่เกี่ยวข้องกับการปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้ใช้งานกับระบบ รวมถึงฟอร์มและรายงานต่าง ๆ ออกแบบ ฐานข้อมูล เพื่อให้ทราบว่าการระบบต้องมีข้อมูลอะไรบ้างที่ต้องจัดเก็บในฐานข้อมูล ออกแบบอินพุต เอาต์พุต ออกแบบโปรแกรม เพื่อนำไปสู่การเขียนโปรแกรมด้วยคอมพิวเตอร์ในระหว่างการนำไปใช้ต่อไป

อีกทั้ง ในการพัฒนาระบบมีการให้ความสำคัญกับการออกแบบการรักษาความปลอดภัยของข้อมูล และการเข้าถึงระบบ โดยมีการกำหนดสิทธิ์ผู้ใช้งานและการตรวจสอบสิทธิ์การเข้าระบบด้วยรหัสผ่านที่ผ่านกระบวนการ เข้ารหัส ผู้ใช้สามารถเข้าถึงระบบตามบทบาทหน้าที่ชัดเจนของตนเองเท่านั้น เพื่อป้องกันการเข้าถึงหรือแก้ไขข้อมูลในส่วนที่ไม่ได้รับอนุญาต รวมถึงมีการออกแบบความปลอดภัยของข้อมูลการชำระเงิน โดยระบบออกแบบให้ไม่มีเก็บข้อมูลสำคัญของผู้ ชำระเงิน เช่น เลขที่บัญชีหรือข้อมูลส่วนบุคคลในฐานข้อมูลของร้านอาหาร แต่การชำระเงินจะดำเนินการผ่านการสแกน QR Code ที่ให้ลูกค้าจัดการธุรกรรมผ่านแอปพลิเคชันธนาคารโดยตรง ระบบของห้องอาหารจะทำหน้าที่เพียงรับเอกสารยืนยัน และบันทึกสถานะการชำระเงินเท่านั้น ซึ่งช่วยลดความเสี่ยงจากการรั่วไหลของข้อมูลสำคัญทางการเงิน

ระยะที่ 4 การนำไปใช้ (Implementation Phase) เป็นการสร้างระบบขึ้นมาด้วยการเขียนโปรแกรม โดยเอาแนวทางจากระยะการออกแบบมาพัฒนาระบบ จากนั้นตรวจสอบความถูกต้อง และดำเนินการทดสอบระบบ การติดตั้งระบบและจัดทำเอกสารคู่มือ การทดสอบและประเมินผลการใช้งานระบบ โดยทดสอบการทำงานของระบบ ว่ามีความถูกต้องและสอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้งานหรือไม่ แบ่งเป็นการทดสอบประสิทธิภาพของระบบโดย ผู้เชี่ยวชาญและทดสอบความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบ ผู้วิจัยได้นำระบบที่พัฒนาเสร็จเรียบร้อยแล้วให้ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน ประเมินประสิทธิภาพของระบบประเมินด้วยวิธี White box (เสาวคนธ์ และคณะ, 2567) ทำการทดสอบ หาข้อผิดพลาด และทดสอบความสมบูรณ์ของโปรแกรม รวมทั้งความถูกต้องของผลลัพธ์จากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น มีการประเมินประสิทธิภาพด้านต่าง ๆ ดังนี้ 1) ด้านการทดสอบส่วนย่อย (Unit Testing) 2) ด้านการทดสอบการทำงาน

โดยการรวมระบบของโปรแกรมแต่ละส่วน(Integration Testing) 3) ด้านการทดสอบการทำงานทั้งระบบ (System Testing) จากนั้นผู้วิจัยได้ปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ ตรวจสอบความถูกต้อง จนมั่นใจว่าถูกต้องและตรงตามความต้องการที่ออกแบบระบบไว้ หากพบว่าข้อผิดพลาดเกิดขึ้นจากการทำงานของระบบก็จะมี การปรับแก้ไขให้เรียบร้อยพร้อมใช้งานก่อนนำไปติดตั้งใช้จริง ในส่วนนั้นนอกจากติดตั้งระบบใช้งานแล้ว ยังต้องมีการจัดเตรียมขั้นตอนการสนับสนุนส่งเสริมการใช้งานให้สามารถใช้งานได้อย่างสมบูรณ์ โดยจัดฝึกอบรมผู้ใช้งาน จัดทำเอกสารประกอบการใช้งานระบบ เพื่อให้ระบบสามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง

ระยะที่ 5 การบำรุงรักษาระบบ (System Maintenance) เป็นการสนับสนุนงานของผู้ใช้งานหลังจากที่ระบบได้ติดตั้งและใช้งานจริงแล้วนั้นจะมีประเมินติดตามทุก ๆ ครึ่งปี เพื่อทำการแก้ไขข้อผิดพลาดของระบบและตรวจสอบการทำงานของระบบอยู่เสมอ

3. แบบประเมินประสิทธิภาพ

การสร้างแบบประเมินประสิทธิภาพ สำหรับผู้เชี่ยวชาญผู้วิจัยได้สร้างแบบประเมินเพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบบริหารจัดการห้องอาหารบัวขาว ศูนย์ฝึกประสบการณ์วิชาชีพ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ มีขั้นตอนดังนี้

3.1 ศึกษาทฤษฎีวิธีการสร้างแบบประเมินประสิทธิภาพ จากตำรา และเอกสารที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างแบบประเมิน

3.2 กำหนดหัวข้อ และข้อคำถามให้สอดคล้องกับระบบที่จะประเมิน ผู้วิจัยสร้างแบบประเมินประสิทธิภาพของระบบโดยการประเมินด้วยวิธี White box มีการประเมินประสิทธิภาพด้านต่าง ๆ ดังนี้ 1) ด้านการทดสอบส่วนย่อย 2) ด้านการทดสอบการทำงานโดยการรวมระบบของโปรแกรมแต่ละส่วน 3) ด้านการทดสอบการทำงานทั้งระบบ สร้างเป็นมาตราส่วนประเมินค่า ใน 5 ระดับตามแนวคิดของลิเคิร์ต (Likert's Scale) โดยมีเนื้อหาครอบคลุมเกี่ยวกับแบบประเมินประสิทธิภาพด้านต่าง ๆ ซึ่งมีระดับค่าน้ำหนักคะแนนเป็น 5 4 3 2 1 ได้แก่ มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย น้อยที่สุด

3.3 การตรวจสอบ นำแบบประเมินประสิทธิภาพที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นนำเสนอผู้เชี่ยวชาญเพื่อพิจารณาตรวจสอบความเที่ยงตรงตามเนื้อหา 3 ท่าน จากนั้นนำแบบประเมินประสิทธิภาพที่ได้รับการตรวจสอบมาปรับปรุงแก้ไขผลการวิเคราะห์ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่พิจารณา พบว่าค่าดัชนีความสอดคล้องมีค่าอยู่ระหว่าง 0.66 – 1.00

4. แบบประเมินความพึงพอใจ

ผู้วิจัยร่างแบบสอบถามความพึงพอใจให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ และแนวทางที่ได้ศึกษาจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง สร้างลักษณะเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า โดยกำหนดในแต่ละข้อมีคะแนนเป็น 5 4 3 2 1 ได้แก่ มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย น้อยที่สุด จำนวน 15 ข้อ นำแบบสอบถามฉบับร่างเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ ตรวจสอบความเที่ยงตรงตามเนื้อหา 3 ท่าน ได้ค่าดัชนีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของแต่ละข้อ (Index of Item-Objective Congruence: IOC) เท่ากับ 0.82 ซึ่งทุกข้อมีค่าอยู่ระหว่าง 0.66 - 1.00 (อนูวัติ, 2560) แสดงให้เห็นว่าข้อคำถามในแบบสอบถามความพึงพอใจทุกข้อมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ จัดพิมพ์แบบสอบถามฉบับสมบูรณ์เพื่อนำไปใช้กับกลุ่มตัวอย่างในการวิจัยต่อไป

5. การเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล

ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มเป้าหมาย โดยนำระบบให้กลุ่มเป้าหมายทดลองใช้ จากนั้นให้ตอบแบบสอบถามความพึงพอใจ ทำการรวบรวมข้อมูล แล้วนำมาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

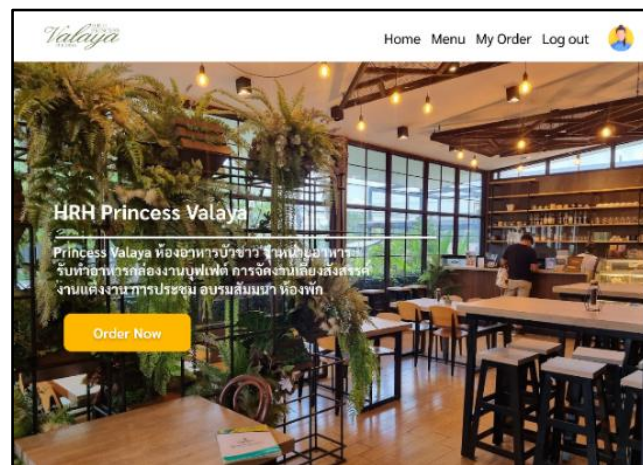
การวิเคราะห์ประสิทธิภาพและความพึงพอใจของระบบ วิเคราะห์จากแบบประเมินประสิทธิภาพโดยผู้เชี่ยวชาญและแบบประเมินความพึงพอใจโดยผู้ใช้งาน วิเคราะห์ข้อมูลโดยหาค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ซึ่งมีเกณฑ์ที่ใช้ในการแปลความหมายดังนี้ (ธานินทร์, 2563)

4.51 – 5.00	หมายถึง ระดับมากที่สุด
3.51 – 4.50	หมายถึง ระดับมาก
2.51 – 3.50	หมายถึง ระดับปานกลาง
1.51 – 2.50	หมายถึง ระดับน้อย
1.00 – 1.50	หมายถึง ระดับน้อยมาก

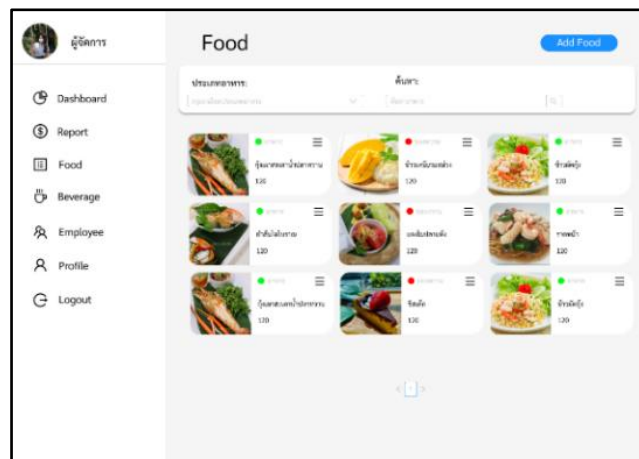
ผลการวิจัย และวิจารณ์ผลการวิจัย

ผลการวิจัย

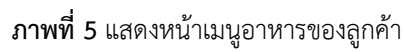
1. ผลการพัฒนาระบบบริหารจัดการห้องอาหารบัวขาว ศูนย์ฝึกประสบการณ์วิชาชีพ ระบบที่พัฒนาสามารถให้ลูกค้าเลือกเมนูผ่านสมาร์ทโฟนโดยการสแกน QR ที่โต๊ะ สามารถสั่งอาหารและชำระเงินผ่านระบบออนไลน์ ลดเวลารอคอย ทั้งยังสามารถจัดเก็บสถิติข้อมูลการขาย ช่วยลดข้อผิดพลาดจากการทำงานแบบเดิม เพิ่มความสะดวกในการให้บริการ ระบบที่พัฒนาแบ่งผู้ที่เกี่ยวข้อง ดังนี้ ลูกค้า พนักงานรับออเดอร์ พนักงานครัว และผู้จัดการ ผลการพัฒนาแสดงดังภาพที่ 3 - 10

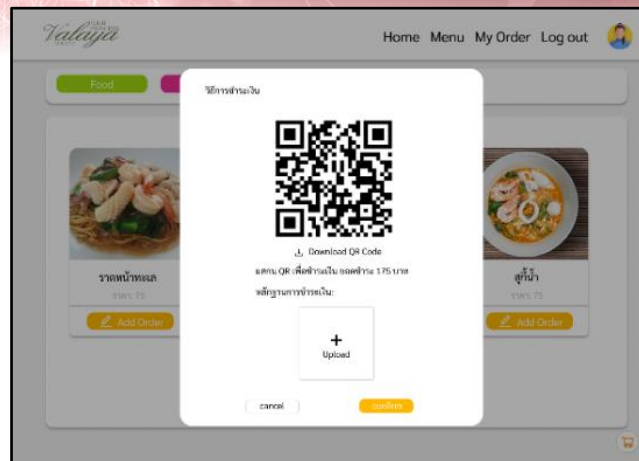


ภาพที่ 3 หน้าเข้าสู่ระบบ

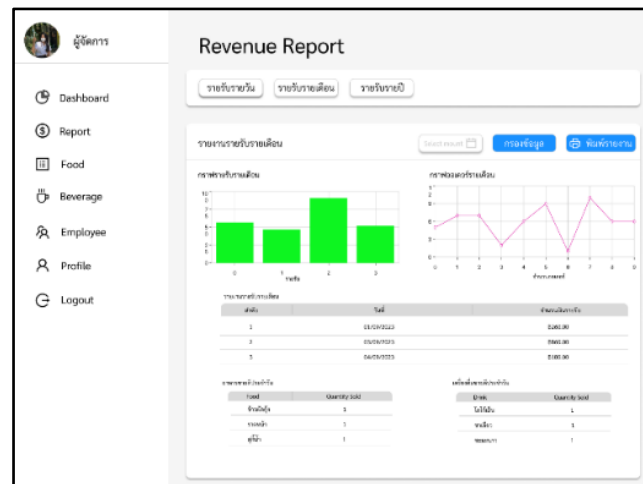


ภาพที่ 4 แสดงข้อมูลอาหาร

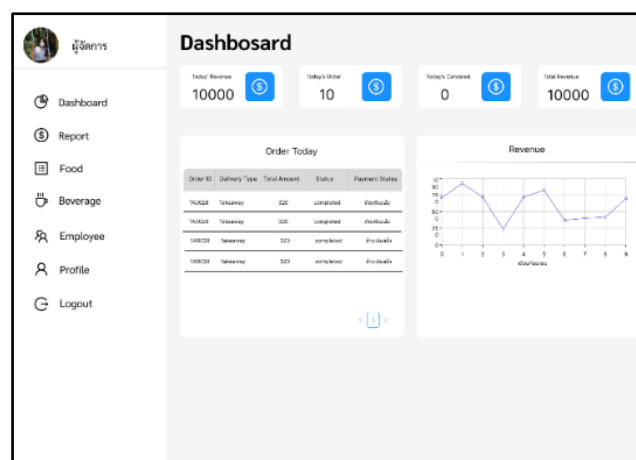




ภาพที่ 8 แสดงการชำระเงินของลูกค้า



ภาพที่ 9 แสดงรายงานรายรับรายเดือน



ภาพที่ 10 แสดงสถิติสรุปข้อมูล

ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบ พบว่า ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบอยู่ในระดับมาก ($\bar{x} = 4.42$, $SD = 0.64$) เมื่อพิจารณาการประเมินเป็นรายด้านพบว่า ด้านการทดสอบการทำงานโดยการรวมระบบของโปรแกรมแต่ละส่วน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ ($\bar{x} = 4.50$, $SD = 0.58$) อยู่ในระดับมาก ด้านการทดสอบการทำงานทั้งระบบ การประเมินภาพรวมอยู่ในระดับมากเช่นเดียวกันซึ่งค่าเฉลี่ยเท่ากับ ($\bar{x} = 4.42$, $SD = 0.68$) ส่วนด้านการทดสอบส่วนย่อย การประเมินภาพรวมอยู่ในระดับมากมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ ($\bar{x} = 4.33$, $SD = 0.58$) แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบโดยผู้เชี่ยวชาญ

รายการประเมิน	ผลการประเมิน		
	$\bar{x}$	SD	การแปลความหมาย
1) ด้านการทดสอบส่วนย่อย			
1.1 ฟังก์ชันการเลือกรายการอาหารสามารถเลือกได้ถูกต้อง และแสดงรายละเอียดครบถ้วน	4.33	0.58	ระดับมาก
1.2 ระบบจัดการข้อมูลสามารถรองรับการเพิ่ม ลบ หรือแก้ไขข้อมูลสามารถทำงานได้ถูกต้อง	4.67	0.58	ระดับมากที่สุด
1.3 ระบบการคำนวณชำระเงินมีความถูกต้องครบถ้วน และมีอัตราการผิดพลาดต่ำ	4.33	0.58	ระดับมาก
1.4 ระบบรายงานยอดขายแสดงข้อมูลตามช่วงเวลาที่ต้องการได้ถูกต้อง	4.00	1.00	ระดับมาก
ภาพรวมด้านการทดสอบส่วนย่อย	4.33	0.58	ระดับมาก
2) ด้านการทดสอบการทำงานโดยการรวมระบบของโปรแกรมแต่ละส่วน			
2.1 ระบบสามารถเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างโมดูลหลัก เช่น การสั่งอาหาร การรับออเดอร์ การชำระเงิน ได้ถูกต้อง	4.33	0.58	ระดับมาก
2.2 ระบบสามารถตอบสนองการเชื่อมต่อของโมดูลต่าง ๆ ได้ทันเวลา และมีความเสถียร	4.67	0.58	ระดับมากที่สุด
2.3 ข้อมูลที่ถูกส่งผ่านระหว่างระบบฟรอนต์เอนด์ (Frontend) และแบ็กเอนด์ (Backend) มีความถูกต้องครบถ้วน	4.33	0.58	ระดับมาก
2.4 การทำงานร่วมกันระหว่างระบบย่อยต่าง ๆ เช่น การสั่งอาหาร การชำระเงิน ระบบรายงานยอดขาย มีความต่อเนื่องและประสิทธิภาพ	4.67	0.58	ระดับมากที่สุด
ภาพรวมด้านการทดสอบการทำงานโดยการรวมระบบของโปรแกรมแต่ละส่วน	4.50	0.58	ระดับมาก
3) ด้านการทดสอบการทำงานทั้งระบบ			
3.1 ประสิทธิภาพ/ความเร็วในการตอบสนองของระบบ	4.67	0.58	ระดับมากที่สุด
3.2 ระบบตอบสนองตรงต่อความต้องการของผู้ใช้	4.33	0.58	ระดับมาก
3.3 ระบบมีการประมวลผลที่ถูกต้อง แม่นยำ	4.00	1.00	ระดับมาก
3.4 การเชื่อมโยงของข้อมูลทั้งระบบ เป็นขั้นตอนมีความต่อเนื่อง เข้าใจง่าย	4.67	0.58	ระดับมากที่สุด
ภาพรวมด้านการทดสอบการทำงานทั้งระบบ	4.42	0.68	ระดับมาก
ผลการประเมินประสิทธิภาพโดยภาพรวม 3 ด้าน	4.42	0.64	ระดับมาก

2. ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบ พบว่า ความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x} = 4.59$, $SD = 0.54$) เมื่อพิจารณาเป็นข้อ พบว่า รูปแบบและขนาดของตัวอักษรง่ายต่อการอ่าน มีความเหมาะสม และรายการอาหารสามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจน มีการจัดหมวดหมู่เหมาะสม อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x} = 4.72$, $SD = 0.46$) ส่วนระบบมีความปลอดภัย น่าเชื่อถือ มีคะแนนเฉลี่ยน้อยสุดจากรายการประเมินทั้งหมด แต่ผลการประเมินก็อยู่ในระดับดีมาก ($\bar{x} = 4.44$, $SD = 0.65$) แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบ

รายการประเมิน	ผลการประเมิน		การแปลความหมาย
	$\bar{x}$	SD	
1. การเชื่อมโยงของข้อมูล เป็นขั้นตอนมีความต่อเนื่อง เข้าใจง่าย	4.48	0.51	ระดับมาก
2. รูปแบบและขนาดของตัวอักษรง่ายต่อการอ่าน มีความเหมาะสม	4.72	0.46	ระดับมากที่สุด
3. การจัดรูปแบบเมนูใช้งานง่าย ไม่มีความซับซ้อน และทันสมัย	4.68	0.48	ระดับมากที่สุด
4. ข้อความและรูปภาพสื่อความหมายชัดเจน	4.64	0.49	ระดับมากที่สุด
5. วิธีการเข้าระบบสามารถ เข้าใช้งานง่าย	4.52	0.59	ระดับมากที่สุด
6. ระบบประมวลผลได้รวดเร็ว	4.48	0.65	ระดับมาก
7. ระบบมีการประมวลผลที่ถูกต้อง แม่นยำ	4.52	0.59	ระดับมากที่สุด
8. รายการอาหารสามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจน มีการจัดหมวดหมู่เหมาะสม	4.72	0.46	ระดับมากที่สุด
9. การชำระเงินมีขั้นตอน ที่ง่ายไม่ซับซ้อน	4.68	0.48	ระดับมากที่สุด
10. การชำระเงินมีความถูกต้อง และมีอัตราการผิดพลาดต่ำ	4.60	0.58	ระดับมากที่สุด
11. ระบบมีความปลอดภัย น่าเชื่อถือ	4.44	0.65	ระดับมาก
12. โดยภาพรวมท่านมีความพึงพอใจในการใช้ระบบในระดับใด	4.60	0.50	ระดับมากที่สุด
ประเมินโดยรวม	4.59	0.54	ระดับมากที่สุด

3. ผลการวัดตัวชี้วัดประสิทธิภาพเชิงประจักษ์ (KPI) ก่อนและหลังการนำระบบไปใช้งาน แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการวัดตัวชี้วัดประสิทธิภาพเชิงประจักษ์ (KPI)

KPI (Key Performance Indicators)	ก่อนนำระบบไปใช้	หลังนำระบบไปใช้
1. เวลาเฉลี่ยต่อการสั่งอาหาร	8-10 นาที	2-3 นาที
2. ความผิดพลาดในการสั่งอาหาร	พบเป็นระยะ	ลดลงอย่างชัดเจน
3. จำนวนออเดอร์ผิดพลาด	6 ครั้ง/วัน	1 ครั้งต่อวัน
4. เวลาชำระเงินเฉลี่ย	4 นาที	1.5 นาที
5. ขั้นตอนการชำระเงิน	หลายขั้นตอน	สแกน QR ครั้งเดียว

จากการเปรียบเทียบตัวชี้วัดประสิทธิภาพหลัก (Key Performance Indicators: KPI) ก่อนและหลังการนำระบบบริหารจัดการห้องอาหารบัวขาวไปใช้งาน พบว่าประสิทธิภาพการให้บริการมีแนวโน้มดีขึ้นอย่างชัดเจน โดยเวลาเฉลี่ยต่อการสั่งอาหารลดลงจากประมาณ 8-10 นาที เหลือเพียง 2-3 นาที ขณะเดียวกันจำนวนความผิดพลาดในการสั่งอาหารลดลงจากเฉลี่ย 6 ครั้งต่อวัน เหลือเพียง 1 ครั้งต่อวัน นอกจากนี้ เวลาเฉลี่ยในการชำระเงินลดลงจาก 4 นาที เหลือ 1.5 นาที และ

ขั้นตอนการชำระเงินถูกปรับให้สะดวกมากขึ้น โดยลูกค้าสามารถชำระเงินผ่านการสแกน QR Code เพียงครั้งเดียว ผลดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่าระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการทำงาน ลดความผิดพลาด และยกระดับคุณภาพการให้บริการของห้องอาหารในเชิงประจักษ์

วิจารณ์ผลการวิจัย

ผลการพัฒนาระบบบริหารจัดการห้องอาหารบัซซาว ศูนย์ฝึกประสบการณ์วิชาชีพ ระบบที่พัฒนาแบ่งผู้ที่เกี่ยวข้อง ดังนี้ ลูกค้า พนักงานรับออเดอร์ พนักงานครัว และผู้จัดการ ลูกค้าสามารถเลือกเมนูผ่านระบบ สามารถสั่งอาหารและชำระเงินผ่านระบบ ลดเวลารอคอย พนักงานสามารถจัดการข้อมูลอาหาร ข้อมูลการชำระเงิน ทั้งยังสามารถจัดเก็บข้อมูลการขาย และสรุปรายงาน ระบบช่วยสร้างความสะดวกในการบริการลูกค้า ช่วยลดข้อผิดพลาดจากการทำงานแบบเดิม เพิ่มความสะดวกในการให้บริการ ผลการประเมินประสิทธิภาพในภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{x} = 4.42$, $SD = 0.64$) และ เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน ภาพรวมด้านการทดสอบการทำงานโดยการรวมระบบของโปรแกรมแต่ละส่วนมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด ($\bar{x} = 4.50$, $SD = 0.58$) ระบบสามารถตอบสนองการเชื่อมต่อของโมดูลต่าง ๆ ได้ทันเวลาและมีความเสถียร อีกทั้งการทำงานร่วมกันระหว่างระบบย่อยต่าง ๆ เช่น การสั่งอาหาร การชำระเงิน ระบบรายงานยอดขาย มีความต่อเนื่องและประสิทธิภาพ จากค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานพบว่ามีความสอดคล้องกันสูงและเป็นไปในทิศทางเดียวกันของผู้เชี่ยวชาญที่ ประเมินระบบ ทั้งนี้เนื่องจากการพัฒนาระบบ ผู้วิจัยได้พัฒนาระบบตามวงจรการพัฒนาจักรการพัฒนาระบบแบบ SDLC โดยการดำเนินงานเริ่มจากการวางแผนโครงการ มีการวางแผนกำหนดระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย รวมถึงศึกษาความเป็นไปได้ของขอบเขตการวิจัย ศึกษาและทำความเข้าใจในความต้องการต่าง ๆ ที่ได้รับรวบรวมมาโดยการรวบรวมความต้องการต่าง ๆ เพื่อวิเคราะห์ ประเมินถึงระบบใหม่ที่จะพัฒนา ดำเนินการออกแบบจำลองเชิงกายภาพเพื่อนำไปสู่การออกแบบสถาปัตยกรรมการทำงาน รวมถึงการออกแบบอินเตอร์เฟซ ที่เกี่ยวข้องกับการปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้ใช้งานกับระบบ นำไปเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบ ด้วยการเขียนโปรแกรม จากนั้นตรวจสอบความถูกต้องและดำเนินการทดสอบรวมถึงประเมินผลการใช้งานระบบ จึงส่งผลให้การพัฒนาระบบนี้ครอบคลุมแต่ละขั้นตอน สามารถแก้ปัญหาของระบบงานเดิมได้ สอดคล้องกับ ญัฐพล และจันจิรา (2567) ได้พัฒนาระบบสารสนเทศร้านชาบูกรณีศึกษาชาบูนางในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา โดยทำการศึกษาและรวบรวมข้อมูล จากเอกสาร โดยผู้วิจัยได้ใช้วงจรการพัฒนาแบบ SDLC มาเป็นแนวทางการพัฒนา พบว่า ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบ โดยผู้เชี่ยวชาญในภาพรวมอยู่ในระดับมากและผลความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบในภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ซึ่งคล้ายกับระบบที่พัฒนาในงานวิจัยนี้ที่สามารถลดเวลาในการสั่งอาหาร และลดภาระพนักงานได้อย่างชัดเจน และตรงกับแนวทางของ Olorunshola and Ogwueleka (2021) สรุปได้ว่า วงจรชีวิตการพัฒนาแบบ (SDLC) ได้รับการออกแบบให้เหมาะสมกับประเภทของโครงการที่แตกต่างกัน โดยแต่ละรูปแบบมีลำดับขั้นตอนที่เป็นเอกลักษณ์ ซึ่งถูกกำหนดขึ้นเพื่อให้สอดคล้องกับลักษณะเฉพาะของแต่ละโครงการ ลดข้อผิดพลาดในแต่ละขั้นตอน และสามารถนำไปปรับใช้กับระบบสารสนเทศในภาคธุรกิจได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ก็เพื่อให้การพัฒนาระบบสามารถบรรลุได้ตามขอบเขต ซึ่งในการพัฒนาต้องเลือกให้เหมาะสมตรงกับแนวทางของ จตุรงค์ และพงษ์ศักดิ์ (2565) ได้พัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการเก็บเกี่ยวผลผลิตกระเทียมอินทรีย์ของกลุ่มกระเทียมคำแก้ว จังหวัดหนองคาย ในการพัฒนาระบบได้นำแนวคิดหลักวงจรชีวิตการพัฒนาแบบ SDLC มาเป็นกรอบแนวทางวิจัย ประสิทธิภาพของระบบสารสนเทศเพื่อการเก็บเกี่ยวผลผลิตกระเทียมอินทรีย์อยู่ในระดับมากที่สุด อีกทั้งยังสอดคล้องกับ วาริตรา และนันทนธิ์ (2566) ศึกษาการพัฒนาแบบสารสนเทศเพื่อการบริหารจัดการร้านกาแฟ ในการศึกษาและพัฒนาแบบใช้กระบวนการของวงจรการพัฒนาแบบ SDLC ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบ โดยผู้เชี่ยวชาญในภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{x} = 3.95$, $S.D. = 0.48$) พบว่าระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถลดความผิดพลาดจากการทำงานด้วยมือ ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้จากระบบห้องอาหารบัซซาวในด้านการลดความผิดพลาดในการสั่งอาหาร และการจัดการข้อมูลอย่างเป็นระบบ และสอดคล้องกับแนวทางการศึกษาของ พงศกร และคณะ (2560) ได้มีการนำกระบวนการพัฒนาระบบนำวงจร SDLC มาใช้ในการพัฒนาระบบ มาช่วยในพัฒนาระบบสารสนเทศการจำหน่ายเครื่องปรับอากาศ กรณี ศึกษาร้านปรีชาแอร์ จากผลการศึกษาพบว่า ระบบสารสนเทศการจำหน่ายเครื่องปรับอากาศ กรณีศึกษาร้านปรีชาแอร์ มีการดำเนินการอย่างมีประสิทธิภาพ และเหมาะสมกับกระบวนการทำงาน โดยระบบดังกล่าวได้นำไปใช้ และแก้ปัญหาทางธุรกิจได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากที่กล่าวมาจะเห็นว่าการพัฒนาระบบโดยนำแนวทางวงจรการพัฒนาระบบ SDLC ยังเป็นที่นิยมในปัจจุบัน เนื่องด้วยกระบวนการพัฒนามีขั้นตอนที่ครอบคลุมช่วยให้การทำงานเป็นไปอย่างมีขั้นตอนชัดเจน ดังนั้นผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบ พบว่า ความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x} = 4.59$, $SD = 0.54$) เมื่อพิจารณาเป็นข้อ พบว่า รูปแบบและขนาดของตัวอักษรง่ายต่อการอ่าน มีความเหมาะสม และรายการอาหารสามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจน มีการจัดหมวดหมู่เหมาะสม อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x} = 4.72$, $SD = 0.46$) ส่วนระบบมีความปลอดภัยน่าเชื่อถือ มีคะแนนเฉลี่ยน้อยสุดจากรายการประเมินทั้งหมด แต่ผลการประเมินก็อยู่ในระดับดีมาก ($\bar{x} = 4.44$, $SD = 0.65$) ยังคงสะท้อนถึงความเชื่อมั่นของผู้ใช้งานที่มีต่อระบบอย่างมีนัยสำคัญ ความน่าเชื่อถือของระบบเกิดจากการออกแบบโครงสร้างการสิทธิ์การใช้งานที่ชัดเจนและการเลือกใช้ระบบการชำระเงินแบบไร้เงินสดผ่าน QR Code ที่ลดความผิดพลาดในการถือครองเงินสดของพนักงาน สอดคล้องกับงานวิจัยของ ศุภกิตต์ และศิริรัตน์ (2562) ที่ระบุว่าการสร้างการรับรู้ถึงความปลอดภัยและความเป็นส่วนตัวเป็นปัจจัยหลักในการสร้างความไว้วางใจให้กับผู้ใช้งาน และการชำระเงินผ่าน QR Code สามารถลดขั้นตอนการชำระเงินให้เหลือเพียงการสแกนครั้งเดียวได้อย่างปลอดภัย อีกทั้ง การใช้ระบบการจัดการสิทธิ์การเข้าถึงข้อมูลตามบทบาทหน้าที่ ในระบบจัดการร้านอาหารยังช่วยป้องกันการเข้าถึงข้อมูลโดยมิชอบ และเพิ่มความเชื่อมั่นให้กับลูกค้าที่กังวลเรื่องความเป็นส่วนตัวของข้อมูล เนื่องจากระบบไม่จัดเก็บข้อมูลทางการเงินของลูกค้าไว้ในระบบของร้านค้า จึงเป็นการลดภาระความเสี่ยงตามมาตรฐานความปลอดภัยสารสนเทศ ส่งผลให้ประสิทธิภาพในภาพรวมของห้องอาหารบัวขาวสูงขึ้นอย่างชัดเจนหลังการนำระบบไปใช้ ระบบงานใหม่ที่พัฒนา ผู้วิจัยได้รวบรวมความต้องการในด้านต่าง ๆ เพื่อแก้ปัญหาของระบบงานเดิม โดยพัฒนาระบบที่สามารถสั่งอาหารและชำระเงินผ่านระบบออนไลน์ ข้อมูลการสั่งอาหารจะถูกส่งเข้าสู่ระบบครัวโดยอัตโนมัติ เพื่อเพิ่มความแม่นยำและลดเวลารอคอย ซึ่งจะช่วยลดข้อผิดพลาดจากการทำงานแบบเดิม เพิ่มความสะดวกในการให้บริการทำให้ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจ สอดคล้องกับการศึกษาของ สหสวรรค์ และคณะ (2564) ได้พัฒนาแอปพลิเคชันบริหารจัดการร้านอาหาร กรณีศึกษา ร้านเพลินพอดิ โดยลูกค้าสามารถสั่งซื้ออาหารผ่านอุปกรณ์พกพาจากหน้าร้านและพนักงานสามารถจัดการข้อมูลร้านอาหาร ข้อมูลอาหาร ข้อมูลการชำระเงิน ผ่านระบบ ส่งผลให้ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจอยู่ในระดับดี โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.42 และระบบที่พัฒนาขึ้นช่วยให้สร้างความสะดวกรวดเร็วในการบริการลูกค้าลดปัญหาความผิดพลาดในการสั่งอาหาร อีกทั้งยังสอดคล้องกับ วาริตรา และนันทนีย์ (2566) ศึกษาการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารจัดการร้านกาแฟ ใช้กระบวนการของวงจรการพัฒนาระบบ SDLC ผลการศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบในภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{x} = 4.20$, $S.D. = 0.73$)

สรุปผลการวิจัย

1. ผลการพัฒนาระบบบริหารจัดการห้องอาหารบัวขาวศูนย์ฝึกประสบการณ์วิชาชีพ ระบบที่พัฒนาแบ่งผู้ที่เกี่ยวข้อง ดังนี้ ลูกค้า พนักงานรับออเดอร์ พนักงานครัว และผู้จัดการ ลูกค้าสามารถเลือกเมนูผ่านระบบ สามารถสั่งอาหารและชำระเงินผ่านระบบ ลดเวลารอคอย พนักงานสามารถจัดการข้อมูลอาหาร ข้อมูลการชำระเงิน ทั้งยังสามารถจัดเก็บข้อมูลการขาย และสรุปรายงาน ระบบช่วยสร้างความสะดวกในการบริการลูกค้า ช่วยลดข้อผิดพลาดจากการทำงานแบบเดิม เพิ่มความสะดวกในการให้บริการ ผลการประเมินประสิทธิภาพอยู่ในระดับดีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.42
2. ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบ พบว่า ความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x} = 4.59$, $SD = 0.54$) เมื่อพิจารณาเป็นข้อ พบว่า รูปแบบและขนาดของตัวอักษรง่ายต่อการอ่าน มีความเหมาะสม และรายการอาหารสามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจน มีการจัดหมวดหมู่เหมาะสม อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x} = 4.72$, $SD = 0.46$) ส่วนระบบมีความปลอดภัย น่าเชื่อถือ มีคะแนนเฉลี่ยน้อยสุดจากรายการประเมินทั้งหมด แต่ผลการประเมินก็อยู่ในระดับดีมาก ($\bar{x} = 4.44$, $SD = 0.65$)

ข้อเสนอแนะ

1. ควรจัดอบรมผู้ใช้งานเพื่อเพิ่มทักษะการใช้ระบบ พัฒนาระบบอย่างต่อเนื่องตามข้อเสนอแนะของผู้ใช้งาน ขยายผลสู่หน่วยงานอื่น ๆ เพื่อสร้างเครือข่ายและมีการประเมินผลการใช้งานอย่างสม่ำเสมอเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพต่อไป
2. ในการพัฒนาระบบในอนาคต ควรเพิ่มฟังก์ชันการแจ้งเตือนสถานะการสั่งอาหารแบบเรียลไทม์ผ่านแอปพลิเคชัน หรือระบบแจ้งเตือนบนมือถือ เพื่อให้ลูกค้าทราบกระบวนการเตรียมอาหารและเวลาที่คาดว่าจะได้รับอาหารได้อย่างแม่นยำ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ห้องอาหารบัวขาวศูนย์ฝึกประสบการณ์วิชาชีพ มหาวิทยาลัยราชภัฏเลยลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี ที่ให้การสนับสนุน อำนวยความสะดวก และให้คำแนะนำในการดำเนินงานเกี่ยวกับระบบบริหารจัดการห้องอาหารบัวขาว จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- จตุรงค์ จิตติยพล, และพงษ์ศักดิ์ ตรีพนิจ. (2565). การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการเก็บเกี่ยวผลผลิตกระเทียมอินทรีย์. *Journal of Roi Kaensarn Academi*, 7(8), 18-29.
- จันจิรา ดีเลิศ, และณัฐพล จินะสาม. (2067). การพัฒนาระบบสารสนเทศร้านชาบูกรณี ศึกษาชาบูนางในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา. *วารสารเทคโนโลยีสื่อสารมวลชน มทร. พระนคร*, 9(2), 137-152.
- โชคธำรง จงเจริญ. (2566). การพัฒนาระบบดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจแบ่งปัน. มหาวิทยาลัยนเรศวร. ค้นจาก <https://nuir.lib.nu.ac.th/dspace/bitstream/123456789/5285/3/ChokthumrongChongchorhor.pdf>
- ทินวงษ์ รักอิสสระกุล, กิ่งกาญจน์ พิจักขณา และพิมพ์จุฑา พิกุลทอง. (2567). การพัฒนาสื่อดิจิทัลบนเครือข่ายสังคมออนไลน์เพื่อการประชาสัมพันธ์และส่งเสริมการขายผลิตภัณฑ์ชุมชนท่องเที่ยวโอทอปนวัตกรรม ตำบลบางเสาธง อำเภอบางเสาธง จังหวัดสมุทรปราการ. *วารสารเทคโนโลยีสื่อสารมวลชน มทร.พระนคร*, 9(1), 17-38.
- ธนาภรณ์ จงรักษา. (2567). การพัฒนาระบบเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อการบริหารงานพัสดุโรงเรียน ของสถานศึกษาในสังกัด สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประจวบคีรีขันธ์ เขต 2. *วารสารสหวิทยาการและนวัตกรรมการจัดการ*, 2(3), 34-49.
- ธานินทร์ ศิลป์จารุ. (2563). *การวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วย SPSS และ AMOS*. กรุงเทพฯ : เอสอาร์ พรินต์ติ้ง แมสโปรดักส์.
- นิภาพร ชนะมาร, สุพจน์ หล่อสนิ่ว, วีระศักดิ์ เจริญรัตน์ และปิยวรรณ โภปาสอน. (2567). การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการกองทุนสหกรณ์ข้าวหมูป่านดอนขาว ตำบลช้างมิ่ง อำเภอพรรณานิคม จังหวัดสกลนคร. *วารสารวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี*, 4(1), 44-41.
- พงศกร กีไพโรจน์, ปันท์ชนิช เพ่งผล และวิภา คงพิช. (2560). การพัฒนาระบบสารสนเทศการจำหน่ายเครื่องปรับอากาศ. *วารสารครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี*, 5(1), 116-126.
- วาริตรา โพธิ์พื้ง, และนนทนี เอ็บอิม. (2566). การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารจัดการร้านกาแฟ. *วารสารเทคโนโลยีสื่อสารมวลชน มทร. พระนคร*, 8(2), 60-68.
- ศุภกิตต์ จ้อยพุทธ และศิริรัตน์ รัตนพิทักษ์. (2562). การกำหนดกลยุทธ์ การรับรู้ถึงความปลอดภัย รับรู้ความเป็นส่วนตัว ความไว้วางใจเพื่อเพิ่มการใช้บริการคิวอาร์โค้ดของลูกค้า ธนาคารกรุงเทพ จำกัด (มหาชน). ใน: *การประชุมนำเสนอผลงานวิจัยบัณฑิตศึกษาระดับชาติ ครั้งที่ 14 ปีการศึกษา 2562* (หน้า 1753-1763). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย.

- สหสวรรค์ รังรองทอง, สุธีรา พึ่งสวัสดิ์, พิมพ์ภัศ ภัทรนาวิก และศิลา เต็มศิริฤกษ์กุล. (2564). แอปพลิเคชันบริหารจัดการร้านอาหาร กรณีศึกษาร้านเพลินพอดี้. ใน: รายงานสืบเนื่องจากการประชุมด้าน วิทยาศาสตร์ วิจัยนวัตกรรม น้อมนำศาสตร์พระราชาเพื่อพัฒนาประเทศ Academic Science and Technology Conference ประจำปี 2564 (หน้า 1096-1104). ปทุมธานี: มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์.
- เสาวคนธ์ ชูบัว, อาริรัตน์ ชูพันธ์, เมธาพร มีเดช และนาถนลิน สีเขียว. (2567). การพัฒนาระบบสารสนเทศจองบ้านพักพูลวิลล่า. *Journal of Information and Learning [JIL]*, 35(3), 38-51.
- อนุวัติ คุณแก้ว. (2560). *สถิติเพื่อการวิจัย*. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- โอภาส เอี่ยมสิริวงศ์. (2560). *การวิเคราะห์และออกแบบระบบ*. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- Olorunshola, O. E., and Ogwueleka, F. N. (2021). Review of system development life cycle (SDLC) models for effective application delivery. In *Information and Communication Technology for Competitive Strategies (ICTCS 2020) ICT: Applications and Social Interfaces* (pp. 281-289). Singapore: Springer Singapore.
- Pargaonkar, S. (2023). A comprehensive research analysis of software development life cycle (SDLC): agile & waterfall model advantages, disadvantages, and application suitability in software quality engineering. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 13(8), 120-124. doi: 10.29322/IJSRP.13.08.2023.p14015.

การพัฒนาเครื่องอบแห้งสับปะรดทำอุเทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรด ที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ด้วยระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง Development of a Solar-Infrared Hybrid Dryer for Tha Uthen Pineapples with IoT - Controlled Temperature and Humidity

ทรงพล วิจารย์จักร¹ อำไพศักดิ์ ทิบุญมา² อภินันต์ นามเขต² ทรงสุภา พุ่มชุมพล²
อธิวัฒน์ สารโพคา³ และ กานต์ กอมณี^{1*}

Songpol Wijanjak¹ Umphisak Teeboonma² Apinunt Namkhet² Songsupa Pumchumpol²
Athiwut Sanpoka³ and Kan Komanee^{1*}

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยนครพนม จังหวัดนครพนม 48000

²ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี 34190

³สาขาวิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรมเครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
วิทยาเขตขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40000

¹Program of Mechanical Technology, Faculty of Industrial Technology, Nakhon Phanom University,
Nakhon Phanom Province, 48000

²Program of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University,
Ubon Ratchathani Province, 34190

³Program of Mechanical Technical Education, Faculty of Technical Education,
Rajamangala University of Technology Isan Khonkaen Campus, Khon Kaen Province, 40000

*Corresponding author E-mail: kan.k@npu.ac.th

Received 7 May 2025, Accepted 16 March 2026, Published 18 March 2026

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ประเมินสมรรถนะของเครื่องอบแห้งสับปะรดทำอุเทนแบบผสมผสานพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ด้วยระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (SD-IR-IoT) และเปรียบเทียบกับระบบ SD-IoT และเครื่องอบแห้งแบบดั้งเดิม (TSD) การทดลองดำเนินการภายใต้สภาวะแวดล้อมเดียวกันระหว่างเวลา 09:00–17:00 น. โดยใช้หลอดอินฟราเรดกำลัง 200 วัตต์ ควบคุมอุณหภูมิในช่วง 50–70°C และควบคุมพัดลมระบายอากาศให้อยู่ในช่วงความชื้นสัมพัทธ์ 30–50% ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า SD-IR-IoT สามารถรักษาอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งสูงกว่าระบบอื่น 5–45% และลดความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยลงได้ 10–30% ส่งผลให้ค่าสัดส่วนความชื้นลดลงจาก 1.0 เหลือประมาณ 0.15 ภายใน 8 ชั่วโมง ขณะที่ SD-IoT และ TSD ลดลง 0.35 และ 0.50 ตามลำดับ อัตราการอบแห้งของ SD-IR-IoT อยู่ในช่วง 0.4–0.8 กรัม/นาที่ ซึ่งสูงกว่าและมีความสม่ำเสมอกว่าระบบอื่นอย่างชัดเจน การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์พบว่าระบบมีระยะเวลาคืนทุนเพียง 0.36 ปี ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการบูรณาการพลังงานแสงอาทิตย์รังสีอินฟราเรด และการควบคุมแบบเรียลไทม์ด้วย IoT สามารถเพิ่มเสถียรภาพอุณหภูมิ แรงอัตราการอบแห้ง และมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ เหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้ในระดับชุมชนและเกษตรกรรายย่อย

คำสำคัญ: การอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์ การอบแห้งด้วยอินฟราเรด อินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่ง

ABSTRACT

This study evaluated the performance of a solar–infrared hybrid dryer for Tha Uthen pineapples with Internet of Things control (SD-IR-IoT). The system was compared with a solar dryer with IoT control (SD-IoT) and a traditional solar dryer (TSD). Experiments were conducted under identical environmental conditions from 09:00 to 17:00. A 200 W infrared heater was used to maintain the chamber temperature between 50 and 70°C. The exhaust fan was controlled to operate within a relative humidity range of 30–50 %. The results showed that SD-IR-IoT maintained chamber temperatures 5–45% higher than the other systems. It also reduced the average relative humidity by 10–30%. As a result, the moisture ratio decreased from 1.0 to approximately 0.15 within 8 hours. In contrast, the final moisture ratios of SD-IoT and TSD were 0.35 and 0.50, respectively. The drying rate of SD-IR-IoT ranged from 0.4 to 0.8 g/min. This rate was clearly higher and more stable than those of the other systems. The economic analysis indicated a payback period of only 0.36 years. The findings demonstrate that integrating solar energy, infrared heating, and real-time IoT control improves temperature stability, enhances the drying rate, and provides strong economic feasibility. The system is suitable for community-level and small-scale agricultural applications.

Keywords: Solar drying, Infrared drying, Internet of Things

บทนำ

สับปะรดท่าอุเทนเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีชื่อเสียงในจังหวัดนครพนม โดยได้รับมาตรฐาน GAP และการจดทะเบียนเป็นสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ (GI) สับปะรดท่าอุเทนมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างจากสับปะรดทั่วไป ได้แก่ เนื้อแน่นละเอียด สีเหลืองเข้ม ตาตื้น รสชาติหวานฉ่ำ มีกลิ่นหอม ไม่ก่ดกลิ่น และแกนกรอบที่สามารถรับประทานได้ โดยมีพื้นที่การปลูกสับปะรดกระจายอยู่ในอำเภอท่าอุเทนและบางส่วนของอำเภอโพนสวรรค์ โดยมีเกษตรกรประมาณ 300 ครัวเรือนที่ปลูกสับปะรดในพื้นที่ดังกล่าว รวมพื้นที่ปลูกทั้งหมดประมาณ 8,000 ไร่ ครอบคลุม 2 อำเภอ 5 ตำบล ได้แก่ ตำบลโนนตาลและตำบลท่าจำปาในอำเภอท่าอุเทน และตำบลนาใน ในอำเภอโพนสวรรค์ มีสมาชิกเกษตรกรรวมประมาณ 400 คน ซึ่งส่วนใหญ่เน้นการขายสับปะรดสดเป็นหลัก (กลุ่มยุทธศาสตร์พัฒนาการเกษตร, 2566) แม้ว่าการขายสับปะรดสดจะเป็นแหล่งรายได้หลักของเกษตรกร แต่การจำหน่ายสับปะรดในรูปแบบผลไม้สดมีข้อจำกัดในเรื่องของอายุการเก็บรักษาที่สั้น และความเสี่ยงจากการเสียหายระหว่างการขนส่ง (Chen et al., 2023) การอบแห้งสับปะรดจึงเป็นทางเลือกที่มีความสำคัญในการเพิ่มมูลค่าและยืดอายุการเก็บรักษาของสับปะรด (Rani and Tripathy, 2022) นอกจากนี้ การอบแห้งยังช่วยลดการสูญเสียทางการเกษตรและสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารต่าง ๆ เช่น ขนมอบกรอบ แยม หรือผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร (Ibrahim et al., 2023; Komanee et al., 2025a) การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เป็นวิธีการที่ใช้พลังงานธรรมชาติจากดวงอาทิตย์ในการลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ กระบวนการนี้ได้รับความนิยมเนื่องจากเป็นวิธีที่ประหยัดพลังงานและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Archvadze et al., 2022) อีกทั้ง การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ช่วยลดต้นทุนการผลิตและไม่ต้องพึ่งพาแหล่งพลังงานอื่น (Fernandes et al., 2022) อย่างไรก็ตามการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอเนื่องจากสภาพอากาศที่ไม่คงที่ ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น สี รสชาติและคุณค่าทางโภชนาการ ซึ่งเป็นปัญหาที่พบได้บ่อยในกระบวนการอบแห้งแบบดั้งเดิม (Behera et al., 2022) ดังนั้น การผสมผสานการใช้พลังงานแสงอาทิตย์กับรังสีอินฟราเรดจึงได้รับการเสนอแนะเป็นทางเลือกที่ดีกว่า เนื่องจาก รังสีอินฟราเรดซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่น่าสนใจที่สามารถ

ลดความชื้นได้เร็วขึ้นและช่วยรักษาคุณภาพของสับปะรดได้ดีขึ้น การใช้รังสีอินฟราเรดยังช่วยให้กระบวนการอบแห้งมีความสม่ำเสมอและมีสมรรถนะสูงกว่าเทคนิคการอบแห้งแบบดั้งเดิม (Arslan, 2023; Komanee et al., 2025b) การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สำหรับกระบวนการอบแห้งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยการใช้ระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) ในการควบคุมและตรวจสอบกระบวนการอบแห้งช่วยให้กระบวนการมีความแม่นยำและสม่ำเสมอ (Jin et al., 2023) เนื่องจากการใช้ IoT คือการแสดงผลและควบคุมอุปกรณ์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้อย่างเรียลไทม์นอกจากนี้การใช้ IoT สามารถช่วยลดการสูญเสียพลังงานและเพิ่มสมรรถนะของกระบวนการอบแห้งได้อย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้งยังช่วยบันทึกข้อมูลและวิเคราะห์ผลการอบแห้งทำให้สามารถปรับปรุงกระบวนการได้อย่างต่อเนื่อง (Alkahdery, 2023; Komanee et al., 2025c)

จากงานวิจัยที่ผ่านมาการใช้การอบแห้งแบบแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดมีสมรรถนะในการรักษาคุณภาพและลดเวลาการอบแห้งได้ดีกว่าเทคนิคแบบเดิม เช่น Gilago and Chandramohan (2023) และ Malakar et al. (2023) พบว่า การใช้รังสีอินฟราเรดร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ในการอบแห้งสับปะรดสามารถลดเวลาการอบแห้งได้ถึง 30 % เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ Ghasemi et al. (2023) และ Hadibi et al. (2023) พบว่าการใช้รังสีอินฟราเรดร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ช่วยให้กระบวนการอบแห้งมีสมรรถนะสูงขึ้น รักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่าวิธีดั้งเดิม และลดการสูญเสียพลังงาน อุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งอยู่ระหว่าง 50-65°C โดยมีค่าเฉลี่ยของการใช้พลังงานและสมรรถนะการอบแห้งที่ดีกว่า ทั้งนี้สามารถลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และเพิ่มความยั่งยืนในด้านพลังงานได้อีกทั้ง Sharma et al. (2022) ได้ศึกษาระบบอบแห้งแบบผสมที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเทคโนโลยี IoT และการเรียนรู้เชิงลึก เพื่อเพิ่มสมรรถนะในการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร ระบบนี้สามารถควบคุมและตรวจสอบอุณหภูมิของเครื่องอบแห้งแบบโดยอ้อม (Indirect solar dryer) ได้อย่างแม่นยำผ่าน IoT และใช้การเรียนรู้เชิงลึกในการตั้งค่าอุณหภูมิตามความต้องการของพืชแต่ละชนิด ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าระบบนี้สามารถลดการสูญเสียพลังงานและรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ดีขึ้น

ถึงแม้ว่าการผสมการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ รังสีอินฟราเรด และระบบ IoT ในการอบแห้งจะมีสมรรถนะสูงแต่ งานวิจัยที่ผ่านมายังขาดการศึกษาแบบองค์รวมที่นำเทคโนโลยีทั้งสามมาผสมผสานในการอบแห้งสับปะรด โดยเฉพาะการประยุกต์ใช้ IoT เพื่อการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในกระบวนการอบแห้งสับปะรดอย่างละเอียดในทุกขั้นตอน การศึกษาเพิ่มเติมในด้านนี้ยังมีความจำเป็นเพื่อเพิ่มสมรรถนะและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้ได้อย่างสูงสุด

ดังนั้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินสมรรถนะการอบแห้งสับปะรดทำอุเทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับ รังสีอินฟราเรดและการควบคุมด้วยระบบ IoT เพื่อให้สามารถควบคุมอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ในห้องอบแห้ง ตามเงื่อนไขที่ตั้งไว้ อีกทั้งบันทึกค่าของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ มวลผลิตภัณฑ์ในการอบแห้ง และตรวจสอบได้อย่างเรียลไทม์เพื่อให้การอบแห้งมีความรวดเร็ว ควบคุมได้และมีสมรรถนะที่มากขึ้น

วิธีการวิจัย

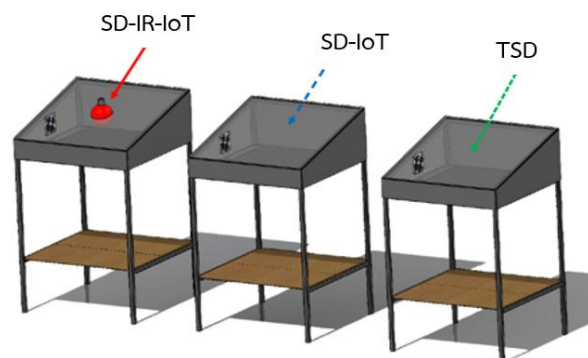
1. สับปะรดทำอุเทนที่ใช้ในการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ ใช้สับปะรดทำอุเทนจากตลาดในอำเภอท่าอุเทน จังหวัดนครพนม โดยเลือกผลที่มีมวลและความสุกใกล้เคียงกัน เพื่อให้ผลการทดลองมีความแม่นยำ จากนั้นหั่นสับปะรดให้มีความหนาเท่ากันโดยใช้เครื่องหั่น ซึ่งตั้งค่าความหนาเท่ากับ 10 มิลลิเมตร เพื่อลดความแปรปรวนในการทดลอง ก่อนเริ่มการทดลอง ได้สุ่มสับปะรดจำนวน 9 ชิ้นเพื่อวิเคราะห์ค่าความชื้นเริ่มต้นตามมาตรฐาน AOAC (AOAC, 2019) ซึ่งพบว่าสับปะรดทำอุเทนที่ใช้ทดลองมีค่าความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ยเท่ากับ $370 \pm 39\%$ d.b. (Dry basis)

2. เครื่องอบแห้งที่ใช้ในการทดลอง

ห้องอบแห้งถูกออกแบบและสร้างขึ้นให้มีขนาด กว้างxยาวxสูง คือ 60x60x25 เซนติเมตร วัสดุที่ใช้สร้างห้องอบแห้ง คือ สังกะสีแผ่นเรียบ และหุ้มชั้นนอกด้วยวัสดุฉนวนอลูมิเนียมฟอยล์เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนไปยังสิ่งแวดล้อมการรับ

พลังงานแสงอาทิตย์ใช้แผ่นโพลีคาร์บอเนตที่ทนความร้อน ซึ่งช่วยสร้างสภาวะเรือนกระจก ทำให้ความร้อนถูกกักเก็บและสะท้อนกลับภายในห้องอบแห้ง โดยแผ่นโพลีคาร์บอเนตถูกติดตั้งทำมุม 17 องศา และเอียงหันหน้าไปทางทิศใต้เพื่อรับพลังงานแสงอาทิตย์ได้อย่างเหมาะสม ภายในห้องอบแห้งใช้ตะแกรงอลูมิเนียมสำหรับวางสับปะรดในแนวนอน เพื่อให้การกระจายความร้อนและการไหลเวียนของอากาศเป็นไปอย่างทั่วถึง พัดลมขนาด 2.4 วัตต์ ถูกติดตั้งภายในห้องอบแห้งสำหรับดึงอากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงออกจากห้องอบแห้งไปยังบรรยากาศภายนอก เพื่อลดผลกระทบจากความแปรปรวนของสภาพอากาศในแต่ละวัน งานวิจัยนี้ได้สร้างเครื่องอบแห้งจำนวน 3 ชุด สำหรับทดลอง 3 รูปแบบ ภายใต้สภาวะแวดล้อมเดียวกัน รายละเอียดของแต่ละรูปแบบมีดังนี้ 1) เครื่องอบแห้งแบบแสงอาทิตย์ร่วมกับอินฟราเรดควบคุมด้วย IoT (Solar dryer combined with infrared and IoT control, SD-IR-IoT) 2) เครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์ควบคุมด้วย IoT (Solar dryer with IoT control, SD-IoT) 3) เครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์แบบดั้งเดิม (Traditional solar dryer, TSD) ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 เครื่องอบแห้งที่ใช้ในการทดลองทั้ง 3 รูปแบบ

3. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

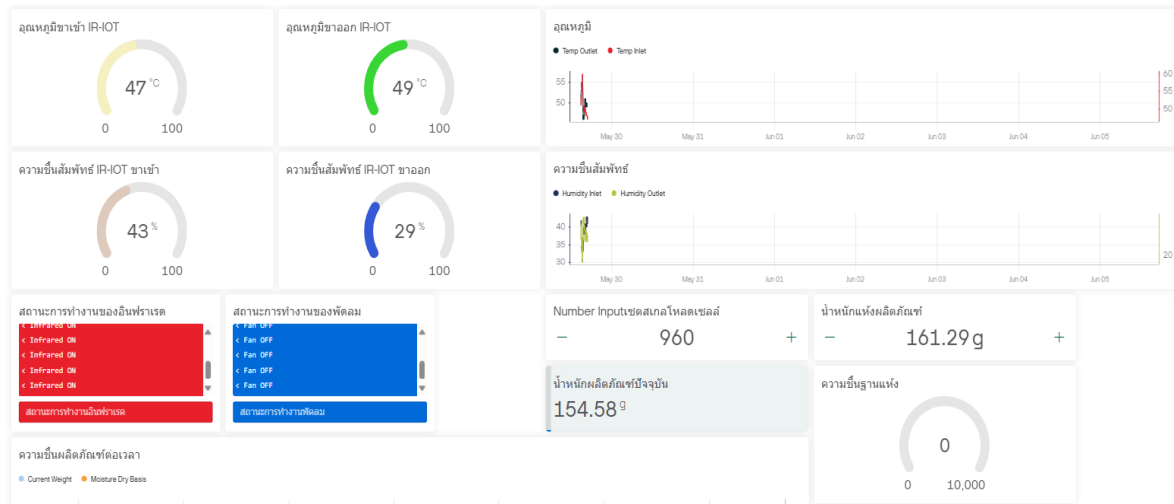
อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบแห้งถูกวัดโดยเซ็นเซอร์ DHT22 ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 ถูกใช้เพื่อรับส่งข้อมูลและควบคุมการทำงานตามเงื่อนไขผ่านโมดูลรีเลย์ในการเปิด-ปิดอุปกรณ์ ในส่วนการวัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์ใช้เครื่องวัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์รุ่น SM206 สำหรับอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์วัดโดยใช้ Thermocouple Type K ต่อพ่วงกับเครื่องบันทึกข้อมูล Graphtec M840 และติดตั้งโหลดเซลล์รุ่น YZC-1B พร้อมกับตัวแปลงสัญญาณ HX711 เพื่อวัดมวลของผลิตภัณฑ์ที่เปลี่ยนแปลงระหว่างกระบวนการอบแห้งแบบเรียลไทม์ รายละเอียดของอุปกรณ์ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายละเอียดอุปกรณ์ในการทดลอง

อุปกรณ์	รายละเอียด	คุณสมบัติ
เซ็นเซอร์ DHT22	วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบแห้ง	ช่วงการวัด: อุณหภูมิ -40°C ถึง 80°C, ความชื้นสัมพัทธ์ 0-100%
ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32	ใช้เพื่อรับส่งข้อมูลและควบคุมตามเงื่อนไขในการทำงาน	แรงดันไฟฟ้าใช้งาน: 3.3V ถึง 7V, ความเร็วสัญญาณนาฬิกา: 160-240MHz
โมดูลรีเลย์ 5 V	ควบคุมการเปิด/ปิดอุปกรณ์	รองรับโหลดหน้าสัมผัส: 250VAC/10A, 30VDC/10A
เครื่อง SM206	วัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์	ช่วงการวัด: 0-5000 วัตต์, ความแม่นยำ: $\pm 1\%$
Thermocouple Type K	วัดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์	ความไว: 41 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$, เวลาตอบสนอง: 0.5 วินาที
Graphtec M840	ใช้บันทึกค่าอุณหภูมิ	อัตราการสุ่มตัวอย่าง: 1-100Hz
โหลดเซลล์รุ่น YZC-1B	วัดมวลของผลิตภัณฑ์ที่ชั่งน้ำหนัก	พิสัย 10 กิโลกรัม, ความจุเกินพิสัย: 150%
ตัวแปลงสัญญาณ HX711	แปลงสัญญาณจากโหลดเซลล์	แรงดันไฟฟ้าใช้งาน 3.3-5 V ย่านวัด: 64-128

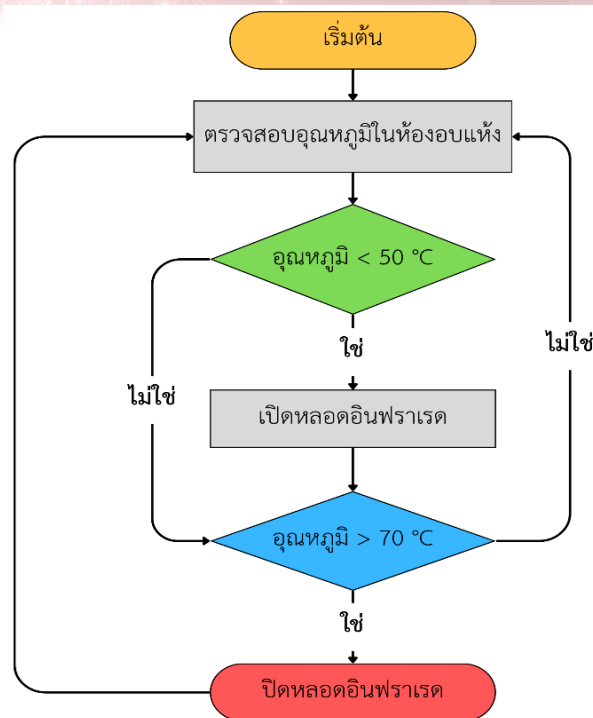
4. การออกแบบการทดลอง

พลังงานของแสงอาทิตย์วัดโดยวางเครื่องมือขนานกับแผ่นโพลีคาร์บอเนตที่รับพลังงานแสงอาทิตย์เข้าสู่ห้องอบแห้ง จากนั้นดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์และเซ็นเซอร์เข้ากับเครื่องอบแห้งเพื่อใช้เก็บข้อมูลตลอดช่วงการทดลอง ข้อมูลต่าง ๆ จะถูกบันทึกและแสดงผลไปยังแอปพลิเคชัน Blynk ดังภาพที่ 2

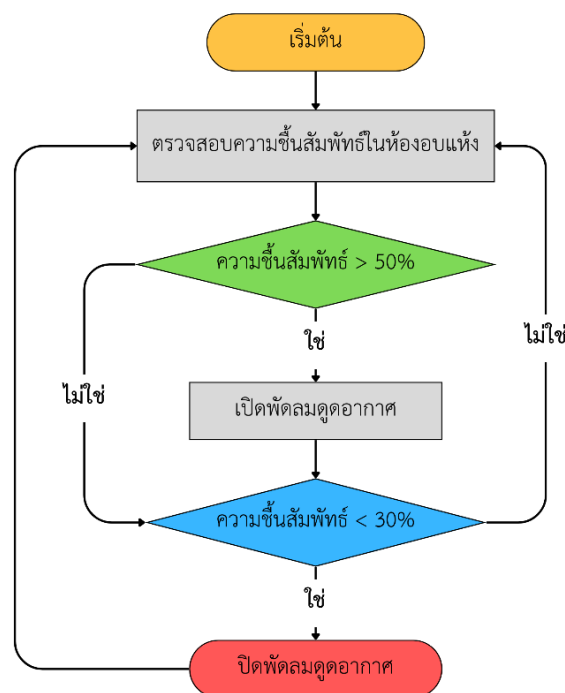


ภาพที่ 2 การเก็บข้อมูลและการแสดงผลผ่านแอปพลิเคชัน Blynk

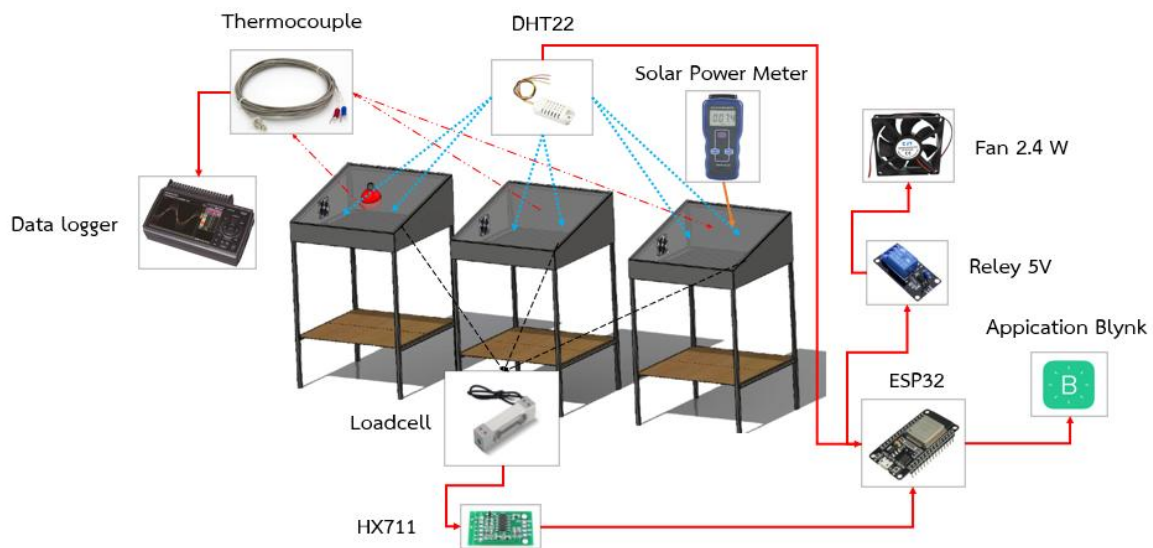
การติดตั้งหลอดอินฟราเรดขนาด 200 วัตต์ ที่เครื่องอบแห้งแบบแสงอาทิตย์ร่วมกับอินฟราเรดควบคุมด้วย IoT (SD-IR-IoT) โดยหลอดอินฟราเรดจะตั้งฉากกับสับประรดและตระแกรงอลูมิเนียม และมีระยะห่างระหว่างสับประรดกับหลอดอินฟราเรด 8 เซนติเมตร ควบคุมการเปิดปิดหลอดอินฟราเรดผ่านรีเลย์ ตามเงื่อนไขการควบคุมของเครื่องอบแห้งแบบ SD-IR-IoT ซึ่งมีรายละเอียด คือ หลอดอินฟราเรดจะเริ่มทำงานเมื่ออุณหภูมิภายในห้องอบแห้งต่ำกว่า 50°C และจะหยุดทำงานเมื่ออุณหภูมิภายในห้องอบแห้งสูงกว่า 70°C เพื่อรักษาอุณหภูมิในห้องอบแห้งให้อยู่ในช่วง 50-70°C ดังภาพที่ 3 ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิอบแห้งที่เหมาะสม (Rahman and Hasanuzzaman, 2022) อีกทั้งการอบแห้งสับประรดในช่วง 50-70°C ยังสามารถรักษาสารประกอบชีวภาพสำคัญเช่น วิตามินซี โพลีฟีนอล ฟลาโวนอยด์ ไกลโคไซด์ (ElGamal et al., 2023) นอกจากนี้ติดตั้งพัดลมดูดอากาศขนาด 2.4 วัตต์เพื่อดึงความชื้นออกจากห้องอบแห้งในทุกระบบ อย่างไรก็ตามในส่วนเครื่อง SD-IR-IoT และ SD-IoT พัดลมระบายอากาศจะทำงานตามเงื่อนไข โดยจะทำงานเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบแห้งสูงกว่า 50% และจะหยุดทำงานเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบแห้งต่ำกว่า 30 % เพื่อรักษาความชื้นสัมพัทธ์ในห้องอบแห้งให้อยู่ในช่วง 30-50% ดังภาพที่ 4 ซึ่งป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อราแบคทีเรียและป้องกันการเน่าเสีย (Pérez-González et al., 2023; Zhu et al., 2023) โดยรายละเอียดของการทดลองดังภาพที่ 5



ภาพที่ 2 เงื่อนไขการควบคุมเปิด-ปิด หลอดอินฟราเรด



ภาพที่ 4 เงื่อนไขการควบคุมเปิด-ปิด พัดลมดูดอากาศ



ภาพที่ 5 การบันทึก-ส่งต่อข้อมูลและการควบคุมของชุดทดลอง

5. การดำเนินการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้เริ่มทดลองและเก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 09:00-17:00 น. โดยใช้สับประรดทำอุเทน มวลเริ่มต้นเท่ากับ 500 กรัม ในทุกระบบ ข้อมูลถูกวัดและบันทึกข้อมูลทุก 5 นาที พร้อมทั้งแสดงผลแบบเรียลไทม์ ประกอบด้วยค่าพลังงาน แสงอาทิตย์ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และมวลของสับประรดทำอุเทนที่เปลี่ยนแปลง

6. สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

6.1. ความชื้นมาตรฐานแห้ง

ปริมาณความชื้นมาตรฐานแห้ง (Dry Basis) คือ ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในวัสดุเมื่อเทียบกับมวลของวัสดุแห้งในรูปแบบสัดส่วนมวลของน้ำในวัสดุต่อมวลวัสดุแห้ง เมื่อคูณด้วย 100 จะได้ค่าเป็น % ซึ่งเขียนความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ (1)

$$M_d = \frac{(w - d) \times 100\%}{d} \quad (1)$$

โดยที่

M_d	คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง, %
w	คือ มวลเริ่มต้นของวัสดุขึ้น, กิโลกรัม
d	คือ มวลของวัสดุแห้ง, กิโลกรัม

6.2. สัดส่วนความชื้นของการอบแห้ง

สัดส่วนความชื้น (Moisture Ratio, MR) คือ ดัชนีชี้วัดปริมาณความชื้นที่เหลือหลังการอบแห้งกับปริมาณความชื้นเริ่มต้นเพื่อใช้ในการประเมินสมรรถนะของกระบวนการอบแห้ง (Zhu et al., 2023) โดยมีความสัมพันธ์ดังสมการที่ (2)

$$MR = \frac{(M_t - M_{eq})}{(M_i - M_{eq})} \approx \frac{M_t}{M_i} \quad (2)$$

โดยที่

MR	คือ สัดส่วนความชื้น (ไร้หน่วย)
M_t	คือ ความชื้นที่เวลาใด ๆ (%)
M_i	คือ ความชื้นเริ่มต้น (%)
M_{eq}	คือ ความชื้นสมดุล (%)

6.3. อัตราการอบแห้ง

อัตราการอบแห้ง (Drying Rate, DR) แสดงถึงความเร็วที่ความชื้นภายในผลิตภัณฑ์ถูกขับออกจากผลิตภัณฑ์ระหว่างกระบวนการอบแห้ง ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังสมการที่ (3) (Delfiya et al., 2022)

$$DR = \frac{W_i - W_t}{t} \quad (3)$$

โดยที่

DR	คือ อัตราการอบแห้ง (กรัม/นาท)
W_i	คือ มวลที่เวลาเริ่มต้น (กรัม)
W_t	คือ มวลที่เวลาใด ๆ (กรัม)
t	คือ เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (นาท)

7. การประเมินความคุ้มค่าด้านเศรษฐศาสตร์

การประเมินความคุ้มค่าสำหรับการลงทุนเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมรังสีอินฟราเรดที่ควบคุมด้วยระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (SD-IR-IoT) เริ่มจากการรวบรวมข้อมูลด้านต้นทุนคงที่ ได้แก่ ต้นทุนสร้างเครื่องอบแห้ง มูลค่าซากและอัตราดอกเบี้ย รวมทั้งข้อมูลต้นทุนแปรผัน เช่น พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย ค่าแรงงานต่อรอบการผลิต จำนวนรอบการผลิตต่อปีและราคาจำหน่ายผลิตภัณฑ์แห้ง เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ต้นทุนรวมและระยะคืนทุนของเครื่องอบแห้ง (Philip et al., 2022) ในส่วนของการวิเคราะห์ใช้ข้อมูลและสมมุติฐานดังนี้ ต้นทุนสร้างเครื่องอบแห้งและอายุการใช้งานเท่ากับ 7,000 บาท และ 10 ปี มูลค่าซากและค่าบำรุงรักษาเท่ากับ 10 และ 5% ของต้นทุนสร้างเครื่องอบแห้ง ราคาสับปะรดสดและสับปะรดแห้งเท่ากับ 20 และ 500 บาทต่อกิโลกรัม ใช้สับปะรดสด 2 กิโลกรัม จะได้สับปะรดแห้ง 0.5 กิโลกรัมต่อการอบการผลิต ค่าพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 5 บาทต่อการอบการผลิต ค่าแรงงาน 100 บาทต่อการอบการผลิต ผลิตจำนวน 200 รอบต่อปี และอัตราดอกเบี้ยเท่ากับ 8% ต่อปี

7.1. ต้นทุน

ต้นทุนรวมรายปี (Annual Total Cost: C_T) คือ ต้นทุนรวมทั้งหมดที่เกิดขึ้นในหนึ่งรอบการผลิตหรือหนึ่งปี ซึ่งสามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ (4)

$$C_T = C_e + C_L + C_p + C_m + C_i - C_s \quad (4)$$

โดยที่

- C_e คือ ต้นทุนพลังงานไฟฟ้ารายปี (บาท/ปี)
- C_L คือ ค่าแรงงาน (บาท/ปี)
- C_p คือ ค่าสับปะรดสดรายปี (บาท/ปี)
- C_m คือ ค่าบำรุงรักษารายปี (บาท/ปี) ซึ่งวิเคราะห์โดยใช้สมการที่ (5)
- C_i คือ เงินลงทุนเครื่องอบแห้งรายปี (บาท/ปี) โดยประเมินได้จากสมการที่ (6)
- C_s คือ มูลค่าซากเครื่องอบแห้งรายปี (บาท/ปี) ซึ่งวิเคราะห์โดยใช้ความสัมพันธ์ตามสมการที่ (7)

$$C_m = 0.05 \times \text{ต้นทุนสร้างเครื่องอบแห้ง} \quad (5)$$

$$C_i = \text{ต้นทุนสร้างเครื่องอบแห้ง} \times \left(\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right) \quad (6)$$

$$C_s = 0.10 \times \text{ต้นทุนสร้างเครื่องอบแห้ง} \times \left(\frac{i}{(1+i)^n - 1} \right) \quad (7)$$

เมื่อ

- i คือ อัตราดอกเบี้ยต่อปี (%)
- n คือ อายุการใช้งานเครื่องอบแห้ง (ปี)

7.2. ระยะเวลาคืนทุน

ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PP) คือ ระยะเวลาจากการเริ่มต้นลงทุนถึงเวลาที่รายได้สุทธิของการใช้เครื่องอบแห้งมีค่าเท่ากับจำนวนเงินลงทุน ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังสมการที่ (8)

$$PP = \frac{C}{B} \quad (8)$$

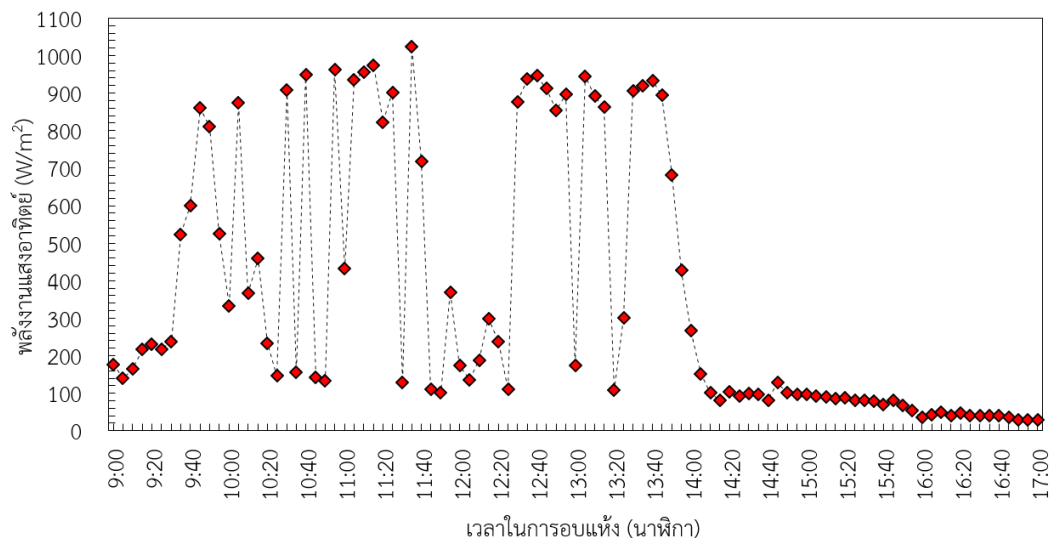
โดยที่

- PP คือ ระยะเวลาคืนทุน (ปี)
- C คือ ต้นทุนสร้างเครื่องอบแห้ง (บาท)
- B คือ รายได้สุทธิต่อปี (บาท/ปี)

ผลการวิจัยและการวิจารณ์ผลการวิจัย

1. พลังงานแสงอาทิตย์

การเปลี่ยนแปลงของพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ในกระบวนการอบแห้งมีการเปลี่ยนแปลงตลอดช่วงการอบแห้ง ดังภาพที่ 6 พบว่า ช่วงเช้า (9:00-12:00 น.) พลังงานแสงอาทิตย์มีการผันผวนอย่างชัดเจน โดยเฉพาะในช่วงเวลา 9:45-10:15 น. มีการเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างรวดเร็วของพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Fernandes and Tavares (2024) ที่ระบุว่าพลังงานแสงอาทิตย์มีความผันผวนตามช่วงเวลาของวันและสภาพอากาศ สำหรับในช่วงเที่ยง (12:00-14:00 น.) พลังงานแสงอาทิตย์ยังคงมีความผันผวนสูง แต่มีแนวโน้มที่ลดลงในบางช่วงเวลา โดยพลังงานตกกระทบสูงสุดพบในช่วงเวลา 12:30-12:45 น. และช่วงบ่าย (14:00-17:00 น.) พลังงานแสงอาทิตย์มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะหลังจากเวลา 14:30 น. พลังงานแสงอาทิตย์ลดลงจนเกือบไม่มีพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วงเวลา 16:00-17:00 น. ซึ่งการผันผวนของพลังงานแสงอาทิตย์จะส่งผลกระทบต่อกระบวนการอบแห้งอย่างมาก เนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานหลักในการให้ความร้อน (Malakar et al., 2023) ดังนั้นการควบคุมอุณหภูมิและเวลาของกระบวนการอบแห้งจำเป็นต้องพิจารณาพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้รับในแต่ละช่วงเวลาเพื่อให้ได้ผลการอบแห้งที่มีสมรรถนะสูงสุด (Sharma et al., 2025)

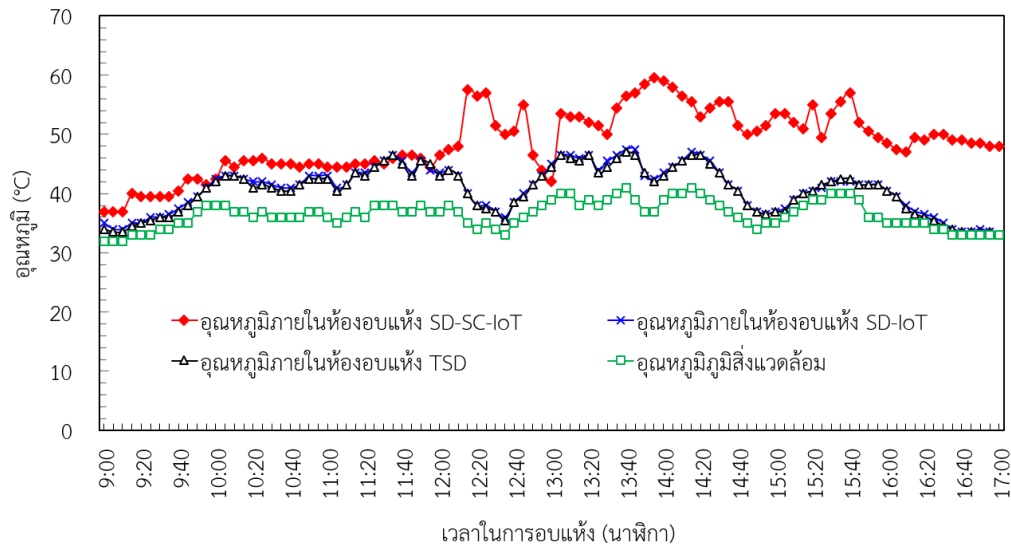


ภาพที่ 6 การเปลี่ยนแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ตามเวลา

2. อุณหภูมิในห้องอบแห้ง

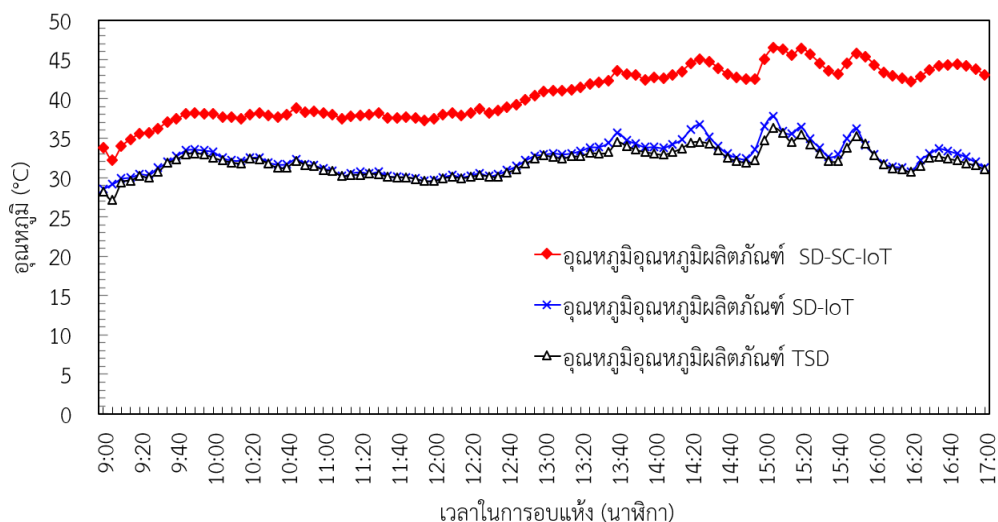
การเปลี่ยนอุณหภูมิภายในห้องอบแห้ง จากข้อมูลพบว่าอุณหภูมิในระบบ SD-IR-IoT สูงกว่า SD-IoT และสูงกว่า TSD ประมาณ 5-45 % ดังภาพที่ 7 โดยอุณหภูมิคงที่ในช่วง 45-50°C ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ghasemi et al. (2023) ที่ระบุว่า การผสมผสานระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์และอินฟราเรดสามารถช่วยแก้ปัญหาความผันผวนของพลังงานแสงอาทิตย์และช่วยรักษาอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งให้คงที่ ตามเงื่อนไขที่ควบคุมไว้ (50-70°C) ในส่วนระบบ SD-IoT และระบบ TSD มีแนวโน้มของอุณหภูมิที่ผันผวนอยู่ในช่วง 35-45°C ทั้งนี้เนื่องจากไม่ได้มีแหล่งพลังงานเสริมในช่วงที่พลังงานแสงอาทิตย์ผันผวนดัง

ภาพที่ (Ragasudha et al., 2023) จากข้อมูลจึงพบว่าระบบ SD-IR-IoT สามารถควบคุมอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งให้อยู่ในช่วงที่ตั้งไว้ ซึ่งส่งผลต่ออัตราการอบแห้ง (Sharma et al., 2025)

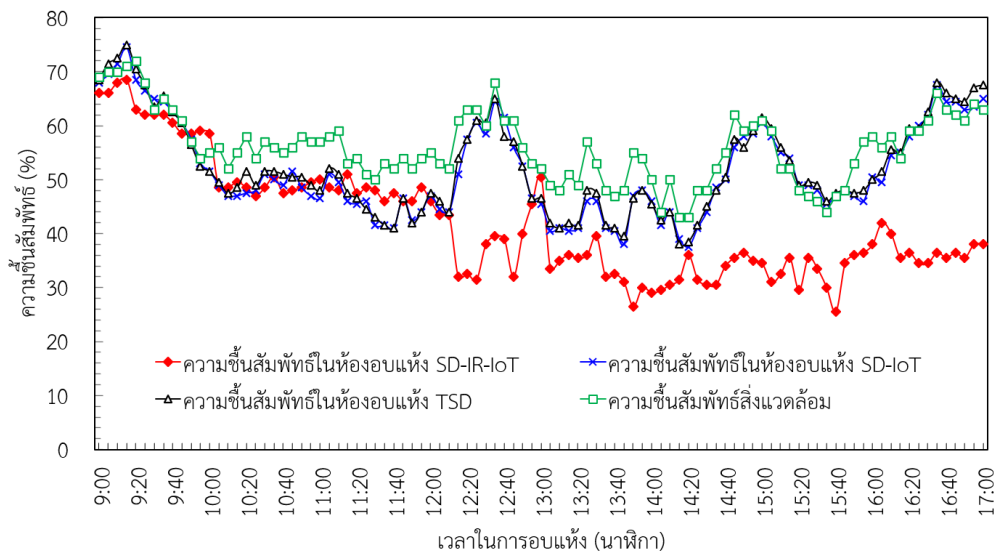


ภาพที่ 7 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งตามเวลา

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผลิตภัณฑ์ในระหว่างการอบแห้ง ดังภาพที่ 8 พบว่า ระบบ SD-IR-IoT มีอุณหภูมิผลิตภัณฑ์สูงที่สุดและมีความผันผวนน้อยที่สุด ซึ่งเป็นผลจากการผสมผสานระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์และอินฟราเรดที่ช่วยเพิ่มสมรรถนะการอบแห้ง (Malakar et al., 2023) อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ในระบบ SD-IR-IoT สูงกว่า TSD ประมาณ 24 % และสูงกว่า SD-IoT ประมาณ 25 % ในขณะที่อุณหภูมิผลิตภัณฑ์ในระบบ SD-IoT สูงกว่าระบบ TSD โดยเฉลี่ยประมาณ 1.3 % เนื่องจากระบบ SD-IoT พัฒนทำงานตามเงื่อนไขที่กำหนด ทำให้การระบายอากาศต่ำกว่าระบบ TSD ดังนั้นพลังงานความร้อนจึงสะสมมากกว่า และจากข้อมูลพบว่าทั้งระบบ SD-IoT และ TSD มีพฤติกรรมอุณหภูมิที่ผันผวนตามช่วงเวลาของวัน โดยเฉพาะในช่วงบ่ายที่มีการลดลงของอุณหภูมิ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Krabch et al. (2022) ที่ระบุว่าการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว โดยไม่มีแหล่งพลังงานเสริมจะส่งผลให้อุณหภูมิผลิตภัณฑ์ลดลง



ภาพที่ 8 การเปลี่ยนอุณหภูมิผลิตภัณฑ์ตามเวลา



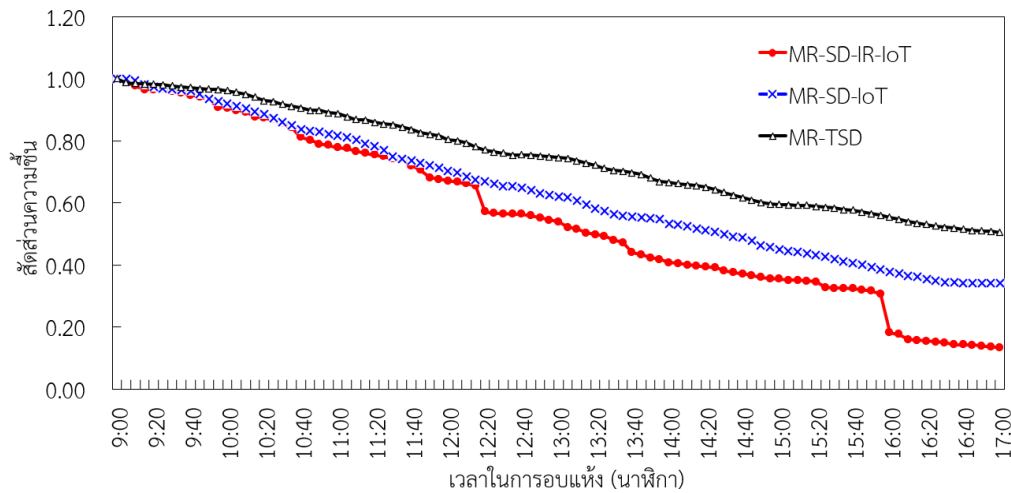
ภาพที่ 9 การเปลี่ยนความชื้นสัมพัทธ์อากาศตามเวลา

3. ความชื้นสัมพัทธ์

ความชื้นสัมพัทธ์ในระหว่างการอบแห้ง จากข้อมูลพบว่าระบบ SD-IR-IoT มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำที่สุดตลอดช่วงการอบแห้ง โดยมีความชื้นเฉลี่ยต่ำกว่าระบบ SD-IoT และ TSD ประมาณ 10-30% ดังภาพที่ 9 ทั้งนี้เกิดจากการผสมผสานระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับอินฟราเรดซึ่งช่วยลดค่าความชื้นสัมพัทธ์และการควบคุมผ่าน IoT ที่แม่นยำการควบคุมนี้เป็นไปตามเงื่อนไขที่ตั้งค่าไว้ คือ พัดลมทำงานในช่วงความชื้นสัมพัทธ์อากาศ 30-50% ส่งผลให้ความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในห้องอบแห้งเปลี่ยนในรอบที่ควบคุม (Mehdipour and Ghaffari, 2021) ระบบ SD-IoT แม้มีการควบคุมของ IoT ซึ่งช่วยปรับความชื้นให้เหมาะสมแต่ยังไม่มีศักยภาพต่ำกว่าระบบ SD-IR-IoT ทั้งนี้เนื่องจากการไม่มีการเสริมแหล่งความร้อนเสริมเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว ขณะที่ระบบ TSD มีความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่าระบบ SD-IoT เล็กน้อย เนื่องจากพัดลมทำงานต่อเนื่อง ซึ่งจะช่วยให้เฉพาะในส่วนของการไหลเวียนของอากาศ แต่ไม่มีการควบคุมความชื้นเหมือนกับระบบ SD-IR-IoT และ SD-IoT

4. สัดส่วนความชื้น

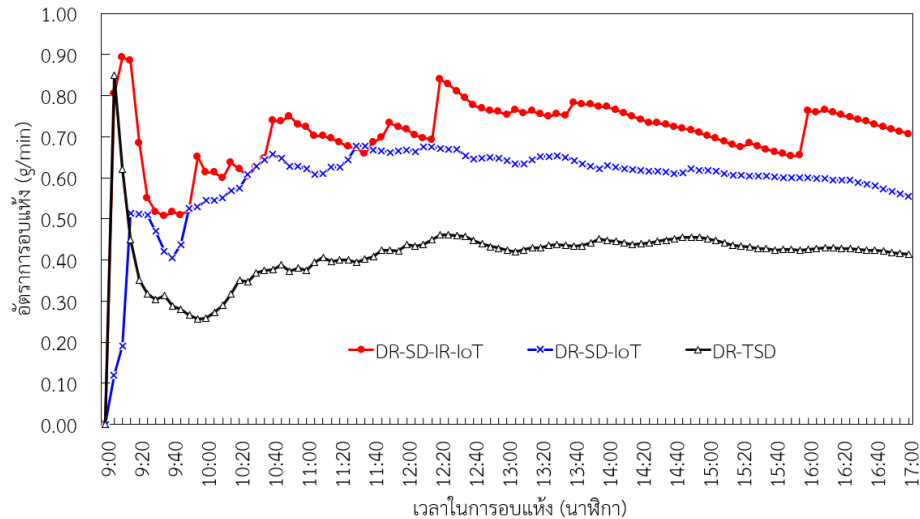
การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนความชื้นตามเวลา จากข้อมูลพบว่าระบบ SD-IR-IoT สัดส่วนความชื้นลดลงรวดเร็วที่สุด โดยเริ่มจากสัดส่วนความชื้นเท่ากับ 1.0 และลดลงเหลือประมาณ 0.15 ภายในเวลา 17:00 น. ดังภาพที่ 10 ทั้งนี้เนื่องจากการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับอินฟราเรดและการควบคุมผ่าน IoT สามารถควบคุมอุณหภูมิและการไหลเวียนของอากาศได้อย่างต่อเนื่องและเหมาะสม จึงส่งผลต่อศักยภาพการลดความชื้นของระบบ (Khan et al., 2026) สำหรับระบบ SD-IoT การลดสัดส่วนความชื้นมีความผันผวน โดยเริ่มจากสัดส่วนความชื้น 1.0 และลดลงเหลือ 0.35 ภายในเวลา 17:00 น. การผันผวนนี้เกิดขึ้นเนื่องจากการควบคุมพัดลมผ่าน IoT ที่ทำให้พัดลมทำงานเป็นช่วง ๆ ตามเงื่อนไขที่กำหนด เมื่อพัดลมหยุดทำงาน การระบายความชื้นจะลดลง เมื่อลมทำงานอีกครั้ง ความชื้นก็จะลดลง ส่วนระบบ TSD สัดส่วนความชื้นลดลงช้าที่สุด โดยลดลงจาก 1.0 เหลือ 0.50 ภายในเวลา 17:00 น. ทั้งนี้เนื่องจากการไม่มีแหล่งพลังงานเสริม นอกจากนั้นพัดลมยังทำงานตลอด ส่งผลให้ความร้อนสะสมในระบบลดลง ดังนั้นผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าระบบ SD-IR-IoT มีศักยภาพในการลดสัดส่วนความชื้นของผลิตภัณฑ์ ทำให้ความชื้นลดลงมากถึง 80%



ภาพที่ 10 การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนความชื้นตามเวลา

5. อัตราการอบแห้ง

การเปลี่ยนแปลงอัตราการอบแห้งตามเวลา จากข้อมูลพบว่าระบบต่าง ๆ มีอัตราการอบแห้งที่ต่างกันอย่างชัดเจน ระบบ SD-IR-IoT มีอัตราการอบแห้งสูงกว่า TSD ตลอดระยะเวลาการอบแห้ง ดังภาพที่ 11 โดยเริ่มต้นที่ประมาณ 0.8 กรัม/นาที่ และค่อย ๆ ลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงประมาณ 0.4 กรัม/นาที่ ภายในเวลา 17:00 น. อัตราการอบแห้งที่เปลี่ยนแปลงค่อนข้างต่ำนี้เกิดจากการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับอินฟราเรดซึ่งช่วยควบคุมอุณหภูมิและการไหลเวียนของอากาศที่เหมาะสมผ่าน IoT ลักษณะดังกล่าวสอดคล้องกับทฤษฎีจลนพลศาสตร์การอบแห้งที่อธิบายว่าการพาความร้อนแบบบังคับและการควบคุมอุณหภูมิอย่างต่อเนื่องจะส่งผลให้มีช่วงของอัตราการอบแห้งคงที่ยาวนานกว่าระบบการพาความร้อนแบบธรรมชาติ (Hidalgo et al., 2021) และมีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นที่สูง ตามที่ Alfiya et al. (2025) สรุปไว้ว่า ระบบการอบแห้งด้วยอินฟราเรดแบบพาความร้อน มีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นสูงกว่าระบบการตากแดด ส่งผลให้อัตราการอบแห้งสูง จากข้อมูลพบว่าระบบ SD-IoT มีอัตราการอบแห้งที่ผันผวนมากกว่า การผันผวนนี้เกิดจากระบบขาดแหล่งพลังงานเสริมและการระบายอากาศ ส่งผลให้อุณหภูมิอบแห้งผันผวน ซึ่งลักษณะดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ghafar et al. (2025) ในส่วนของระบบ TSD มีอัตราการอบแห้งต่ำ เนื่องจากไม่มีแหล่งพลังงานเสริม อีกทั้งพัดลมยังทำงานต่อเนื่องขาดการควบคุมที่เหมาะสม ผลจากการศึกษาพบว่าระบบ SD-IR-IoT มีศักยภาพการอบแห้งสูงกว่าระบบอื่น สามารถควบคุมอุณหภูมิอบแห้งให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ (Mishra et al., 2025)



ภาพที่ 11 การเปลี่ยนแปลงอัตราการอบแห้งตามเวลา

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์เครื่องแห้ง SD-IR-IoT

รายการ	ข้อมูล	หน่วย
ต้นทุนสร้างเครื่องอบแห้ง, C	7,000	บาท
ค่าพลังงานไฟฟ้ารายปี, C_e	1,000	บาท/ปี
ค่าแรงงาน, C_L	20,000	บาท/ปี
เงินลงทุนซื้อสับปะรดสด, C_p	8,000	บาท/ปี
ค่าบำรุงรักษารายปี, C_m	350	บาท/ปี
เงินลงทุนเครื่องอบแห้งรายปี, C_i	1,043	บาท/ปี
มูลค่าซากเครื่องอบแห้งรายปี, C_s	48	บาท/ปี
รายรับจากการขายสับปะรดอบแห้ง, C_{pd}	50,000	บาท/ปี
ต้นทุนรวมรายปี, C_T	30,345	บาท/ปี
ผลกำไรสุทธิรายปี, $B (C_{pd} - C_T)$	19,655	บาท/ปี
ระยะคืนทุน, $PP (C / B)$	0.36	ปี

6. ผลการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

ผลการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์เครื่องอบแห้ง SD-IR-IoT ดังตารางที่ 2 ผลจากการวิเคราะห์ภายใต้ข้อมูลและสมมติฐานข้างต้น พบว่าเครื่องอบแห้ง SD-IR-IoT มีต้นทุนรวมรายปี 30,345 บาท และให้ผลกำไรสุทธิ 19,655 บาทต่อปี โดยคิดเป็นระยะเวลาคืนทุน 0.36 ปี ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความคุ้มค่าทางการลงทุน

ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ประเมินสมรรถนะของเครื่องอบแห้งสับปะรดทำอุเทนแบบผสมผสานพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ด้วยระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (SD-IR-IoT) เปรียบเทียบกับระบบ SD-IoT และ TSD ภายใต้สภาวะแวดล้อมเดียวกัน ผลการทดลองยืนยันว่า การผสมผสานแหล่งพลังงานเสริมอินฟราเรดขนาด 200 วัตต์ ร่วมกับการควบคุมแบบเรียลไทม์ผ่าน IoT สามารถรักษาอุณหภูมิในห้องอบให้อยู่ในช่วงที่กำหนด (50–70°C) ได้เสถียรกว่าระบบอื่น โดยมีค่าอุณหภูมิสูงกว่าระบบ SD-IoT และ TSD ประมาณ 5–45% และสามารถลดความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยลงได้ 10–30% ส่งผลโดยตรงต่ออัตราการอบแห้ง ในด้านสมรรถนะการลดความชื้น ระบบ SD-IR-IoT สามารถลดค่าสัดส่วนความชื้นจาก 1.0 เหลือประมาณ 0.15 ภายใน 8 ชั่วโมง ขณะที่ SD-IoT และ TSD ลดลงเพียงประมาณ 0.35 และ 0.50 ตามลำดับ อัตราการอบแห้งของ SD-IR-IoT อยู่ในช่วง 0.4–0.8 กรัม/นาที่ ซึ่งสูงกว่าและมีความสม่ำเสมอกว่าระบบอื่นอย่างชัดเจน สะท้อนถึงประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนและความชื้นเป็นอย่างดี และสุดท้ายในด้านเศรษฐศาสตร์ ระบบ SD-IR-IoT มีต้นทุนรวมรายปี 30,345 บาท และให้ผลกำไรสุทธิ 19,655 บาทต่อปี คิดเป็นระยะเวลาคืนทุนเพียง 0.36 ปี แสดงถึงความคุ้มค่าทางการลงทุนในระดับชุมชน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยนครพนม ที่ให้การสนับสนุนในเรื่องของสถานที่ในการทำวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณคณะที่มวิจัยทุกท่านที่ช่วยเหลือให้การวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- กลุ่มยุทธศาสตร์พัฒนาการเกษตร สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดนครพนม. (2566). **แผนพัฒนาการเกษตรและสหกรณ์ของจังหวัดนครพนม พ.ศ. 2566 - 2570**. นครพนม: สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดนครพนม.
- Alfiya, P., Jayashree, E., and Theertha, K. (2025). Conventional sun drying and infrared convective drying of spices: A comparative evaluation on kinetics and quality. *Solar Energy*, 291, 113396. doi: 10.1016/j.solener.2025.113396
- Alkhdery, L. A. (2023). Automated temperature and humidity control and monitoring system for improving the performance in drying system. *Eurasian Physical Technical Journal*, 20(2), 32–40. doi: 10.31489/2023No2/32-40
- AOAC. (2019). **Official methods of analysis of AOAC International** (21sted.). Gaithersburg, MD: AOAC International.
- Archvadze, K., Chachava, I., Liparteliani, R., Khotenashvili, N., Chubinishvili, Z., and Tabukashvili, Z. (2022). On the issue of creating solar drying plants for the purpose of obtaining dried agricultural products. *World Science*, 4, 76. doi: 10.31435/rsglobal_ws/30062022/7836
- Arslan, E. (2023). Experimental performance analysis of infrared assisted solar air heater for continuous applications of drying. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 45(1), 1168–1185. doi: 10.1080/15567036.2023.2176572
- Behera, D. D., Mohanty, A. M., and Mohanty, R. C. (2022). Recent advances in solar drying technologies: A comprehensive review. *Journal of Energy Systems*, 6(4), 503–519. doi: 10.30521/jes.1050814

- Chen, Y., Zheng, L., and Peng, H. (2023). Assessing pineapple maturity in complex scenarios using an improved RetinaNet algorithm. **Engenharia Agricola**, 43(2). doi: 10.1590/1809-4430-eng.agric.v43n2e20220180/2023
- Delfiya, D. S. A., Prashob, K., Murali, S., Alfiya, P. V., Samuel, M. P., and Pandiselvam, R. (2022). Drying kinetics of food materials in infrared radiation drying: A review. **Journal of Food Process Engineering**, 45(6), e13810. doi: 10.1111/jfpe.13810
- ElGamal, R., Song, C., Rayan, A. M., Liu, C., Al-Rejaie, S., and ElMasry, G. (2023). Thermal degradation of bioactive compounds during drying process of horticultural and agronomic products: A comprehensive overview. **Agronomy**, 13(6). doi: 10.3390/agronomy13061580
- Fernandes, L., Fernandes, J. R., and Tavares, P. B. (2022). Design of a friendly solar food dryer for domestic over-production. **Solar**, 2(4), 495–508. doi: 10.3390/solar2040029
- Fernandes, L., and Tavares, P. B. (2024). A review on solar drying devices: Heat transfer, air movement and type of chambers. **Solar**, 4(1), 15–42. doi: 10.3390/solar4010002
- Ghafar, H., W. R., I., S. A. N., Mohd Yamin, A. F., and Yusoff, H. (2025). Implementation of an Internet of Things-based monitoring system to evaluate solar dryer performance on mullet fish. **Food Research**, 9(1). doi: 10.26656/fr.2017.9(S1).026
- Ghasemi, G., Moradi, M., Zare, D., Golbakhshi, H., and Namjoo, M. (2023). Energy and exergy-based threshold setting for the auxiliary heating source of a hybrid solar/IR drying system. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, 59, 103400. doi: 10.1016/j.seta.2023.103400
- Gilago, M. C., and Chandramohan, V. P. (2023). Study of drying parameters of pineapple and performance of indirect solar dryer supported with thermal energy storage: Comparing passive and active modes. **Journal of Energy Storage**, 61, 106810. doi: 10.1016/j.est.2023.106810
- Hadibi, T., Boubekri, A., Mennouche, D., Benhamza, A., Youcef-Ali, S., Boualit, H., and Benatallah, A. (2023). Drying characteristic, sustainability, and 4E (energy, exergy, and enviro-economic) analysis of dried date fruits using indirect solar-electric dryer: An experimental investigation. **Renewable Energy**, 218, 119291. doi: 10.1016/j.renene.2023.119291
- Hidalgo, L. F., Candido, M. N., Nishioka, K., Freire, J. T., and Vieira, G. N. A. (2021). Natural and forced air convection operation in a direct solar dryer assisted by photovoltaic module for drying of green onion. **Solar Energy**, 220, 24–34. doi: 10.1016/j.solener.2021.02.061
- Ibrahim, A., Cattaneo, T. M. P., Amer, A., & Helyes, L. (2023). Drying technology evolution and global concerns related to food security and sustainability. In J. S. Tumuluru (Ed.), **Food processing and packaging technologies: Recent advances** (1st ed., pp. 135–182). London, UK: IntechOpen.
- Jin, Y., Yin, J., Xie, H., and Zhang, Z. (2023). Investigation of a precise control scheme for rice quality. **Applied Sciences**, 13(13), 7532. doi: 10.3390/app13137532
- Khan, S. A., Dwivedi, M., Dar, A. H., Singh, S. K., Sultan, U., and Haroon, A. (2026). Thermodynamic analysis of heat and mass transfer of strawberry slices in an IoT-based solar–infrared hybrid dryer. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**. doi: 10.1007/s10973-025-15150-3
- Komanee, K., Namkhat, A., Pumchumpol, S., and Teeboonma, U. (2025a). Effect of temperature and air velocity on kinetics and energy efficiency of fish fillets drying. **Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences**, 132(2), 1–17. doi: 10.37934/arfmts.132.2.117

- Komanee, K., Namkhat, A., and Teeboonma, U. (2025b). Integrating Internet of Things for performance enhancement of hot air dryer. **EUREKA: Physics and Engineering**, 5, 105–116. doi: 10.21303/2461-4262.2025.003896
- Komanee, K., Pumchumpol, S., Namkhat, A., Chaivot, K., Patikanang, R., and Teeboonma, U. (2025c). Enhancing energy and exergy efficiency in hot air drying system using IoT-controlled adaptive air recirculation. **Journal of Advanced Research in Experimental Fluid Mechanics and Heat Transfer**, 21(1), 165–181. doi: 10.37934/arefmht.21.1.165181
- Krabch, H., Tadili, R., and Bargach, M. (2022). Indirect solar dryer with a single compartment for food drying. Application to the drying of the pear. **Solar Energy**, 240, 131–139. doi: 10.1016/j.solener.2022.05.025
- Malakar, S., Arora, V. K., Nema, P. K., and Yadav, D. K. (2023). Development of infrared-assisted hybrid solar dryer for drying pineapple slices: Investigation of drying characteristics, mass transfer parameters, and quality attributes. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, 88, 103437. doi: 10.1016/j.ifset.2023.103437
- Mehdipour, R., and Ghaffari, A. (2021). Solar dryer performance simulation: Experimental and numerical study. **Journal of Food Process Engineering**, 44(11), e13875. doi: 10.1111/jfpe.13875
- Mishra, L., Hauchhum, L., Gurung, J., and Gupta, R. (2025). Environmental impact and performance comparison of solar and grid-powered dryers. **Energy Sources**, 47(1), 61–73. doi: 10.1080/15567036.2024.2441417
- Pérez-González, E., Severiano-Pérez, P., Aviña-Jiménez, H. M., and Velázquez-Madrado, O. D. C. (2023). Geothermal food dehydrator system, operation and sensory analysis, and dehydrated pineapple quality. **Food Science and Nutrition**, 11(11), 6711–6727. doi: 10.1002/fsn3.3249
- Philip, N., Duraipandi, S., and Sreekumar, A. (2022). Techno-economic analysis of greenhouse solar dryer for drying agricultural produce. **Renewable Energy**, 199, 613–627. doi: 10.1016/j.renene.2022.08.148
- Rahman, M. Z., and Hasanuzzaman, M. (2022). Solar drying system. In M. Z. Rahman & M. Hasanuzzaman (Eds.), **Technologies for solar thermal energy** (1st ed., pp. 237–266). Cambridge, MA: Academic Press.
- Ragasudha, R., Karthickumar, P., Murali, S., Pradeep, R., Rathnakumar, K., Mercy Amrita, C., ... Manimehalai, N. (2023). Design and performance analysis of a PV-powered solar-infrared hybrid dryer for anchovy fish drying. **Biomass Conversion and Biorefinery**, 14(15), 17555–17566. doi: 10.1007/s13399-023-03944-0
- Rani, P., and Tripathy, P. P. (2022). Investigating shrinkage corrected drying characteristics, rehydration, color profile and microstructural evolution during solar drying of pineapple slices. **Journal of Food Process Engineering**, 45(8), e14036. doi: 10.1111/jfpe.14036
- Sharma, B. B., Gupta, G., Vaidya, P., Basheer, S., Memon, F. H., and Thakur, R. N. (2022). Internet of Things-based crop classification model using deep learning for indirect solar drying. **Wireless Communications and Mobile Computing**, 2022, 1–11. doi: 10.1155/2022/1455216
- Sharma, B. B., Vaidya, P., Kumar, N., Tiwari, A., Bansal, S., Faruque, M. R. I., and Al-Mugren, K. S. (2025). Enhancing post-harvest sustainability in temperate crops through smart IoT-integrated indirect solar dryer. **Scientific Reports**, 15(1), 28608. doi: 10.1038/s41598-025-13499-x
- Zhu, G., Raghavan, G. S. V., and Li, Z. (2023). Predicting the moisture ratio of a Hami melon drying process using image processing technology. **Foods**, 12(3), 672. doi: 10.3390/foods12030672

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งสีทองในจังหวัดเลย Development of Golden-Dried Longan Product in Loei Province

จุไรรัตน์ อางแก้ว^{1*} และ โสภา ธงศิลา²

Jurairat Ardkaew^{1*} and Sopa Thongsila²

¹สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย จังหวัดเลย 42000

²สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย จังหวัดเลย 42000

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

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

*Corresponding author E-mail: jurairat.ard@lru.ac.th

Received 7 April 2025, Accepted 28 October 2025, Published 20 March 2026

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งสีทองจังหวัดเลย โดยศึกษาผลของอุณหภูมิการลวกและความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ต่อสมบัติทางกายภาพ และเคมีของเนื้อลำไยสดโดยลวกที่อุณหภูมิ 70 80 และ 90°C และแช่สารละลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ (KMS) ที่ความเข้มข้น 500 1,000 และ 1,500 ppm พบว่า การลวกที่ 80°C และแช่ในสารละลาย KMS 500 ppm มีค่าสี L* สูงสุด ค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลต่ำสุด ความเป็นกรด-ด่าง 6.46 ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้าง 12.07 ppm แล้วนำมาอบแห้งจนมีความชื้นสุดท้าย 18% พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิแบบขั้นเดียว 60 70 และ 80°C ใช้เวลาอบแห้งรวม 360 330 300 นาทีตามลำดับ ส่วนการอบแห้งที่อุณหภูมิแบบหลายขั้นมี 3 แบบคือ 1) ใช้อุณหภูมิมอบช่วงแรก 60°C และช่วงที่สอง 70°C และกำหนดเวลาอบช่วงแรก 2 ระดับคือ 60 และ 120 นาที ใช้เวลาอบแห้งรวม 330 และ 300 นาทีตามลำดับ 2) ใช้อุณหภูมิมอบช่วงแรก 70°C และช่วงที่สอง 60°C และกำหนดเวลาอบช่วงแรก 2 ระดับคือ 60 และ 120 นาที ใช้เวลาอบแห้งรวม 300 และ 270 นาทีตามลำดับ 3) ใช้อุณหภูมิมอบช่วงแรก 80°C และช่วงที่สอง 70°C และกำหนดเวลาอบในช่วงแรก 2 ระดับคือ 60 และ 120 นาที ใช้เวลาอบแห้งรวม 270 และ 240 นาทีตามลำดับ และทำการทดสอบประสาทสัมผัสพบว่า เนื้อสัมผัส สี รสชาติ ความชอบโดยรวม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ยกเว้นกลิ่น และเมื่อพิจารณาคะแนนความชอบเฉลี่ยพบว่า ลำไยอบแห้งที่ใช้อุณหภูมิมอบในการอบแห้งในช่วงแรก 80°C 60 นาที และช่วงที่สอง 70°C มีคะแนนความชอบเฉลี่ยสูงที่สุดในด้านสี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม ยกเว้นด้านเนื้อสัมผัส มีคะแนนความชอบเฉลี่ยเป็นอันดับที่สองรองจากลำไยอบแห้งที่ใช้อุณหภูมิมอบในการอบแห้งในช่วงแรก 70°C 60 นาที และช่วงที่สอง 60°C

คำสำคัญ: การอบแห้ง ผลิตภัณฑ์ลำไย ลำไยอบแห้งสีทอง

ABSTRACT

The objective of research was to develop the dried longan processing method in Loei Province by studying the effects of the blanching temperatures and potassium metabisulfite (KMS) concentration on the physical and chemical properties of the longan flesh. The longan flesh was blanched at temperatures of 70, 80, and 90°C and soaked in KMS solutions at concentrations of 500, 1,000, and 1,500 ppm. The results revealed that blanching at 80 °C combined with soaking in 500 ppm KMS yielded the highest L* color value; the lowest browning index; a pH of 6.46, and sulfur dioxide residual of 12.07 ppm. Then the blanched longan was subsequently dried until a final moisture content of 18% was reached. For single-stage drying, drying temperature of 60, 70, and 80°C required total drying time of 360, 330, and 300 min, respectively. For the multi-stage drying, three drying conditions were applied: (1) a first-stage temperature of 60°C followed by a second-stage temperature of 70°C, with first-stage durations of 60 and 120 min, resulting in total drying times of 330 and 300 min, respectively; (2) a first-stage temperature of 70°C followed by a second-stage temperature of 60°C, with first-stage durations of 60 and 120 min, yielding total drying times of 300 and 270 min, respectively; and (3) a first-stage temperature of 80°C followed by a second-stage temperature of 70°C, with first-stage durations of 60 and 120 min, corresponding to total drying times of 270 and 240 min, respectively. Sensory evaluation indicated that overall preference, including texture, color, and taste, except for odor, differed significantly at the 0.05 level. Based on the preference scores, dried longan processed with an initial drying temperature of 80°C for 60 min, followed by a second stage at 70°C received the highest score for color, odor, taste and overall preference. However, its texture ranked second, following the sample dried initially at 70°C for 60 min and followed by a second stage at 60°C.

Keywords: Drying, Longan product, Gold-Dried Longan

บทนำ

ลำไยเป็นไม้ผลเศรษฐกิจสำคัญของประเทศไทย เป็นสินค้าเกษตรที่มีการผลิตเพื่อการบริโภคในประเทศ และการส่งออกทั้งผลลำไยสด และผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ของลำไย ตลาดส่งออกต่างประเทศที่สำคัญ ได้แก่ จีน เวียดนาม ฮองกง สิงคโปร์ อินโดนีเซีย มาเลเซีย สหรัฐอเมริกา และประเทศแถบยุโรป โดยตลาดส่งออกลำไยหลักของไทยคือประเทศจีน หากพิจารณาจากพื้นที่เพาะปลูกประเทศไทยในปี พ.ศ. 2567 มีพื้นที่เพาะปลูกจำนวน 1,644,559 ไร่ ส่วนใหญ่อยู่ใน จังหวัดทางภาคเหนือจำนวน 1,256,112 ไร่ รองลงมาคือ ภาคกลาง จำนวน 357,915 ไร่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จำนวน 31,481 ไร่ และภาคใต้จำนวน 275 ไร่ ตามลำดับ ซึ่งผลผลิตต่อไร่ในแต่ละภาคก็จะแตกต่างกันไป โดยผลผลิตของภาคตะวันออกเฉียงเหนืออยู่ที่ 441 กิโลกรัมต่อไร่ ในจังหวัดเลยมีพื้นที่เพาะปลูกลำไย จำนวน 13,479 ไร่ มีผลผลิตรวม 4,751 ตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2568) ส่วนใหญ่เป็นพันธุ์อีตอ ซึ่งเป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกมากที่สุดใน ประเทศไทย มีขนาดผลปานกลาง เนื้อหนา สีขาวใส กิ่งโปร่งแสง หวาน กรอบ มีกลิ่นหอมและเมล็ดเล็กและมีผลผลิตสูง โดยมีกลุ่มเกษตรกรแปลงใหญ่ลำไยใน 3 อำเภอ ประกอบด้วย อำเภอเมืองเลย อำเภอปากชม และอำเภอหนองหิน ซึ่งกลุ่มเกษตรกรแปลงใหญ่ลำไย หมู่ที่ 2 ตำบลน้ำสวย อำเภอเมืองเลย จังหวัดเลย เป็นกลุ่มใหญ่ที่สุด มีสมาชิกจำนวน 45 ครัวเรือน มีพื้นที่ปลูกลำไยรวม 598.25 ไร่ เน้นการใช้เกษตรอินทรีย์ และเป็นพื้นที่ที่ได้รับการรับรองมาตรฐานสินค้าเกษตรการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี (Good Agricultural Practices : GAP) ว่าเป็นพื้นที่ที่ไม่มีวัตถุอันตรายที่ก่อให้เกิดการตกค้างหรือปนเปื้อน

ในผลิตภัณฑ์ มีการผลิตสินค้าเกษตรที่ปลอดภัยต่อการบริโภค อีกทั้งยังเป็นแหล่งจำหน่ายลำไยที่ใหญ่ที่สุดในจังหวัดเลย และมีการปลูกลำไยมาช้านานมากกว่า 20 ปี จากการที่เกษตรกรหันมาปลูกลำไยเพิ่มขึ้นทำให้เมื่อถึงฤดูกาลเก็บเกี่ยวผลผลิต มีผลผลิตลำไยสดในปริมาณมากจนผลผลิตลำไยล้นตลาด อีกทั้งลำไยเป็นผลไม้ที่เน่าเสียง่ายมีช่วงเวลาในการเก็บเกี่ยวเพียง 1 - 2 เดือน ทำให้เกษตรกรต้องรีบตัดขาย ซึ่งผลผลิตลำไยของจังหวัดเลยส่วนใหญ่จะออกสู่ตลาดในเดือนกรกฎาคมถึงเดือนสิงหาคม และบางครั้งไม่สามารถจัดส่งต่อผู้บริโภคได้ทัน ทำให้มีการกดราคาหรือผลผลิตเสียหายระหว่างทางส่งผลทำให้รายได้ของเกษตรกรที่ได้รับจากการขายน้อยลงตามไปด้วย จากปัญหาดังกล่าวเกษตรกรชาวสวนลำไยในจังหวัดเลยสามารถนำลำไยที่เหลือจากการขายสดมาแปรรูปทำลำไยอบแห้งสีทอง จะเป็นการเพิ่มมูลค่าลำไยที่สามารถพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ชุมชนให้ตรงความต้องการของตลาด จะเป็นการแก้ไขปัญหาเรื่องสินค้าล้นตลาดและราคาตกต่ำได้ ช่วยเพิ่มรายได้ให้เกษตรกรเพราะสามารถขายได้ในราคาสูงถึงกิโลกรัมละ 150-400 บาท แต่ในปัจจุบันกลุ่มเกษตรกรในจังหวัดเลยยังขาดมีทักษะและองค์ความรู้ในการแปรรูปเป็นลำไยอบแห้งสีทองซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการมากในตลาดทั้งในประเทศและต่างประเทศ โดยจากการทบทวนวรรณกรรมในช่วงสองทศวรรษที่ผ่านมาการศึกษา การเก็บรักษาลำไย การทำลำไยอบแห้ง และปรับปรุงให้ดีขึ้นจากการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ เช่น Chitbanchong et al. (2009) ศึกษาผลการใช้ซิลเวอร์ไดออกไซด์และอนุภาคนาโนที่ใช้การเก็บ เพื่อยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลที่เปลือกของลำไย ซึ่งเป็นกลไกสำคัญสำหรับการลดค่า pH ของเนื้อเยื่อเปลือก และสร้างสภาวะที่ไม่เอื้อต่อการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (PPO) ที่เป็นสาเหตุของการเกิดสีน้ำตาล และ Tassanaudom and Kenghetkit (2009) ทำการศึกษาผลของโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ กรดแอสคอร์บิก กรดซิตริก ต่อคุณลักษณะด้านสีของลำไยอบแห้ง ซึ่งพบว่าการแช่เนื้อลำไยในสารละลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ ความเข้มข้น 0.02% เป็นเวลา 10 นาทีก่อนการอบแห้ง เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการปรับปรุงคุณภาพสีของลำไยอบแห้ง ทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีสว่างและมีลักษณะเป็นสีเหลืองทองมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ สารละลายซิลิโคนไฟต์ยังสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ดีกว่าการใช้น้ำหรือสารละลายกรดชนิดอื่น อีกทั้ง พัทธมน (2560) ได้ศึกษาขั้นตอนการอบแห้งและการลดการเกิดสีน้ำตาลที่เหมาะสมในลำไยอบแห้งสีทอง โดยพบว่าการอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิแบบขั้นเดียวจะมีค่าพลังงานกระตุ้นต่ำกว่าการอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิแบบหลายขั้น นอกจากนี้ Deng et al. (2023) ได้ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของเนื้อลำไยอบแห้ง เพื่อแก้ไขปัญหาประสิทธิภาพการอบแห้งต่ำและการเกิดสีน้ำตาลที่มากเกินไปในการอบแห้งด้วยลมร้อนแบบดั้งเดิม พบว่าวิธีการลวกด้วยความร้อน (Hot Blanching) เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดก่อนการอบแห้งด้วยลมร้อน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งพัฒนากระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งสีทองจังหวัดเลย โดยศึกษาสภาวะที่เหมาะสมจากการศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของเนื้อลำไยที่ผ่านการเตรียมเพื่อใช้ในการอบแห้ง และหาระยะเวลาในการอบแห้ง และทำการทดสอบประสาทสัมผัสของลำไยอบแห้งสีทอง โดยใช้ผลผลิตลำไยในจังหวัดเลยซึ่งสามารถเพิ่มมูลค่าให้กับลำไยได้

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อพัฒนากระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งสีทองจังหวัดเลย

วิธีการวิจัย

การพัฒนากระบวนการแปรรูปลำไยอบแห้งสีทอง

การพัฒนาการแปรรูปลำไยอบแห้งสีทองจังหวัดเลย มีอยู่ 3 ขั้นตอน คือ

1. หาผลของอุณหภูมิในการลวกเนื้อลำไย และความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ ต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของเนื้อลำไยสด ในขั้นตอนนี้มีวิธีการดำเนินการดังนี้

นำผลลำไยสดพันธุ์อีดอ มาล้างด้วยน้ำสะอาด คั่วจนเมล็ดออก นำไปลวกที่อุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 70 80 และ 90°C เป็นเวลา 30 วินาที แล้วทำให้เย็นทันทีโดยแช่ในน้ำเย็นอุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 30 วินาที แล้วนำเนื้อลำไยไปแช่ในสารละลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ ($K_2S_2O_5$: KMS) เป็นเวลา 5 นาที เพื่อทำลายเอนไซม์ที่ส่งผลให้ลำไยเปลี่ยนสี และเป็น การป้องกันเชื้อราหลังอบแห้ง ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ได้เลือกความเข้มข้น 3 ระดับ ได้แก่ 500 1000 และ 1500 ppm โดยชั่ง KMS 0.05 0.10 และ 0.15 กรัม ในแต่ละความเข้มข้นละลายในน้ำให้ได้สารละลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ 1,000 มิลลิลิตร แล้วใช้อัตราส่วนเนื้อลำไยสด 1 กิโลกรัมต่อสารละลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ 1,000 มิลลิลิตร และ ผึ่งให้แห้งมาด ๆ ก่อนนำไปอบ นำเนื้อลำไยสดที่ได้จากการเตรียมขั้นต้นไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมี

1.1 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ จาก 1 ตัวแปร คือ การวัดค่าสี เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลของลำไยในขั้นต้น โดยนำตัวอย่างเนื้อลำไยสดไปวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี ยี่ห้อ 3nh model NR200 วัดตัวอย่างละ 3 ซ้ำ โดยวัดค่าสีออกมาเป็นค่า L^* a^* และ b^* บันทึกค่าที่ได้จากจอแสดงผล

ค่าสี L^* หมายถึง ค่าความสว่าง (ค่า L มีค่าระหว่าง 0-100 โดย $L = 0$ หมายถึงสีดำ และ $L = 100$ หมายถึงสีขาว)

ค่าสี a^* หมายถึง สีแดง (ถ้าค่าเป็น +) สีเขียว (ถ้าค่าเป็น -)

ค่าสี b^* หมายถึง สีเหลือง (ถ้าค่าเป็น +) สีนํ้าเงิน (ถ้าค่าเป็น -)

1.2 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี จากตัวแปร 5 ตัวแปร ประกอบด้วย ความชื้น ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้าง และค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาล มีรายละเอียดดังนี้

1) ความชื้น (Moisture) นำกระป๋องอะลูมิเนียมไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 ± 2 °C นาน 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนัก (W_1) ชั่งตัวอย่าง 3 กรัม ใส่ลงในกระป๋องอะลูมิเนียมที่อบและ ชั่งน้ำหนักไว้เรียบร้อยแล้ว (W_2) นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 ± 2 °C ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นและชั่งน้ำหนัก นำไปอบซ้ำจนได้ น้ำหนักคงที่ (W_3) คำนวณหาปริมาณความชื้นและปริมาณของแข็งทั้งหมดจากสมการ (Puwastien, et al., 2011)

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{(W_2 - W_3)}{(W_2 - W_1)} \times 100$$

2) ความเป็นกรด-ด่าง (pH) วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ด้วยเครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) รุ่น S220 โดยใช้ Electrode ของเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง จุ่มลงไปในตัวอย่าง อ่านค่าจากจอแสดงผล

3) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Total soluble solid) วัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้โดยใช้ Hand refractometer ปรับค่ามาตรฐานโดยใช้น้ำกลั่นแล้วปรับขีดบอกจำนวนบริกซ์ให้อยู่ที่ 0 °Bx หยดตัวอย่างลงที่ปริซึมของ Hand refractometer ปิดฝา อ่านค่าที่ได้แล้วบันทึกผล

4) ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้าง (Residual of SO_2 : ppm) ทำการวิเคราะห์ ดังนี้ (ดัดแปลงจากพัชรณี, 2560) ชั่งตัวอย่าง 3 กรัมในขวดกันกลเม้นน้ำกลั่น 40 มิลลิลิตร เติมนีโอทานอล 2 มิลลิลิตร เติมกรดพอสฟอริก ความเข้มข้นร้อยละ 25 จำนวน 20 มิลลิลิตร ต่อเข้าชุดกลั่นทันทีซึ่งชุดกลั่นต้องเตรียมขวดรูปลูกแพร์ที่มีสารละลาย

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 0.3 จำนวน 20 มิลลิลิตร เติมนิโคเตอรีนเมทิลเรดเมทิลินบูล 2-3 หยด สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีม่วงและหยดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.01 นอร์มอล จนได้สารละลายสีเขียวสำหรับดักเก็บไอสารซิลเฟอรไดออกไซด์ กลั่นโดยใช้ความร้อนผ่านก๊าซไนโตรเจนปรับอัตราการไหล 1 ฟองปุดต่อวินาที และกลั่นต่อเป็นเวลา 45 นาที หลังจากสารละลายเริ่มเดือด นำสารละลายที่ได้ที่มีการเปลี่ยนเป็นสีม่วงไปไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.01 นอร์มอล ที่ทราบความเข้มข้นแน่นอนแล้ว จึงนำปริมาตรที่ไทเทรตได้ไปคำนวณหาปริมาณซิลเฟอรไดออกไซด์ที่ตกค้างในตัวอย่าง

5) การวิเคราะห์การเกิดสีน้ำตาลของเนื้อลำไยจาก ค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาล (Browning Index: BI) โดยการชั่งตัวอย่าง 2 กรัม เติมนิโคเตอรีนร้อยละ 2 จำนวน 20 มิลลิลิตร ผสมทิ้งไว้ 10 นาที นำมาปั่น 30 วินาที แล้วจึงนำไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 แล้วนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร

1.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ผู้วิจัยได้วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) และนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance : ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าวัดของตัวแปรต่าง ๆ เกี่ยวกับ สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมี และการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อลำไย ด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) โดยใช้ Package agricolae (Mendiburu, 2020) ของโปรแกรมอาร์ (R core team, 2025) ซึ่งคุณลักษณะทางเคมีต่าง ๆ ต้องเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานแสดงในตารางที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 1 คุณลักษณะต่าง ๆ ทางเคมีของลำไย

ตัวแปร	เกณฑ์ที่กำหนด/ ช่วง	แหล่งอ้างอิง
1. ความชื้นของลำไยอบแห้ง	ไม่เกินร้อยละ 18	มาตรฐาน (มอก. 919-2532)
2. ความเป็นกรด-ด่าง	ไม่เกิน 6.2 ($\text{pH} \leq 6.2$)	สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2547
3. ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของลำไยสด	16-25°Bx	รัตน์ และคณะ, 2552
4. ปริมาณซิลเฟอรไดออกไซด์ตกค้างในผลไม้อบแห้ง	ไม่เกิน 1,500 ppm	สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2547

2. ทหาระยะเวลาและอัตราการอบแห้งของเนื้อลำไยที่เหมาะสม โดยเปรียบเทียบจากประเภทการใช้อุณหภูมิ และระดับอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง โดยมีประเภทการใช้อุณหภูมิในการอบแห้งเนื้อลำไยด้วยลมร้อน 2 แบบ คือการใช้อุณหภูมิแบบขั้นเดียว (Single-stage drying temperature) และแบบหลายขั้น (Multi-stage drying temperature) โดยใช้ตู้อบลมร้อน 18 ชั้น ยี่ห้อ STELANG ขนาด สแตนเลส 39 x 37 เซนติเมตร ระยะห่างชั้น 5 เซนติเมตร ขนาด 61 x 41 x 52.6 เซนติเมตร กำลังไฟฟ้า 1,500 วัตต์ มีวิธีดำเนินการ ดังนี้

2.1 หาความชื้นเริ่มต้นของตัวอย่างลำไยที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยเลือกอุณหภูมิในการลวกพร้อมกับความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ ที่ใช้ในการแช่ที่สามารถลดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้ดีจากขั้นตอนที่ 1 โดยในแต่ละการทดลองใช้เนื้อลำไยสด 300 กรัม นำมาอบแห้งจนมีความชื้นสุดท้ายร้อยละ 18 บันทึกน้ำหนักของเนื้อลำไยทุก 30 นาที และเก็บข้อมูลระยะเวลาและอัตราการอบแห้งของเนื้อลำไย โดยทำการทดลองอบแห้งเนื้อลำไย จำแนกตามประเภทการใช้อุณหภูมิและระดับอุณหภูมิ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ประเภทการใช้อุณหภูมิและระดับอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง

ประเภทการใช้อุณหภูมิ	ระดับอุณหภูมิ (°C)
แบบชั้นเดียว	60°C
	70°C
	80°C
แบบหลายชั้น	60°C (60 นาที) ตามด้วย 70°C
	60°C (120 นาที) ตามด้วย 70°C
	70°C (60 นาที) ตามด้วย 60°C
	70°C (120 นาที) ตามด้วย 60°C
	80°C (60 นาที) ตามด้วย 70°C
	80°C (120 นาที) ตามด้วย 70°C

3. การทดสอบด้านประสาทสัมผัส โดยใช้แบบประเมินให้ผู้ทดสอบชิมที่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 30 คน ให้คะแนนความชอบผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้ง 5 คุณลักษณะ คือ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยให้คะแนนความชอบ 1-5 คะแนน (5 Points hedonic scale) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ 5 คะแนน หมายถึง ชอบมาก 4 คะแนน หมายถึง ชอบ 3 คะแนน หมายถึง เฉย ๆ 2 คะแนน หมายถึง ไม่ชอบ 1 คะแนน หมายถึง = ไม่ชอบมาก นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance: ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของคะแนนความชอบของการทดสอบด้านประสาทสัมผัสทั้ง 5 คุณลักษณะ ด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) โดยใช้ Package agricolae (Mendiburu, 2020) ของโปรแกรมอาร์ (R core team, 2025)

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย

การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของเนื้อลำไยสดพันธุ์อีดอที่นำมาใช้ในการทดลอง แสดงผลดังตารางที่ 3 พบว่า มีค่าสี L^* เท่ากับ 34.837 ค่าสี a^* เท่ากับ 7.113 ค่าสี b^* เท่ากับ 4.227 แสดงว่า ลำไยมีเนื้อสีขาวขุ่น ดัชนีการเกิดสีน้ำตาล เท่ากับ 0.042 ความชื้นร้อยละ 81.165 ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 6.415 แสดงให้เห็นว่าเนื้อลำไยมีความเป็นกรดต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Menzel and Waite (2005) ซึ่งรายงานไว้ในเนื้อลำไยสดมีค่าความเป็นกรด-ด่าง ประมาณ 7 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ เท่ากับ 19 °Bx สอดคล้องกับ Lapsongphol et al. (2007) ที่พบว่าลำไยสดมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ อยู่ระหว่าง 17-20°Bx ซึ่งลำไยโดยทั่วไปจะมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ อยู่ในช่วง 16-25°Bx และส่วนใหญ่อยู่ในรูปของ ซูโครส กลูโคส และ ฟรุคโตส (รัตนาคณะ, 2552) สำหรับปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้าง เท่ากับ 20.600 ppm ต่ำกว่าปริมาณสูงสุดของสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างที่เนื้อลำไยควรมีไม่เกิน 30 ppm ตามประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง ปริมาณสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในผลลำไยสดที่จะส่งออกป้อนสาธารณรัฐประชาชนจีน เล่มที่ 119 ตอนพิเศษ 105 และยังคงสอดคล้องกับการศึกษาของ พรรัตน์และจันทร์ฉาย (2540) ในการสำรวจปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างในลำไยจากปากคลองตลาดและตลาดเทเวศน์ พบว่าในเนื้อลำไยสดที่มีค่าปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้าง 10 ppm อีกทั้งยังสอดคล้องกับ พัทธรา และคณะ (2552) ที่พบว่าปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างในเนื้อลำไยต่ำกว่าที่เปลือกลำไยและมีค่าต่ำกว่า 30 ppm

ตารางที่ 3 สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมี ของเนื้อลำไยสด

รายการ	ค่าที่ได้ / ปริมาณ
สมบัติทางกายภาพ	
ค่าสี L*	34.837 ± 0.246
a*	7.113 ± 0.095
b*	4.227 ± 0.057
ดัชนีการเกิดสีน้ำตาล (BI)	0.042 ± 0.006
สมบัติทางเคมี	
ความชื้น (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	81.165 ± 1.044
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	6.415 ± 0.020
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้	19.000 ± 1.414
ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้าง (ppm)	20.600 ± 0.536

หมายเหตุ ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมจากการลวกในอุณหภูมิที่ต่างกัน การแช่ในสารละลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ (KMS) ที่ต่างกัน และอิทธิพลปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิในการลวกและแช่สารละลาย KMS ต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อลำไยที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นในตารางที่ 4 พบว่า เมื่ออุณหภูมิในการลวกสูงขึ้น (70, 80, 90°C) ส่งผลให้ค่าสี L* เพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยและค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากการลวกที่อุณหภูมิสูงช่วยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาล เช่น เอนไซม์ Polyphenol oxidase (PPO) ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการเกิดสีน้ำตาลในผลไม้ การยับยั้งเอนไซม์นี้ทำให้ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลลดลง ทำให้ผิวหรือเนื้อผลไม้มีความสว่างมากขึ้น (ค่าดัชนี L* เพิ่มขึ้น) อีกทั้งการลวกด้วยน้ำเป็นการตัดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ทำให้เกิดสีน้ำตาลออกไป ส่งผลให้ค่าสี L* (ความสว่าง) เพิ่มขึ้น สีผลไม้จึงมีความใสและสดใสมากขึ้น (Nguyen et al., 2025) อีกทั้งการลวกที่อุณหภูมิสูงยังช่วยชะล้างสารพวกฟีนอลิกและน้ำตาลรีดิวซ์ ทำให้ลดสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาหลักที่เกิดขึ้นระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์กับกรดอะมิโน จึงช่วยลดการเกิดสีน้ำตาลในเนื้อลำไย (Lin et al., 2022) และค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลลดลงอย่างไม่มีนัยสำคัญ ให้ผลเช่นเดียวกับการศึกษาของ พัชรเมณี (2560) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะถึงขีดจำกัดของประสิทธิภาพ KMS ในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล หรือมีปัจจัยอื่น เช่น การเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่ใช่เอนไซม์ (Non-enzymatic browning) ที่ KMS ไม่สามารถควบคุมทั้งหมดได้ ส่งผลให้ดัชนีเกิดสีน้ำตาลไม่เปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน (Kouakou et al., 2024)

ส่วนการแช่เนื้อลำไยในสารละลาย KMS (500 1000 และ 1500 ppm) พบว่า เมื่อความเข้มข้นของสารละลาย KMS สูงขึ้น ส่งผลให้ค่าสี L* เพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลมีค่าลดลง แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เนื่องจาก KMS ทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และเข้าสู่ปฏิกิริยากับควิโนน (Quinones) ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของฟีนอลิกในเนื้อผลไม้ ทำให้ควิโนนไม่สามารถเปลี่ยนไปเป็นเมลานิน สารสีน้ำตาลที่ทำให้เนื้อสีคล้ำ จึงลดกระบวนการเกิดสีน้ำตาลลง อีกทั้งการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย KMS ทำให้มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเอนไซม์ Polyphenol oxidase (PPO) ซึ่งเป็นเอนไซม์สำคัญที่กระตุ้นการเกิดสีน้ำตาลแบบเอนไซม์ (Enzymatic browning) ยิ่งความเข้มข้นสูงเอนไซม์จะถูกยับยั้งมากขึ้น ทำให้ค่าสี L* เพิ่มขึ้น (สีสว่างขึ้น) (Moon et al., 2020) อย่างไรก็ตาม การลดลงของดัชนีการเกิดสีน้ำตาล (Browning index) ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) อาจเป็นเพราะถึงขีดจำกัดของประสิทธิภาพ KMS ในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล หรือมีปัจจัยอื่น เช่น การเกิดปฏิกิริยา Non-enzymatic browning ที่ KMS ไม่สามารถควบคุมทั้งหมดได้ ส่งผลให้ดัชนีเกิดสีน้ำตาลไม่เปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน (Kouakou et al., 2024)

และเมื่อพิจารณาอิทธิพลปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิในการลวกและแช่สารละลาย KMS พบว่า ค่าสี L^* ค่าสี a^* ค่าสี b^* และค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ปรากฏว่าการลวกและการแช่สารละลาย KMS รวมกันส่งผลต่อสีของเนื้อลำไยอบแห้งสีทองทำให้เนื้อลำไยมีความสว่างและออกโทนสีน้ำตาลแดงและออกเหลืองดีกว่าการลวกอย่างเดียว หรือแช่สารละลาย KMS อย่างเดียว เพราะลำไยเป็นพืชที่มีน้ำตาลสูงถ้านำไปอบโดยที่ไม่มีสารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ซึ่งสารละลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์มีคุณสมบัติในการป้องกันการเกิดสีน้ำตาลโดยไม่ใช้เอนไซม์ในลำไยที่เรียกว่า ปฏิกริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) จากการทำปฏิกริยาระหว่างกรดอะมิโนและน้ำตาลรีดิวซ์ทำให้เกิดการสร้างสีและกลิ่นของเนื้อลำไย (ณัฐกฤตา, 2548; ศรีนัย, 2566)

ตารางที่ 4 สมบัติทางกายภาพ และการเกิดสีน้ำตาล ของเนื้อลำไยสดที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นในแต่ละหน่วยทดลอง

หน่วยทดลอง	สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมี			
	ค่าสี L^*	ค่าสี a^*	ค่าสี b^*	BI (OD)
ลวกน้ำที่อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)				
70	35.257 ^b $\pm$ 0.466	7.433 ^b $\pm$ 0.301	4.487 ^{ns} $\pm$ 0.305	0.056 ^a $\pm$ 0.060
80	39.010 ^a $\pm$ 1.123	7.486 ^b $\pm$ 0.055	4.000 ^{ns} $\pm$ 0.278	0.030 ^b $\pm$ 0.014
90	40.390 ^a $\pm$ 0.689	8.090 ^a $\pm$ 0.423	3.960 ^{ns} $\pm$ 0.707	0.051 ^{ab} $\pm$ 0.012
แช่สารละลาย KMS (ppm)				
500	34.360 ^b $\pm$ 0.234	7.273 ^{ns} $\pm$ 0.272	4.207 ^{ns} $\pm$ 0.191	0.041 ^{ns} $\pm$ 0.009
1000	36.030 ^a $\pm$ 0.603	7.393 ^{ns} $\pm$ 0.329	4.183 ^{ns} $\pm$ 0.184	0.052 ^{ns} $\pm$ 0.019
1500	36.597 ^a $\pm$ 0.752	7.700 ^{ns} $\pm$ 0.190	4.033 ^{ns} $\pm$ 0.129	0.052 ^{ns} $\pm$ 0.011
ลวกน้ำที่อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) และ แช่สารละลาย KMS (ppm)				
70 และ 500	35.760 ^d $\pm$ 0.312	7.343 ^{ab} $\pm$ 0.137	4.067 ^{ab} $\pm$ 0.089	0.031 ^b $\pm$ 0.001
80 และ 500	41.190 ^a $\pm$ 0.702	7.170 ^{bc} $\pm$ 0.046	3.970 ^{ab} $\pm$ 0.046	0.014 ^c $\pm$ 0.004
90 และ 500	40.460 ^{ab} $\pm$ 0.806	7.040 ^c $\pm$ 0.030	3.223 ^c $\pm$ 0.107	0.031 ^b $\pm$ 0.008
70 และ 1000	36.047 ^{cd} $\pm$ 0.467	6.983 ^c $\pm$ 0.247	4.410 ^a $\pm$ 0.098	0.046 ^a $\pm$ 0.003
80 และ 1000	39.827 ^{ab} $\pm$ 0.496	7.113 ^{bc} $\pm$ 0.060	3.113 ^c $\pm$ 0.060	0.030 ^b $\pm$ 0.004
90 และ 1000	39.567 ^{ab} $\pm$ 0.147	7.133 ^{bc} $\pm$ 0.067	3.180 ^c $\pm$ 0.154	0.030 ^b $\pm$ 0.007
70 และ 1500	37.255 ^c $\pm$ 1.405	7.193 ^{bc} $\pm$ 0.127	3.893 ^b $\pm$ 0.555	0.037 ^b $\pm$ 0.008
80 และ 1500	39.865 ^{ab} $\pm$ 0.643	7.360 ^{ab} $\pm$ 0.057	3.040 ^c $\pm$ 0.085	0.034 ^b $\pm$ 0.001
90 และ 1500	40.040 ^{ab} $\pm$ 0.918	7.503 ^a $\pm$ 0.205	3.103 ^c $\pm$ 0.055	0.027 ^b $\pm$ 0.008

หมายเหตุ ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละสดมภ์ แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างในสดมภ์เดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของลำไยสดที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นในตารางที่ 5 พบว่า ความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 80-88 โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในหน่วยทดลองแช่สารละลาย KMS ที่ความเข้มข้น 500 1000 และ 1500 ppm และอิทธิพลปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิในการลวกและแช่สารละลาย KMS ส่วนการลวกน้ำที่อุณหภูมิ 70 80 และ 90°C แตกต่างกันอย่างไม่มีความนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ค่าความเป็นกรด-ด่าง

มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทุกหน่วยทดลอง มีค่าอยู่ในช่วง 6.357–6.973 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ มีค่าอยู่ในช่วง 12.167–18°Bx และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทุกหน่วยทดลอง ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างในหน่วยทดลองอิทธิพลปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิในการลวกและแช่สารละลาย KMS แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งเนื้อลำไยสดที่แช่ในสารละลาย KMS ความเข้มข้น 1000 ppm มีความชื้นสูงสุด และมีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำสุด เมื่อเทียบกับความเข้มข้น 500 และ 1500 ppm ทั้งนี้อาจเป็นเพราะสารละลาย KMS ที่ความเข้มข้น 1000 ppm เกิดการสร้างสมดุลที่เหมาะสมระหว่างการดูดซึมน้ำ และการแพร่กระจายของสารละลายเข้าไปในเนื้อลำไย ส่วนความเข้มข้นต่ำกว่า (500 ppm) ไม่สร้างความชื้น (Gradient) ที่เพียงพอสำหรับการดูดซึมน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ ขณะที่ความเข้มข้นสูงขึ้น (1500 ppm) สร้างความดันออสโมติกที่มากเกินไป ซึ่งอาจทำให้เนื้อเสื่อมคุณภาพ หรือถูกดึงน้ำออกมาก (Kasnazany et al., 2017; Yadav and Singh, 2012) อีกทั้ง KMS เมื่อละลายในน้ำจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) และแตกตัวให้กรดซัลฟิวรัส การแช่เนื้อลำไยในสารละลาย KMS ที่ความเข้มข้น 1000 ppm อาจเป็นจุดที่ปริมาณไฮโดรเจนไอออน (H^+) ที่ปลดปล่อยออกมาและแพร่เข้าสู่เนื้อลำไยมีความเหมาะสมที่สุด ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างโดยรวมของเนื้อลำไยลดลงต่ำที่สุด (Corte et al., 2012)

ตารางที่ 5 สมบัติทางเคมีของลำไยสดที่ผ่านการเตรียมด้วยการลวกและแช่สารละลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์

หน่วยทดลอง	สมบัติทางเคมี			
	Moisture (%)	pH	TSS (°Brix)	residual of SO_2
ลวกน้ำที่อุณหภูมิ (°C)				
70	81.991 ^{ns} ± 1.721	6.570 ^a ± 0.017	16.867 ^a ± 0.231	12.333 ^{ns} ± 0.712
80	83.046 ^{ns} ± 0.950	6.543 ^a ± 0.064	15.000 ^b ± 0.000	11.826 ^{ns} ± 0.304
90	83.901 ^{ns} ± 0.159	6.357 ^b ± 0.012	15.000 ^b ± 0.000	12.407 ^{ns} ± 0.488
แช่สารละลาย KMS (ppm)				
500	81.907 ^b ± 0.175	6.850 ^a ± 0.020	17.000 ^b ± 0.000	12.927 ^{ns} ± 0.452
1000	83.864 ^a ± 1.128	6.770 ^b ± 0.017	17.000 ^b ± 0.000	13.183 ^{ns} ± 1.026
1500	80.769 ^b ± 1.009	6.820 ^a ± 0.026	18.000 ^a ± 0.000	12.883 ^{ns} ± 0.565
ลวกน้ำที่อุณหภูมิ (°C) และแช่สารละลาย KMS (ppm)				
70 และ 500	88.737 ^a ± 0.330	6.853 ^c ± 0.006	12.167 ^c ± 0.289	4.423 ⁱ ± 0.087
80 และ 500	86.293 ^{cde} ± 0.099	6.460 ^f ± 0.010	13.333 ^b ± 0.289	12.070 ^h ± 0.085
90 และ 500	85.976 ^{def} ± 0.223	6.627 ^e ± 0.012	14.000 ^a ± 0.000	32.550 ^d ± 0.361
70 และ 1000	86.984 ^b ± 0.467	6.927 ^b ± 0.006	13.333 ^b ± 0.289	38.827 ^c ± 0.328
80 และ 1000	86.884 ^{bc} ± 0.404	6.747 ^d ± 0.012	13.000 ^b ± 0.000	14.920 ^s ± 0.348
90 และ 1000	85.558 ^f ± 0.477	6.973 ^a ± 0.029	14.333 ^a ± 0.289	19.413 ^f ± 0.405
70 และ 1500	85.807 ^{ef} ± 0.152	6.613 ^e ± 0.153	14.000 ^a ± 0.000	23.316 ^e ± 0.257
80 และ 1500	86.487 ^{bcd} ± 0.418	6.747 ^d ± 0.006	14.167 ^a ± 0.289	50.333 ^a ± 0.493
90 และ 1500	86.052 ^{def} ± 0.237	6.733 ^d ± 0.006	13.167 ^b ± 0.289	46.117 ^b ± 0.117

หมายเหตุ ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละสดมภ์ แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

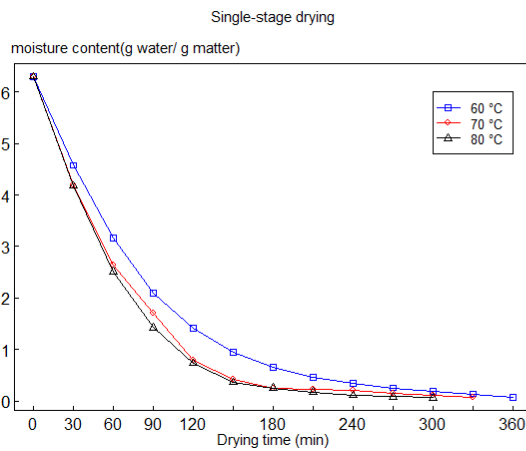
ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างในสดมภ์เดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่า สภาวะการเตรียมเนื้อลำไยขั้นต้นที่เลือกนำไปศึกษาต่อในขั้นตอนการอบแห้ง คือ การใช้อุณหภูมิในการลวกเนื้อลำไย 80°C ร่วมกับการแช่เนื้อลำไยภายหลังการลวกในสารละลาย KMS ที่ความเข้มข้น 500 ppm เนื่องจากสภาวะการเตรียมเนื้อลำไยขั้นต้นดังกล่าว ให้ค่าสี L* ของเนื้อลำไย (41.190 ± 0.702) สูงกว่าเนื้อลำไยสด (34.833 ± 0.246) และมีค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลต่ำสุด

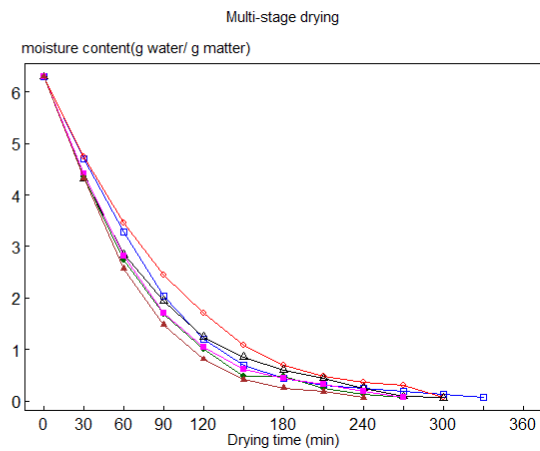
การศึกษาเวลาในการอบแห้งที่เหมาะสม โดยกำหนดให้ลำไยอบแห้งสีทองมีปริมาณความชื้นไม่เกินร้อยละ 18 ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมของผลไม้แห้ง (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2549) แสดงผลดังตารางที่ 6 พบว่า ค่าความชื้นเริ่มต้นของเนื้อลำไยที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นมีค่า 6.296 ± 0.024 g water/ g dry matter และเนื้อลำไยมีความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 0.215 ± 0.122 g water/ g dry matter ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 6 ซึ่งพบว่ากรอบแห้งที่อุณหภูมิแบบขั้นเดียว (Single-stage drying temperature) 60 70 และ 80°C ใช้เวลาอบแห้งรวมอยู่ระหว่าง 300-360 นาที และมีอัตราการอบแห้งอยู่ระหว่าง 0.036–0.055 (g water/ g dry matter) ส่วนกรอบแห้งที่อุณหภูมิแบบหลายขั้น (Multi-stage drying temperature) แบ่งเป็น 3 แบบ คือ 1) ใช้อุณหภูมิในการอบแห้งในช่วงแรก 60°C และช่วงที่สอง 70°C และกำหนดเวลาการอบแห้งในช่วงแรก 2 ระดับ ได้แก่ 60 และ 120 นาที ใช้เวลาอบ 330 นาที และ 300 นาที ตามลำดับ และมีอัตราการอบแห้งอยู่ระหว่าง 0.041-0.065 (g water/ g dry matter) 2) ใช้อุณหภูมิในการอบแห้งในช่วงแรก 70°C และช่วงที่สอง 60°C และกำหนดเวลาการอบแห้ง ในช่วงแรก 2 ระดับ ได้แก่ 60 และ 120 นาที ใช้เวลาอบแห้งรวม 300 และ 270 นาที ตามลำดับ และมีอัตราการอบแห้งอยู่ระหว่าง 0.054-0.058 (g water/ g dry matter) 3) ใช้อุณหภูมิในการอบแห้งในช่วงแรก 80°C และช่วงที่สอง 70°C และกำหนดเวลาการอบแห้งในช่วงแรก 2 ระดับ ได้แก่ 60 และ 120 นาที ใช้เวลาอบแห้ง รวม 270 และ 240 นาที ตามลำดับ และมีอัตราการอบแห้งอยู่ระหว่าง 0.036 - 0.058 (g water/ g dry matter) นั่นคือ เมื่อใช้อุณหภูมิในการอบแห้งสูงขึ้น อัตราการอบแห้งจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิในการอบแห้งที่สูงขึ้น ทำให้เกิดความแตกต่างของความดันไอระหว่างอาหารและอากาศภายนอก ส่งผลให้เกิดการถ่ายเทมวลและความร้อนได้ดีขึ้น และเมื่อโมเลกุลน้ำภายในอาหารได้รับพลังงานที่เพิ่มขึ้นจนสามารถเอาชนะแรงยึดเหนี่ยวโมเลกุลได้ทำให้ระเหยน้ำได้เร็วขึ้น ส่งผลให้ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งสั้นลง ซึ่งการอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิแบบหลายขั้นจะมีอัตราการอบแห้งสูงกว่าและใช้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นกว่า อีกทั้งการเตรียมลำไยด้วยการลวกเนื้อลำไยมีผลทำให้เซลล์ของเนื้อลำไยเกิดความเสียหาย (ณัฐพงษ์, 2553) และสอดคล้องกับการศึกษาของ พัทธมณี (2560) ที่พบว่าเมื่ออบแห้งความชื้นภายในเนื้อลำไยจึงระเหยออกมาสู่ภายนอกเซลล์ได้ง่ายขึ้น โดยปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง ได้แก่ สภาพธรรมชาติของอาหาร ขนาด รูปร่าง การจัดเรียง สภาวะในขณะทำแห้งลำไย อุณหภูมิอากาศร้อนในตู้อบลมร้อน ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศขณะทำแห้ง ความเร็วลมในขณะทำแห้งลำไย เป็นต้น (วิไล, 2546)

ตารางที่ 6 ระยะเวลาและอัตราการอบแห้งของเนื้อลำไยที่ผ่านการเตรียมขั้นต้น จำแนกตามประเภทการใช้อุณหภูมิ

ประเภทการใช้ อุณหภูมิ	ระดับอุณหภูมิ	ระยะเวลา (นาที) (Drying time)	อัตราการอบแห้ง (Drying rate) (g water/ g dry matter)
แบบ ขั้นเดียว	60°C	360	0.036
	70°C	330	0.040
	80°C	300	0.055
แบบ หลายขั้น	60°C (60 นาที) ตามด้วย 70°C	330	0.040
	60°C (120 นาที) ตามด้วย 70°C	300	0.066
	70°C (60 นาที) ตามด้วย 60°C	300	0.054
	70°C (120 นาที) ตามด้วย 60°C	270	0.058
	80°C (60 นาที) ตามด้วย 70°C	270	0.057
	80°C (120 นาที) ตามด้วย 70°C	240	0.058



(ก) การอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิแบบขั้นเดียว



(ข) การอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิแบบหลายขั้น

ภาพที่ 1 การเปลี่ยนแปลงความชื้นระหว่างการอบแห้งเนื้อลำไย (ก) การอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิแบบขั้นเดียว และ (ข) การอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิแบบหลายขั้น

จากภาพที่ 1 พบว่า ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงความชื้นและระยะเวลาในการอบแห้งเนื้อลำไย ความชื้นจะลดลงอย่างเห็นได้ชัดในช่วง 0-150 นาที ของการอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิแบบขั้นเดียว(ก) และการใช้อุณหภูมิแบบหลายขั้น(ข) เนื่องจากช่วงแรกเนื้อลำไยสัมผัสกับลมร้อนและเกิดการถ่ายเทความร้อนจนอุณหภูมิของลำไยมีค่าสูงขึ้น และมีค่าเท่ากับอุณหภูมิของลมร้อน โดยความร้อนที่เกิดขึ้นเป็นค่าความร้อนที่ทำให้มวลความชื้นมีค่าเปลี่ยนแปลงไปโดยที่น้ำไม่เกิดการเปลี่ยนสถานะ ต่อมาเมื่อน้ำที่ผิวเกิดการเปลี่ยนสถานะเป็นไอน้ำ ถูกถ่ายเทมวลความชื้นและถูกพาออกไปพร้อมกับความร้อนที่ไหลผ่าน พลังงานที่เกิดขึ้นในช่วงนี้ คือ ความร้อนแฝง มวลความชื้นที่ผิวของเนื้อลำไยจะสูญเสียสมดุล ส่งผลให้มวลความชื้นภายในเนื้อเยื่อเคลื่อนที่ออกมาทดแทนความชื้นที่สูญเสียไป จึงต้องมีการแพร่มวลความชื้นมาทดแทนยังผิวหน้าเซลล์ที่เท่ากับอัตราการระเหยของน้ำที่ผิวหน้า โดยกลไกที่เกิดขึ้นน่าจะเป็นช่วงอัตราการทำให้แห้งคงที่ (Constant rate period) และหลังจากการอบแห้ง 240 นาที ความชื้นมีค่าลดลงอย่างช้า ๆ เรียกช่วงนี้ว่าช่วงอัตราการทำให้แห้งลดลง (Falling rate period) ทำการอบแห้งไปจนกระทั่งอัตราการเคลื่อนที่ของน้ำภายในเซลล์แพร่มาทดแทนที่ผิวหน้าช้ากว่าอัตราการระเหยของน้ำที่ผิวหน้าของลำไย (ผดุงศักดิ์ 2551; เวนนิตย์ และคณะ, 2556; พัชรณีย์, 2560; นรินทร และคณะ, 2560)

จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่า ประสิทธิภาพการอบแห้งแบบหลายขั้น ใช้เวลาในการอบแห้งสั้นกว่าการอบแห้งแบบขั้นตอนเดียว โดยการอบแห้งที่อุณหภูมิ 80°C (120 นาที) ตามด้วย 70°C ใช้เวลาอบแห้งรวมน้อยที่สุด 240 นาที และมีอัตราการอบแห้ง 0.058 g water/ g dry matter รองลงมาคือ 80°C (60 นาที) ตามด้วย 70°C และ 70°C (120 นาที) ตามด้วย 60°C ใช้เวลาอบแห้งรวมเท่ากันนาน 270 นาที แต่การอบแห้งที่อุณหภูมิ 80°C (60 นาที) ตามด้วย 70°C มีอัตราการอบแห้งต่ำกว่า ซึ่งการอบแห้งที่มีอัตราการอบแห้งสูงจะส่งผลให้ลำไยมีเนื้อสัมผัสแข็งและแห้งขึ้น นั่นคือเนื้อลำไยอบแห้งที่อุณหภูมิ 80°C (60 นาที) ตามด้วย 70°C จะมีเนื้อสัมผัสที่นุ่มกว่า

การทดสอบประสาทสัมผัส แสดงผลดังตารางที่ 7 พบว่า คุณลักษณะ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส ความชอบโดยรวมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ยกเว้น กลิ่น และเมื่อพิจารณาคะแนนความชอบเฉลี่ยพบว่า ลำไยอบแห้งตัวอย่างที่ 8 คือ ลำไยอบแห้งที่อุณหภูมิ 80°C ใช้เวลา 60 นาที ตามด้วย 70°C มีคะแนนความชอบเฉลี่ยสูงสุด 4 คุณลักษณะโดยความชอบโดยรวม มีคะแนนสูงสุด รองลงมาคือ สี กลิ่น และรสชาติ ตามลำดับ ยกเว้นด้านเนื้อสัมผัส ซึ่งมีคะแนนความชอบเฉลี่ยเป็นอันดับที่สอง รองจากลำไยอบแห้งตัวอย่างที่ 6 ซึ่งอบแห้งด้วย อุณหภูมิ 70°C ใช้เวลา 60 นาที ตามด้วย 60°C ที่มีเนื้อสัมผัสที่นุ่ม ซึ่งความชอบของผู้ทดสอบชิมเกี่ยวกับสีของลำไยอบแห้งสีทองมีความสัมพันธ์

ไปในทิศทางเดียวกันกับการทดสอบค่าสี L^* (ตารางที่ 4) ซึ่งขัดแย้งกับการศึกษาของ Tassanaudom and Kengkhetkit (2009) ที่พบว่า ผลการประเมินทางประสาทสัมผัสจะมีความขัดแย้งกับผลการวัดสีด้วยเครื่องมือ ส่วนคุณลักษณะเนื้อสัมผัสก็อาจกล่าวได้ว่ามีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันกับระยะเวลาในการอบแห้งและอัตราการอบแห้งเช่นกัน (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 7 คะแนนการทดสอบประสาทสัมผัสของลำไยอบแห้งสีทองที่อบด้วยระดับอุณหภูมิต่าง ๆ

ลำไยอบแห้งสีทอง อบด้วยระดับอุณหภูมิ	คุณลักษณะ				
	สี color	กลิ่น ^{ns} odor	รสชาติ taste	เนื้อสัมผัส texture	ชอบโดยรวม overall
1. 60°C	3.40 ^c ± 0.65	3.40 ± 0.65	3.36 ^{abc} ± 0.64	3.32 ^{ab} ± 0.48	3.40 ^c ± 0.64
2. 70°C	3.44 ^c ± 0.51	3.52 ± 0.77	3.40 ^{abc} ± 0.65	3.36 ^{ab} ± 0.70	3.44 ^c ± 0.65
3. 80°C	3.44 ^c ± 0.58	3.48 ± 0.77	3.48 ^{abc} ± 0.59	3.40 ^{ab} ± 0.65	3.44 ^c ± 0.59
4. 60°C (60 นาที) ตามด้วย 70°C	4.12 ^{ab} ± 0.53	3.80 ± 0.76	3.76 ^a ± 0.83	3.68 ^a ± 0.63	3.96 ^{ab} ± 0.84
5. 60°C (120 นาที) ตามด้วย 70°C	3.76 ^{bc} ± 0.60	3.80 ± 1.04	3.72 ^{ab} ± 0.54	3.40 ^{ab} ± 1.12	3.68 ^{bc} ± 0.56
6. 70°C (60 นาที) ตามด้วย 60°C	3.60 ^c ± 1.04	3.56 ± 0.82	3.24 ^{bc} ± 0.88	3.80 ^a ± 0.65	3.40 ^c ± 1.00
7. 70°C (120 นาที) ตามด้วย 60°C	3.56 ^c ± 0.82	3.76 ± 1.01	3.32 ^{abc} ± 1.07	3.48 ^{ab} ± 1.05	3.28 ^c ± 1.10
8. 80°C (60 นาที) ตามด้วย 70°C	4.24 ^a ± 0.78	3.88 ± 0.73	3.80 ^a ± 0.71	3.72 ^a ± 0.46	4.28 ^a ± 0.46
9. 80°C (120 นาที) ตามด้วย 70°C	3.44 ^c ± 0.51	3.52 ± 1.08	3.08 ^c ± 0.81	3.08 ^b ± 0.70	3.56 ^{bc} ± 0.51

หมายเหตุ ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยคะแนนความชอบจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละสดมภ์ แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างในสดมภ์เดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

สรุปผลการวิจัย

ในกระบวนการแปรรูปลำไยสีทองจังหวัดเลย สภาวะที่เหมาะสมของการเตรียมเนื้อลำไยสดพันธุ์อีดอ คือ การลวกเนื้อลำไยที่อุณหภูมิ 80°C และแช่ในสารละลายโพแทสเซียมแมตาซัลไฟด์ที่มีความเข้มข้น 500 ppm ซึ่งทำให้เนื้อลำไยมีค่าสี L^* สูงสุด ค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลต่ำสุด นำเนื้อลำไยผึ่งให้แห้งมาก่อนนำไปอบแห้งโดยใช้การอบแห้งแบบหลายชั้น ชั้นแรกใช้อุณหภูมิ 80°C นาน 60 นาที แล้วตามด้วยอุณหภูมิ 70°C ใช้เวลาอบแห้งรวม 270 นาที คือ ลำไยอบแห้งตัวอย่างที่ 8 ได้รับคะแนนความชอบสูงสุดจากผู้ทดสอบชิมในการทดสอบประสาทสัมผัสในด้านคุณลักษณะ สี รสชาติ และความชอบโดยรวม ซึ่งสามารถนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งสีทองของจังหวัดเลยจำหน่ายเพื่อเพิ่มมูลค่าลำไยให้กับเกษตรกรในจังหวัดเลยได้

ข้อเสนอแนะ

1. ควรทำการศึกษาการเกิดสีน้ำตาลของลำไยอบแห้งหลังการเก็บรักษา
2. ควรศึกษาวิธีการปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลด้วยวิธีการอื่นนอกเหนือจากการใช้สารละลายโพแทสเซียมไบซัลไฟต์
3. ในการศึกษาการอบแห้งแบบหลายชั้น ควรศึกษาระยะเวลาในการอบแห้งในช่วงแรกในช่วงเวลาที่แคบลงเป็น 30 60 90 และ 120 นาที

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนงบประมาณสนับสนุนงานมูลฐาน (Fundamental Fund) ประจำปีงบประมาณ 2566 จากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม และผู้วิจัยขอขอบคุณ รศ.ศักดิ์ชาย พวงจันทร์ ที่ได้ให้การสนับสนุนช่วยเหลือต่อความสำเร็จของงานวิจัยนี้ รวมทั้งกลุ่มเกษตรกรแปลงใหญ่ลำไยหมู่ที่ 2 ตำบลน้ำสวย อำเภอเมืองเลย และสำนักงานเกษตรอำเภอเมืองเลย ที่ให้ความร่วมมือในการให้ข้อมูลสนับสนุนด้านต่าง ๆ

เอกสารอ้างอิง

- ณัฐฤตา พงศ์สกุล. (2548). การยับยั้งโพลีฟีนอลออกซิเดสในเนื้อลำไยอบแห้ง.
ค้นจาก https://archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2548/biot0548nps_abs.pdf
- ณัฐพงษ์ กิพงษ์. (2553). ผลกระทบของการลวกด้วยน้ำร้อนต่ออัตราการอบแห้งลำไย.
ค้นจาก <https://dric.nrct.go.th/Search/SearchDetail/228541>
- นรินทร์ เจริญพันธ์, เพราเพ็ญ รัตนดี, และชัยพร แพภิรมย์รัตน์. (2560). การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากลำไยของกลุ่มเกษตรกรจังหวัดสระแก้ว. ค้นจาก https://digital_collect.lib.buu.ac.th/research/2566_184.pdf
- เนาวนิตย์ โพธิ์ศรี, พิมลพรรณ คงบุตร, เกียรติศักดิ์ อุตตะมะตึง, และฤทธิชัย อัครวราชันย์. (2556). อิทธิพลของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นและสีของสัระแห่นในระหว่างการอบแห้งด้วยลมร้อน. วารสารวิชาการ มทร. สุวรรณภูมิ, 1(2), 103-114.
- ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช. (2551). พื้นฐานการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- พรรัตน์ สิ้นชัยพานิช, และ จันทรฉาย แจ้งสว่าง. (2540). การสำรวจปริมาณซิลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างในลำไย. อาหาร, 27(2), 100-107.
- พัชรณีย์ อุณหพิพัฒพงศ์. (2560). ขั้นตอนการอบแห้งและการลดการเกิดสีคล้ำที่เหมาะสมในลำไยอบแห้งสีทอง.
ค้นจาก http://mdc.library.mju.ac.th/thesis/2563/patcharamanee_unhapipatpong/fulltext.pdf
- พัชรา วัณประเสริฐ, วิทยา อภัย, และสุดชล วัณประเสริฐ. (2552). ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตกค้างในผลลำไยสดหลังการรมและเก็บรักษาที่ระยะเวลาต่าง ๆ. วารสารวิชาการเกษตร, 27(1), 26-41.
- รัตนา ไชยมูล, อรุณี อภิชาติสร่างกูร, และสลิระ หิรัญ. (2552). การแปรรูปลำไยในน้ำเชื่อมด้วยกระบวนการความดันสูงยิ่งและการพาสเจอไรซ์. วารสารเกษตร, 25(3), 313-320.
- วิไล เสือดี. (2541). กระบวนการอบแห้งและการส่งออกลำไยอบแห้งของจังหวัดเชียงใหม่และลำพูน.
ค้นจาก https://www.phtnet.org/research/view-abstract.asp?research_id=ag228
- สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. (2547). ประกาศสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา เรื่อง ข้อกำหนดการใช้วัตถุเจือปนอาหาร. ค้นจาก <https://food.fda.moph.go.th/food-law/announ-moph-281>
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร.(2568). ตารางแสดงรายละเอียดลำไย 2567.
ค้นจาก <https://oae.go.th/uploads/files/2025/06/18/7df60b2c73a1c0f2.pdf>

- สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. (2549). **เนื้อลำไยสดอบแห้ง**. กรุงเทพฯ : สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ.
- ศรัณย์ ปูริกา, นุแกว อุ่นอุดมวนา, และนักสิทธิ์ ปัญญาใหญ่. (2566). เทคนิคการเตรียมพริกชี้ฟ้าแดงอบแห้งให้ได้มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารชุมชน. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีชุมชน**, 1(4), 1-18.
- Chitbanchong, W., Sardud, V., Whangchai, K., Koslanund, R., and Thobunluepop, P. (2009). Control of rotting and browning of longan fruit cv. Biew Kiew after harvest by sulphur dioxide treatment under various storage temperatures. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, 12, 1438–1447.
- Corte, L., Roscini, L., Zadra, C., Antonielli, L., Tancini, B., Magini, A., ... Cardinali, G. (2012). Effect of pH on potassium metabisulphite biocidal activity against yeast and human cell cultures. **Food chemistry**, 134(3), 1327–1336.
- Deng, Y., Lai, C., Zhang, Y., Zhou, P., Liu, G., Tang, X., and Wei, Z. (2023). Effects of pretreatment methods on the physicochemical properties of dried longan (*Dimocarpus longan* Lour.) pulps. **Journal of Food Science**, 88, 3474–3493.
- Kasnazany, S. A. S., Salieh, F. M. H., and Aljabary, A. M. O. (2017). Effect of salicylic acid and potassium metabisulfite on postharvest quality of plum cv. Qadri. **Euphrates Journal of Agriculture Science**, 9(3), 79–91.
- Kouakou, A. R. S., Nogbou, A. L. I., Akmel, D. C., Siapo, A. B., and Kouamé, A. F. (2024). Evaluation of the effect of blanching and drying temperature on the colour, browning and phenolic compounds of dried ripe plantain. **Food Science and Technology**, 12(6), 271–280.
- Lapsongphol, S., Mahayothee, B., Phupaichitkun, S., Leis, H., Haewsungcharoen, M., Janjai, S., ..., Mueller, J. (2007). **Effect of drying temperature on changes in volatile compounds of longan (*Dimocarpus longan* Lour.) fruit**. Retrieved from <https://www.tropentag.de/2007/abstracts/full/353.pdf>
- Lin, T., Zhou, Z., Xing, C., Zhou, J., Fan, G., and Xie, C. (2022). Effect of color protection treatment on the browning and enzyme activity of *Lentinus edodes* during processing. **Food Science & Nutrition**, 10, 2989–2998.
- Mendiburu, F. (2020). **Agricolae: Statistical procedures for agricultural research (Version 1.4.0) [Computer software]**. Retrieved from <https://CRAN.R-project.org/package=agricolae>
- Mendiburu, F. (2020). **Agricolae : Statistical procedures for agricultural research (Version 1.4.0) [Computer software]**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.
- Menzel, C. M., and Waite, G. K. (Eds.). (2005). **Litchi and longan: Botany, production and uses**. Wallingford, UK: CABI Publishing.
- Moon, K. M., Kwon, E.-B., Lee, B., and Kim, C. Y. (2020). Recent trends in controlling the enzymatic browning of fruit and vegetable products. **Molecules**, 25(12), 1-15. doi: 10.3390/molecules25122754
- Nguyen, T. N., Tran, T. T. T., and Le, V. V. M. (2025). Effects of blanching conditions on the enzyme inhibition and antioxidant loss in rambutan (*Nephelium lappaceum* L.) seeds. **Polish Journal of Food and Nutrition Sciences**, 75(1), 49–59.
- Puwastien, P., Tee, E. S., Kantasubrata, J., Craven, G., Feliciano, R. R., & Judprasong, K. (Eds.). (2011). **ASEAN manual of food analysis**. Nakhon Pathom, Thailand: Institute of Nutrition, Mahidol University.
- R Core Team. (2025). **R: A language and environment for statistical computing [Computer software]**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.
Retrieved from <https://www.R-project.org/>
- Tassanaudom, U., and Kengkhetkit, N. (2009). The color attribute improvement of dried longans. **NU Science Journal**, 6(1), 114–122.

- Wilarom, W., Chitchanokrun, C., Sardaud, V., Whangchai, K., Koslanund, K., and Thobunluepop, P. (2009). Minimally of polyphenol oxidase activity and controlling of rotting and browning of longan fruits cv. DAW by SO₂ treatment under cold storage conditions. **International Journal of Agricultural Research**, 4(11), 349–361.
- Yadav, A. K., and Singh, S. V. (2012). Osmotic dehydration of fruits and vegetables: A review. **Journal of Food Science and Technology**, 51(9), 1654–1673.

ระบบควบคุมสภาพแวดล้อมสำหรับฟาร์มไส้เดือนโดยใช้เทคโนโลยี IoT เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตมูลไส้เดือน

IoT-Based Environmental Control System for Vermiculture to Enhance Vermicompost Production Efficiency

คณินุช สารอินจัน¹ นราวิชญ์ ความหมั่น¹ ศิริประภา ศรีทอง² และ สุขุมาล ตัวสกุล^{1*}

Khanuengnuch Saninjak¹ Naravit Khwamman¹ Siriprapa Sreetong² and Sukumal Tauwsakul^{1*}

¹คณะบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง จังหวัดลำปาง 52000

²คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง จังหวัดลำปาง 52000

¹Faculty of Business Administration and Liberal Arts, Rajamangala University of Technology
Lanna Lampang, Lampang Province, 52000

²Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna Lampang,
Lampang Province, 52000

*Corresponding author E-mail: sukumal@rmu.ac.th

Received 26 June 2025, Accepted 28 October 2025, Published 2 June 2026

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาระบบควบคุมสภาพแวดล้อมอัจฉริยะสำหรับฟาร์มไส้เดือนโดยใช้เทคโนโลยี Internet of Things (IoT) 2) ศึกษาผลของระบบต่อการเลี้ยงไส้เดือนสายพันธุ์ African Nightcrawler (AF) และ Blue Worm (Blue) และ 3) วิเคราะห์ผลผลิตมูลไส้เดือน ปริมาณจุลินทรีย์ และการเจริญเติบโตของไส้เดือน ภายใต้สภาพแวดล้อมที่ควบคุมด้วย IoT ระบบประกอบด้วยเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น (DHT11) เซ็นเซอร์วัดความชื้นดิน และไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 เชื่อมต่อข้อมูลผ่านแอปพลิเคชันแบบเรียลไทม์ การทดลองดำเนินการระหว่างวันที่ 15 กุมภาพันธ์ ถึง 1 มีนาคม 2568 ณ ศูนย์การเรียนรู้แบบบูรณาการศาสตร์ ชมรมชมพ้ออาสา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง โดยเป็นการทดลองในรอบการผลิตเดียว วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติพรรณนา (ค่าเฉลี่ย) และใช้ t-Test: Paired Two Sample for Means เพื่อเปรียบเทียบผลระหว่างกลุ่มทดลอง พร้อมคำนวณปริมาณจุลินทรีย์ด้วยสมการทางชีวภาพ ผลการวิจัยพบว่า 1) ระบบ IoT เพิ่มผลผลิตมูลไส้เดือนและความยาวเฉลี่ยของไส้เดือนสายพันธุ์ AF อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 2) ระบบสามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นได้แม่นยำส่งผลให้ไส้เดือนเจริญเติบโตดีขึ้น 3) กลุ่มทดลองที่ใช้ IoT มีปริมาณจุลินทรีย์สูงกว่ากลุ่มควบคุม แต่มีความหลากหลายของชนิดจุลินทรีย์น้อยกว่า ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าระบบ IoT มีศักยภาพในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต และสามารถประยุกต์ใช้ในฟาร์มไส้เดือนเชิงพาณิชย์เพื่อเพิ่มผลผลิตและยกระดับการจัดการฟาร์มได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: ไส้เดือนดิน มูลไส้เดือน เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง การควบคุมสภาพแวดล้อม การเกษตรอัจฉริยะ

ABSTRACT

The purposes of this research were to: 1) develop an intelligent environmental control system for earthworm farming using Internet of Things (IoT) technology; 2) study the effects of this system on African Nightcrawler (AF) and Blue Worm (Blue) species; and 3) analyze vermicompost yield, microbial quantity, and worm growth under the IoT-controlled conditions. The system comprised temperature and humidity sensors (DHT11), soil moisture sensors, and an ESP32 microcontroller, all connected to a real-time monitoring application. The experiment was conducted from February 15 to March 1, 2025, at the Integrated Learning Center, Somporn Asa Club, Rajamangala University of Technology Lanna, Lampang, covering a single production cycle experiment. Data were analyzed using descriptive statistics (mean), paired two-sample t-test for means to compare the results between groups, and microbial quantity was calculated using a biological equation. The research findings showed that the IoT-based control system significantly increased vermicompost yield and average worm length in the AF group at 0.05 level of significance. The system maintained temperature and humidity effectively, promoting optimal worm growth. Moreover, the experimental group using the IoT system exhibited higher microbial counts than the control group, but lower microbial diversity. These results suggest that IoT-based environmental control can enhance productivity and improve farm management in commercial earthworm farming.

Keywords: Earthworm, Vermicompost, Internet of Things (IoT), Environmental Control, Smart Farming

บทนำ

การเกษตรแบบยั่งยืนได้รับความสนใจอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะการใช้มูลไส้เดือนเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่มีคุณภาพสูง เนื่องจากมูลไส้เดือนมีธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ช่วยปรับปรุงโครงสร้างของดินและเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน (นันทวุฒิ, 2560) ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนเกิดจากการที่ไส้เดือนกินเศษซากต่าง ๆ เข้าไปแล้วผ่านกระบวนการย่อยสลาย อินทรีย์วัตถุภายในลำไส้แล้วขับถ่ายเป็นมูลออกมา มีลักษณะเป็นเม็ดร่วนละเอียด สีน้ำตาล มีน้ำหนักรวมน้ำ ในมูลของไส้เดือนจะมีธาตุอาหารที่อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ทันที เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแมกนีเซียม เป็นต้น (พงษ์สุดา, 2562) ประโยชน์ของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือน คือ ส่งเสริมการกักตัวของเม็ดดิน เพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน เพิ่มช่องว่างในดินช่วยให้การระบายน้ำและการไหลเวียนของอากาศดีขึ้น ลดการจับตัวเป็นแผ่นของหน้าดิน ส่งเสริมความพรุนของผิวหน้าดิน ช่วยให้ระบบรากพืชสามารถเจริญเติบโตและแพร่กระจายได้ดีขึ้น เพิ่มความสามารถในการดูดซับน้ำ ทำให้ดินชุ่มชื้น เพิ่มธาตุอาหารพืชโดยตรง และเป็นแหล่งอาหารของสัตว์และจุลินทรีย์ในดิน เพิ่มศักยภาพในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน ลดความเป็นพิษของธาตุบางชนิดที่มีปริมาณมากเกินไป เช่น อะลูมิเนียมและแมงกานีส โดยปุ๋ยหมักช่วยดูดซับธาตุเหล่านี้ไว้บางส่วน เพิ่มความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง ทำให้การเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นอย่างค่อยเป็นค่อยไป ลดความเสี่ยงที่อาจเป็นอันตรายต่อพืช ช่วยควบคุมปริมาณไส้เดือนฝอยในดิน เนื่องจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินช่วยเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ที่สามารถผลิตสารประเภทอัลคาลอยด์และกรดไขมัน ซึ่งเป็นพิษต่อไส้เดือนฝอย ทำให้ลดการระบาดของไส้เดือนฝอยในดิน (อานัฐ, 2549) โดยทั่วไป ไส้เดือนดินในธรรมชาติมีอายุตั้งแต่ 4-10 ปี ขึ้นอยู่กับชนิดของไส้เดือนดิน แต่เมื่อนำมาเพาะเลี้ยงมักพบว่าอายุของไส้เดือนดินสั้นลง โดยทั่วไปมีอายุเฉลี่ยไม่เกิน 2 ปี การเลี้ยงไส้เดือนดินสามารถทำได้หลายรูปแบบ เช่น การเลี้ยงไส้เดือนดินในภาชนะแบบต่าง ๆ เช่น ถังไม้ กะละมัง การเลี้ยงไส้เดือนดินแบบเป็นชั้น จะใช้ภาชนะวางซ้อนกัน เช่น ชั้นไม้ หรือชั้นตู้พลาสติก การเลี้ยงไส้เดือนดินแบบแปลงกลางแจ้ง จะตั้งกองอาหารเป็นแปลงสำหรับเลี้ยงไส้เดือนดิน คลุมด้วยฟางหรือตาข่ายเพื่อป้องกันสัตว์มาคุ้ยเขี่ย และการเลี้ยงไส้เดือนดินในโรงเรือนโดยก่อบล็อกเป็นช่องหรือคอกสำหรับ

เลี้ยงไส้เดือนดิน (วรรณวิภา และคณะ, 2561) สายพันธุ์ไส้เดือนดินที่นิยมนำมาเพาะเลี้ยงมี 5 สายพันธุ์ ได้แก่ 1) Tiger worm (*Eisenia fetida*) มีลักษณะตัวสั้นแบน ยาวประมาณ 12 เซนติเมตร อัตราขยายพันธุ์ปานกลาง เหมาะสำหรับเลี้ยงกินมูลสัตว์และขยะสดในครัวเรือน 2) Red Worm (*Lumbricus rubellus*) มีลักษณะตัวสั้นแบนยาวประมาณ 8 เซนติเมตร อัตราขยายพันธุ์ปานกลาง เหมาะสำหรับเลี้ยงกินมูลสัตว์และขยะสดในครัวเรือน 3) African Nightcrawler (*Eudrilus eugeniae*) มีลักษณะตัวค่อนข้างใหญ่ ยาวสูงสุดได้ถึง 30 เซนติเมตร อัตราขยายพันธุ์เร็วเหมาะสำหรับเลี้ยงกินมูลสัตว์เป็นหลัก 4) Indian Blue (*Perionyx excavatus*) มีลักษณะตัวพอมเล็ก ยาว ประมาณ 8 เซนติเมตร อัตราขยายพันธุ์เร็ว เหมาะสำหรับเลี้ยงกินมูลสัตว์เป็นหลัก และนิยมใช้เลี้ยงปลาสวยงาม กุ้งก้ามแดง และ 5) ขี้ตาแร่ (Thai local earthworm, *Perionyx* sp.) มีลักษณะตัวค่อนข้างใหญ่ ยาว 15 เซนติเมตร อัตราขยายพันธุ์ปานกลาง เหมาะสำหรับเลี้ยงกินบนสัตว์และขยะสดในครัวเรือน (อานันท์, 2557)

อย่างไรก็ตาม การเลี้ยงไส้เดือนเพื่อผลิตมูลไส้เดือนยังคงเผชิญกับข้อจำกัดหลายประการ โดยเฉพาะปัจจัยแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ความสว่าง และความเป็นกรด-ด่างของที่อยู่อาศัยของไส้เดือน ซึ่งมีผลโดยตรงต่ออัตราการเจริญเติบโตและปริมาณมูลที่ผลิตได้ นอกจากนี้ ไส้เดือนเป็นสัตว์ที่อาศัยอยู่ใต้ดิน ชอบความมืด และไม่ชอบแสงแดด (ศุภชัยวิชัยและฝีกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม, 2562) งานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าปัจจัยแวดล้อม เช่น อุณหภูมิและความชื้น มีอิทธิพลอย่างมากต่ออัตราการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุและปริมาณมูลที่ผลิตได้ โดย Edwards and Arancon (2022) กล่าวว่า ค่า pH ความชื้น อุณหภูมิ และชนิดของดิน ส่งผลอย่างมากต่อจำนวนและกิจกรรมของไส้เดือนในดิน พัทธ (2553) กล่าวว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงไส้เดือนดินสายพันธุ์ไทยอยู่ที่ประมาณ 15-25 องศาเซลเซียส โดยในช่วงฤดูฝนที่มีความชื้นสูง ไส้เดือนดินจะสร้างอุโมงค์ได้มากกว่าฤดูร้อนหรือฤดูหนาว Akhila and Entoori (2022) กล่าวว่า ค่าความชื้นที่เหมาะสมสำหรับที่อยู่อาศัยของไส้เดือนอยู่ในช่วงร้อยละ 60-70 และค่า pH (ค่าความเป็นกรด-ด่าง) ที่เหมาะสมอยู่ที่ประมาณ 7.5

จากข้อจำกัดข้างต้น ทำให้การเลี้ยงไส้เดือนแบบปกติ ผู้เพาะเลี้ยงจะต้องดูแลและตรวจสอบสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมอยู่เสมอ โดยเฉพาะค่าความชื้นของวัสดุรองเลี้ยง ซึ่งการตรวจสอบโดยการใช้มือจับและอาศัยความรู้สึกในการระบุอุณหภูมิและความชื้นของดินนั้นหากไม่แม่นยำพอจะส่งผลให้การให้น้ำหรือการรดการให้น้ำไม่สัมพันธ์กับค่าความชื้นในดินในที่ต้องการ

การควบคุมสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมสามารถทำได้โดยใช้แนวคิดสมาร์ทฟาร์ม (Smart Farm) มาใช้ ด้วยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี Internet of Things และระบบสารสนเทศ เพื่อควบคุมและจัดการฟาร์มเกษตรอย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้เซ็นเซอร์ตรวจวัดสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น แล้วส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตไปยังแอปพลิเคชันในสมาร์ทโฟนหรือคอมพิวเตอร์เพื่อให้เกษตรกรสามารถติดตามและควบคุมระบบได้แบบเรียลไทม์ ช่วยประหยัดเวลา เพิ่มผลผลิต และช่วยในการวางแผนการผลิตได้แม่นยำยิ่งขึ้น (ธิดาศักดิ์ และคณะ, 2562)

มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมสภาพแวดล้อมโดยใช้เทคโนโลยี IoT ตัวอย่างเช่น รชต และคณะ (2564) ได้พัฒนาระบบควบคุมสภาพแวดล้อมในการเจริญเติบโตไส้เดือนเลี้ยงผ่านแพลตฟอร์ม IoT ซึ่งใช้เทคโนโลยี IoT ร่วมกับสมาร์ทโฟนในการควบคุมระบบให้น้ำทั้งแบบอัตโนมัติและแบบควบคุมด้วยตนเอง เพื่อลดความคลาดเคลื่อนจากการให้น้ำแบบเดิมที่อาศัยการคาดคะเน โดยนำระบบไปทดสอบการใช้งาน ณ ฟาร์มไส้เดือนดิน อ.ยิ่งอ จ.นราธิวาส ระบบประกอบด้วยเซ็นเซอร์วัดความชื้นและ pH ของดิน ซึ่งเชื่อมต่อกับบอร์ด NodeMCU เพื่อประมวลผลและควบคุมการทำงานของโซลินอยด์วาล์วและปั๊มน้ำผ่านรีเลย์ โดยมีแอปพลิเคชัน Blynk แสดงผลข้อมูลแบบเรียลไทม์และให้ผู้ใช้เลือกโหมดการทำงานได้ ผลการทดลองที่ฟาร์มไส้เดือนดินในจังหวัดนราธิวาสพบว่า ระบบที่พัฒนาขึ้นช่วยให้ไส้เดือนเจริญเติบโตดีขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 30 ลดการใช้น้ำลงร้อยละ 70 และเพิ่มปริมาณปุ๋ยต่อหน่วยการผลิตได้ร้อยละ 30 เมื่อเทียบกับวิธีการเลี้ยงแบบเดิม อีกทั้งยังช่วยลดภาระและเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการฟาร์ม จิรัชศักดิ์ และลักษณะนันท์ (2565) ได้พัฒนาเทคโนโลยี IoT สำหรับการควบคุมสภาพแวดล้อมการเพาะเลี้ยงไส้เดือนดิน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดการสูญเสียและเพิ่มผลผลิตมูลไส้เดือนให้แก่เกษตรกร ระบบที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วยการออกแบบโรงเรือน การเชื่อมต่อวงจรควบคุม และการติดตั้งอุปกรณ์ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นผ่านระบบไอโอที โดยใช้ NodeMCU และเซ็นเซอร์ตรวจวัดค่าความชื้นและ pH ของดิน พร้อมระบบพ่นน้ำอัตโนมัติและแสดงผลผ่านแอปพลิเคชัน Blynk ผลการทดสอบพบว่าระบบสามารถควบคุมสภาพแวดล้อมได้อย่างแม่นยำโดยมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิและความชื้นอยู่ในช่วงที่เหมาะสม และได้รับความพึงพอใจจากเกษตรกรในระดับสูง แสดงให้เห็นถึง

ศักยภาพของระบบในการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเพาะเลี้ยงไส้เดือนดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ และ Gavilanes et al. (2024) ได้นำเสนอการพัฒนา ระบบ Internet of Things (IoT) ร่วมกับ Fuzzy logic เพื่อควบคุมสภาพแวดล้อมขนาดเล็ก (Microclimate) สำหรับการผลิตปุ๋ยหมักจากไส้เดือน (Vermicompost) ณ มหาวิทยาลัย ESPOCH ประเทศเอกวาดอร์ โดยระบบสามารถตรวจวัดและปรับค่าต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น และ pH ของดินได้แบบอัตโนมัติผ่านเซนเซอร์และแสดงผลในระบบออนไลน์ ซึ่งช่วยแก้ปัญหาการควบคุมแบบแมนนวลที่ใช้เวลานานและขาดข้อมูลสิ่งแวดล้อมที่แม่นยำ ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าการใช้ตรรกะฟัซซีร่วมกับ IoT ช่วยเพิ่มคุณภาพและประสิทธิภาพของการผลิตปุ๋ยหมักได้อย่างมีนัยสำคัญ ลดการพึ่งพาการควบคุมด้วยแรงงานคน และส่งเสริมการพัฒนาเกษตรอัจฉริยะในระดับท้องถิ่น

ในปัจจุบัน ศูนย์การเรียนรู้แบบบูรณาการศาสตร์ผสมผสาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง (2565) ดำเนินการเลี้ยงไส้เดือนดินแบบกะละมังโดยใช้มูลวัวเป็นวัสดุรองเลี้ยง และปิดปากกะละมังด้วยกระเบื้องหรือภาชนะอื่น ๆ ที่มีรูระบายอากาศ ทำการรดน้ำทุก ๆ 4-7 วัน โดยสังเกตด้วยตาเปล่าและใช้มือสัมผัสความชื้นจากหน้ากะละมังเพื่อตรวจสอบว่าควรจะรดน้ำเพื่อเพิ่มความชื้นหรือไม่ และทำการเก็บและร่อนมูลไส้เดือนเพื่อแยกตัวอ่อนออกจากมูลไส้เดือนทุก 7-15 วัน โดยระยะเวลาเก็บมูลจะขึ้นอยู่กับฤดูกาลซึ่งหากอากาศเย็นไส้เดือนจะพักตัว และกินอาหารน้อยลง ทำให้ระยะห่างของเวลาในการเก็บมูลอาจจะใช้เวลานานขึ้น

จากสภาพการณ์ดังกล่าว คณะผู้วิจัยเห็นความสำคัญของการนำแนวคิดสมาร์ทฟาร์ม (Smart Farm) มาช่วยควบคุมสภาพแวดล้อมในการผลิตมูลไส้เดือน เพื่อให้เกิดการผลิตมูลไส้เดือนที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยงานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) ที่ทำการศึกษาและเปรียบเทียบการเลี้ยงไส้เดือนภายใต้เงื่อนไขที่ควบคุมด้วยเทคโนโลยี IoT กับการเลี้ยงแบบปกติ โดยใช้ไส้เดือน 2 สายพันธุ์ คือ สายพันธุ์ African Nightcrawler (AF) และสายพันธุ์ Blue Worm (Blue)

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของการใช้ระบบควบคุมสภาพแวดล้อมแบบ IoT ต่อการเลี้ยงไส้เดือนสายพันธุ์ African Nightcrawler (AF) และ Blue Worm (Blue)
2. เพื่อวิเคราะห์ผลผลิตของมูลไส้เดือน คุณภาพของจุลินทรีย์ และการเจริญเติบโตของไส้เดือนภายใต้สภาวะแวดล้อมที่ควบคุมด้วยระบบ IoT

วิธีการวิจัย

1. เครื่องมือการวิจัย

- 1.1 ระบบควบคุมสภาพแวดล้อมอัจฉริยะ (Smart Environmental Control System) ที่พัฒนาขึ้นโดยใช้เทคโนโลยี Internet of Things (IoT)
- 1.2 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น (DHT11 Sensor) สำหรับตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นในอากาศ
- 1.3 เซ็นเซอร์วัดความชื้นของดิน สำหรับตรวจวัดความชื้นในวัสดุรองเลี้ยง
- 1.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 สำหรับควบคุมและเชื่อมต่อกับระบบตรวจวัดค่าผ่านแอปพลิเคชัน
- 1.5 แอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนหรือคอมพิวเตอร์ สำหรับแสดงผลข้อมูลและควบคุมระบบแบบเรียลไทม์

2. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

2.1 ประชากรในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ ไส้เดือนดินสายพันธุ์ African Nightcrawler (AF) และสายพันธุ์ Blue Worm (Blue) ที่ใช้ในการทดลองเพาะเลี้ยงเพื่อผลิตมูลไส้เดือน ณ ศูนย์การเรียนรู้แบบบูรณาการศาสตร์ ผสมผสาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง

2.2 กลุ่มตัวอย่าง กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้ คือ ไส้เดือนดินสายพันธุ์ AF และสายพันธุ์ Blue ซึ่งได้รับการคัดเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบผลการเลี้ยงระหว่างระบบควบคุมด้วยเทคโนโลยี IoT และการเลี้ยงแบบปกติ โดยแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มทดลอง ดังนี้

- 1) กลุ่ม AF-A ใส่เดือนสายพันธุ์ AF เลี้ยงภายใต้ระบบควบคุมด้วย IoT
- 2) กลุ่ม AF-B ใส่เดือนสายพันธุ์ AF เลี้ยงแบบปกติ
- 3) กลุ่ม Blue-A ใส่เดือนสายพันธุ์ Blue เลี้ยงภายใต้ระบบควบคุมด้วย IoT
- 4) กลุ่ม Blue-B ใส่เดือนสายพันธุ์ Blue เลี้ยงแบบปกติ

จำนวนตัวต่อชีวมวล 120 กรัมต่อภาชนะทดลอง จำนวน 8 ภาชนะต่อกลุ่ม รวมทั้งหมด 32 หน่วยทดลอง ดำเนินการเลี้ยงในสภาพแวดล้อมเดียวกัน โดยควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ให้ใกล้เคียงกันมากที่สุด

3. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.1 รูปแบบการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) โดยทำการศึกษาและเปรียบเทียบการเลี้ยงใส่เดือน ภายใต้เงื่อนไขที่ควบคุมด้วยเทคโนโลยี IoT กับการเลี้ยงแบบปกติ

3.2 การออกแบบการทดลอง

การทดลองใช้ใส่เดือน 2 สายพันธุ์ คือ สายพันธุ์ AF และสายพันธุ์ Blue แบ่งออกเป็น 4 ชุดทดลอง ดังนี้

- 1) ชุดทดลองที่ 1 (AF-A) เลี้ยงใส่เดือนสายพันธุ์ AF ภายใต้การควบคุมด้วย IoT
- 2) ชุดทดลองที่ 2 (AF-B) เลี้ยงใส่เดือนสายพันธุ์ AF แบบปกติ
- 3) ชุดทดลองที่ 3 (Blue-A) เลี้ยงใส่เดือนสายพันธุ์ Blue ภายใต้การควบคุมด้วย IoT
- 4) ชุดทดลองที่ 4 (Blue-B) เลี้ยงใส่เดือนสายพันธุ์ Blue แบบปกติ

3.3 กระบวนการทดลอง

การทดลองดำเนินการระหว่างวันที่ 15 กุมภาพันธ์ ถึง 1 มีนาคม พ.ศ. 2568 โดยเป็นการทดลองในรอบการผลิต เดียว (Single Production Cycle) ไม่มีการทำซ้ำในช่วงเวลาอื่น

การทดลองแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ตามสายพันธุ์ของใส่เดือนและวิธีการเลี้ยง ได้แก่ กลุ่ม AF-A, AF-B, Blue-A และ Blue-B โดยแต่ละชุดทดลองประกอบด้วย 8 หน่วยทดลอง รวมทั้งหมด 32 หน่วยทดลอง การเก็บผลผลิต ดำเนินการโดยใช้แรงงานมนุษย์เก็บมูลใส่เดือนทุก 14 วัน เฉพาะส่วนที่อยู่ด้านบนของวัสดุรองเลี้ยง ซึ่งความลึกในการเก็บอาจ แตกต่างกันไปตามปริมาณของมูลใส่เดือนในแต่ละกะละมัง โดยผลผลิตที่ได้จากแต่ละกะละมังในแต่ละชุดทดลองมีความแตกต่างกัน เนื่องจากไม่สามารถควบคุมการเจริญเติบโตและอัตราการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุของใส่เดือนให้เท่ากันได้ ในทุกหน่วยทดลอง ดังนั้น ค่าที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์จึงเป็นค่าเฉลี่ยจาก 8 หน่วยทดลองในแต่ละกลุ่ม เพื่อสะท้อนแนวโน้มของผลลัพธ์ ภายใต้เงื่อนไขการทดลองที่กำหนด กระบวนการทดลองสามารถอธิบายแยกตามกระบวนการ แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 กระบวนการทดลองเลี้ยงใส่เดือนเปรียบเทียบระหว่างการเลี้ยงภายใต้ระบบ IoT และการเลี้ยงแบบปกติ

กระบวนการ	การเลี้ยงภายใต้ระบบ IoT	การเลี้ยงแบบปกติ
1. ภาชนะสำหรับเลี้ยงใส่เดือน	ภาชนะทดลองแบบพลาสติกทรงกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 52 เซนติเมตร เจาะรูระบายอากาศขนาด 1 เซนติเมตร จำนวน 12 รู รวมทั้งหมด 8 ภาชนะ	ภาชนะทดลองแบบพลาสติกทรงกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 52 เซนติเมตร เจาะรูระบายอากาศขนาด 1 เซนติเมตร จำนวน 12 รู รวมทั้งหมด 8 ภาชนะ
2. วัสดุรองเลี้ยง (Bedding)	มูลวัวแช่น้ำ 7 วัน ปริมาณ 8 กิโลกรัม/ภาชนะทดลอง	มูลวัวแช่น้ำ 7 วัน ปริมาณ 8 กิโลกรัม/ภาชนะทดลอง

กระบวนการ	การเลี้ยงภายใต้ระบบ IoT	การเลี้ยงแบบปกติ
3. ใส่เดือนที่เลี้ยง	- ใส่เดือนสายพันธุ์ African Nightcrawler (AF) ชั่งน้ำหนักรวม 120 กรัมต่อภาชนะทดลอง จำนวน 8 ภาชนะ - ใส่เดือนสายพันธุ์ Blue Worm (Blue) ชั่งน้ำหนักรวม 120 กรัมต่อภาชนะทดลอง จำนวน 8 ภาชนะ	- ใส่เดือนสายพันธุ์ African Nightcrawler (AF) ชั่งน้ำหนักรวม 120 กรัมต่อภาชนะทดลอง จำนวน 8 ภาชนะ - ใส่เดือนสายพันธุ์ Blue Worm (Blue) ชั่งน้ำหนักรวม 120 กรัมต่อภาชนะทดลอง จำนวน 8 ภาชนะ
4. ชั้นวาง	วางในชั้นวางเหล็ก ตามภาพที่ 3	วางในชั้นวางเหล็ก ตามภาพที่ 3
5. การป้องกันแสง	คลุมด้วยตาข่ายความทึบแสงของตาข่าย เท่ากับร้อยละ 60	ใช้กระเบื้องเปิดหน้าภาชนะทดลอง
6. การวัดความชื้นและอุณหภูมิ	ติดตั้งเซ็นเซอร์และเชื่อมต่ออุปกรณ์ทั้งหมดเข้ากับ NodeMCU ESP32 เพื่อส่งข้อมูลไปยังแอปพลิเคชัน	ใช้มือสัมผัสและวัดโดยใช้ความรู้สึก
7. การรดน้ำเพื่อควบคุมความชื้นและอุณหภูมิ	ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นโดยอัตโนมัติผ่านระบบ IoT	ใช้แรงงานมนุษย์โดยมีการรดน้ำทุก 5-7 วัน
8. การเก็บผลผลิต	ใช้แรงงานมนุษย์ในการเก็บมูลไส้เดือนทุก 14 วัน โดยทำการเก็บเฉพาะมูลไส้เดือนด้านบน (ความลึกของการเก็บไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับปริมาณของมูลไส้เดือน)	ใช้แรงงานมนุษย์ในการเก็บมูลไส้เดือนทุก 14 วัน โดยทำการเก็บเฉพาะมูลไส้เดือนด้านบน (ความลึกของการเก็บไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับปริมาณของมูลไส้เดือน)
9. การตรวจสอบจุลินทรีย์	ตรวจสอบจำนวนจุลินทรีย์ในมูลไส้เดือนด้วยวิธี Spread plate technique และตรวจสอบลักษณะรูปร่าง การติดสี ภายใต้กล้องจุลทรรศน์	ตรวจสอบจำนวนจุลินทรีย์ในมูลไส้เดือนด้วยวิธี Spread plate technique และตรวจสอบลักษณะรูปร่าง การติดสี ภายใต้กล้องจุลทรรศน์

จากตารางที่ 1 การทดลองเปรียบเทียบการเลี้ยงไส้เดือนระหว่าง การเลี้ยงภายใต้ระบบ IoT และการเลี้ยงแบบปกติ ใช้ภาชนะทดลองแบบพลาสติกทรงกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 52 เซนติเมตร เจาะรูระบายอากาศขนาด 1 เซนติเมตร จำนวน 12 รูต่อภาชนะ รวมทั้งสิ้น 8 ภาชนะ เป็นภาชนะรองเลี้ยงในทั้งสองวิธี โดยใช้มูลวัวแช่น้ำ 7 วัน ปริมาณ 8 กิโลกรัมต่อภาชนะทดลอง เป็นวัสดุรองเลี้ยง และใช้ไส้เดือนสายพันธุ์ African Nightcrawler (AF) และสายพันธุ์ Blue Worm (Blue) โดยชั่งน้ำหนักรวม 120 กรัมต่อภาชนะทดลอง (อย่างละ 8 ภาชนะ) วางภาชนะบนชั้นวางเหล็ก ตามภาพที่ 3 เก็บมูลไส้เดือนทุก 14 วัน โดยเก็บเฉพาะชั้นบนของมูล และทำการตรวจสอบจำนวนจุลินทรีย์ ด้วยวิธี Spread plate technique พร้อมตรวจสอบลักษณะรูปร่างและการติดสีภายใต้กล้องจุลทรรศน์ สำหรับการเลี้ยงภายใต้ระบบ IoT คลุมชั้นวางด้วย ตาข่ายกรองแสงความทึบแสงร้อยละ 60 และติดตั้งเซ็นเซอร์เชื่อมต่อกับ NodeMCU ESP32 เพื่อส่งข้อมูลไปยังแอปพลิเคชันและควบคุมอุณหภูมิและความชื้นอัตโนมัติ ขณะที่การเลี้ยงแบบปกติ ใช้กระเบื้องเปิดหน้าภาชนะทดลอง เพื่อป้องกันแสง ตรวจสอบความชื้น ด้วยการสัมผัสด้วยมือ และรดน้ำด้วยแรงงานมนุษย์ทุก 5-7 วัน

ในกระบวนการที่ 9 การตรวจสอบจุลินทรีย์จะทำการคัดแยกปริมาณจุลินทรีย์ โดยการนำตัวอย่างมูลไส้เดือนจาก 4 ชุดการทดลองมาเจือจางครั้งละ 10 เท่า ด้วยน้ำกลั่นปลอดเชื้อจนถึงระดับความเจือจาง 10^{-6} จากนั้นนำมาแยกเชื้อด้วยวิธี Spread Plate โดยนำสารละลายแต่ละความเข้มข้นปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร หยดลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient Agar (NA) จากนั้นใช้แท่งแก้วเกลี่ยเชื้อให้ทั่วผิวหน้าอาหาร โดยทำการทดลองที่ค่าการเจือจาง 3 ระดับ (10^{-4} - 10^{-6}) ระดับการเจือจางละ 3 ซ้ำ นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน หลังจากนั้นนำจุลินทรีย์ที่คัดแยกได้มาทำการนับจำนวนโคโลนีที่เจริญบนจานเพาะเชื้อ เพื่อคำนวณหาปริมาณจุลินทรีย์ในตัวอย่าง จากนั้นสังเกตโคโลนีที่มีลักษณะแตกต่างกันมาทำการย้อมสีแบบแกรม และตรวจสอบผลการย้อมสีภายใต้กล้องจุลทรรศน์ โดยมีการคำนวณปริมาณจุลินทรีย์ดังสมการที่ (1)

$$\text{จำนวนจุลินทรีย์} = \frac{\text{จำนวนโคโลนีที่นับได้ (CFUs)} \times \text{ค่าความเจือจาง}}{\text{ปริมาตรของตัวอย่างที่ใช้ทำ (มิลลิลิตร)}} \quad (1)$$

โดยที่ CFUs คือ Colony Forming Units

4. สถิติที่ใช้ในการวิจัย

4.1 สถิติพรรณนา คือ ค่าเฉลี่ย (Mean)

4.2 ใช้ t-Test: Paired Two Sample for Means เพื่อตรวจสอบความแตกต่างระหว่างกลุ่มที่ใช้ระบบ IoT และกลุ่มควบคุมแบบปกติ ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ใช้ในการพิจารณาอยู่ที่ $p < 0.05$

4.3 คำนวณปริมาณจุลินทรีย์โดยใช้สมการที่ (1) แล้วนำมาเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มที่ใช้ระบบ IoT และกลุ่มควบคุมแบบปกติ

ผลการวิจัย และวิจารณ์ผลการวิจัย

1. ผลการวิจัย

ผลการวิจัยนี้เก็บรวบรวมจากการเปรียบเทียบผลผลิตใน 4 ชุดทดลอง แต่ละชุดทดลองประกอบด้วย 8 หน่วยทดลอง รวมทั้งหมด 32 หน่วยทดลอง มีผลการวิจัย ใน 4 เรื่อง ได้แก่

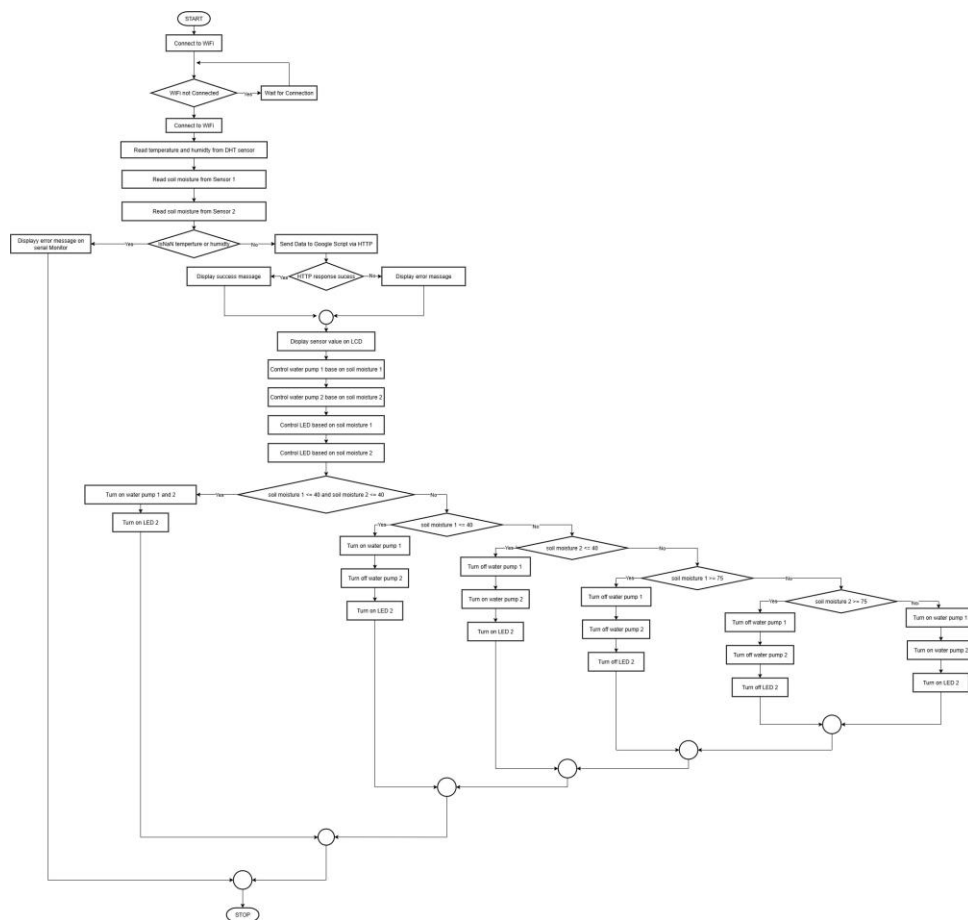
- 1) ผลผลิตมูลไส้เดือน
- 2) ความยาวของไส้เดือน
- 3) จำนวนตัวต่อชีวมวล 120 กรัม
- 4) ปริมาณจุลินทรีย์ของไส้เดือน

โดยทั้ง 4 ชุดทดลองดำเนินการเลี้ยงไส้เดือนบนชั้นวางที่มีรูปแบบเดียวกัน โดยระบบควบคุม IoT คลุมด้วยตาข่ายความทึบแสงของตาข่ายเท่ากับร้อยละ 60 เพื่อทำการกรองแสงและควบคุมความชื้น โดยมีให้น้ำแบบอัตโนมัติตามสภาพความชื้นของวัสดุรองเลี้ยง การส่วนการเลี้ยงแบบปกติจะใช้กระบี่เปิดหน้าภาชนะทดลอง และจะให้น้ำทุก ๆ 5-7 วัน ดังภาพที่ 1

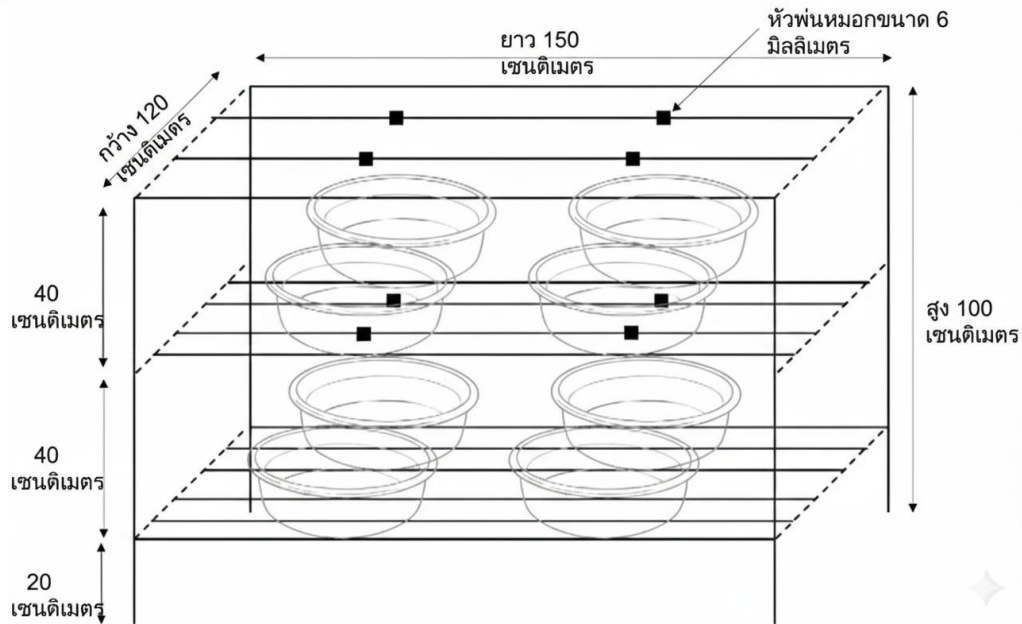
การให้น้ำการเลี้ยงด้วยระบบควบคุม IoT จะมีการติดตั้งหัวพ่นหมอกขนาด 6 มิลลิเมตร จำนวน 8 หัว/ชั้น และระบบ IoT จะใช้เซ็นเซอร์ตรวจวัดความชื้นในวัสดุรองเลี้ยง อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ ข้อมูลที่ได้จะถูกประมวลผลและแสดงผลบน LCD รวมถึงส่งไปยัง Google Apps Script เพื่อเก็บในคลาวด์ โปรแกรมจะควบคุมการทำงานของปั๊มน้ำและไฟ LED โดยเปิดปั๊มน้ำและไฟ LED สีเขียวเมื่อความชื้นวัสดุรองเลี้ยง ต่ำกว่าร้อยละ 40 และปิดปั๊มน้ำพร้อมเปิดไฟ LED สีแดงเมื่อความชื้นเกินร้อยละ 75 หลังจากการควบคุมและแสดงผลการทำงานของระบบเสร็จสิ้น โปรแกรมจะหน่วงเวลา 1 วินาที (โดยใช้ฟังก์ชัน delay(1000)) เพื่อให้ระบบสามารถตรวจสอบค่าเซ็นเซอร์และอัปเดตข้อมูลในรอบถัดไป โดยมีขั้นตอนการควบคุมสภาพแวดล้อมในการเลี้ยงไส้เดือน ดังผังงานในภาพที่ 2 และมีการออกแบบชั้นวางภาชนะทดลองไส้เดือนและการวางระบบน้ำในการเลี้ยงด้วยระบบควบคุม IoT ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 1 การขึ้นวางไส้เดือน

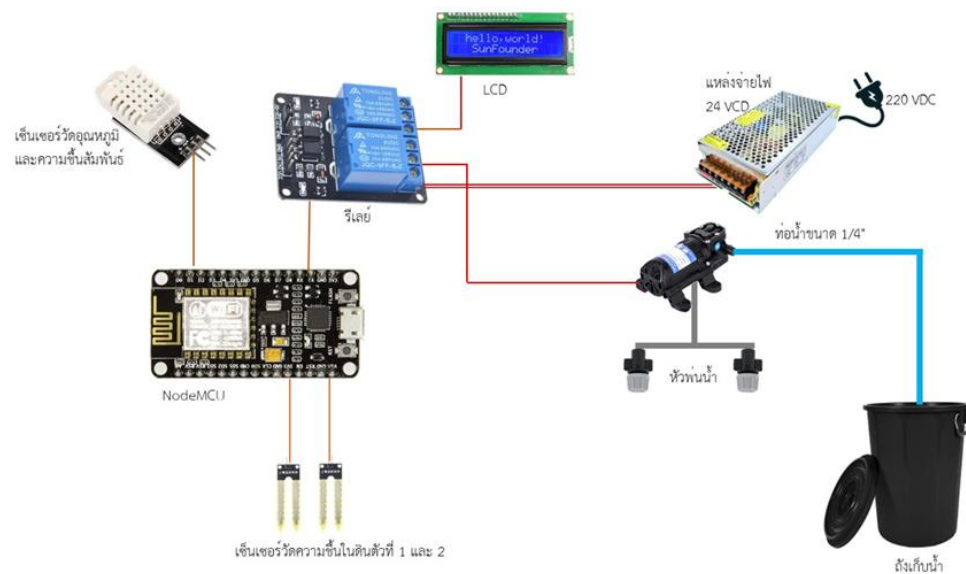


ภาพที่ 2 ฟังก์ชันของระบบ IoT ควบคุมสภาพแวดล้อมในการเลี้ยงไส้เดือน



ภาพที่ 3 การออกแบบชั้นวางและการวางระบบน้ำ

การออกแบบภายในกล่องควบคุมจะประกอบไปด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU ESP32 Devkit สวิตช์รีเลย์ขนาด 3V เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภาคอินพุตได้แก่ โมดูลเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น (DHT11) เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน และโมดูลนาฬิกา (DS3231) และส่งอุปกรณ์ภาคเอาต์พุตคือปั้มน้ำแรงดัน 12 V ขนาด 10 บาร์ เชื่อมต่อกับชุดพ่นหมอกภายในโรงเรือนแบบปิด ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การออกแบบการเชื่อมต่อวงจรของระบบ

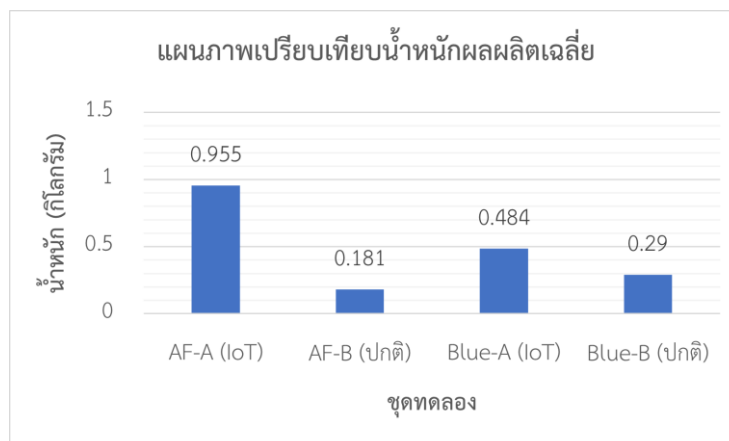
ในการประเมินผลการทดลอง ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติ T-test แบบจับคู่ (Paired t-test) เพื่อเปรียบเทียบผลผลิตมูลไส้เดือน การเจริญเติบโตของไส้เดือน จำนวนตัวต่อชีวมวล 120 กรัม และปริมาณจุลินทรีย์ในมูลไส้เดือน ผลการทดลองสรุปได้ดังนี้

1. ผลิตมูลไส้เดือน

ผลการทดลองพบว่า การใช้ระบบ IoT มีผลในการเพิ่มผลผลิตของไส้เดือนในสายพันธุ์ AF อย่างมีนัยสำคัญ แต่ในสายพันธุ์ Blue การใช้ระบบ IoT อาจไม่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตเมื่อเปรียบเทียบกับเลี้ยงแบบปกติ แสดงดังตารางที่ 2 และภาพที่ 5

ตารางที่ 2 ผลผลิตของมูลไส้เดือนเฉลี่ย

ชุดทดลอง	น้ำหนักผลผลิตเฉลี่ย (กิโลกรัม)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	p-value
AF-A (IoT)	0.96	0.61	0.015
AF-B (ปกติ)	0.18	0.99	
Blue-A (IoT)	0.48	0.21	0.067
Blue-B (ปกติ)	0.29	0.09	



ภาพที่ 5 แผนภาพเปรียบเทียบน้ำหนักผลผลิตเฉลี่ยในแต่ละชุดทดลอง

จากตารางที่ 2 พบว่าไส้เดือนสายพันธุ์ AF ที่เลี้ยงด้วยระบบ IoT ให้ผลผลิตเฉลี่ย 0.96 กิโลกรัม ซึ่งสูงกว่ากลุ่มที่เลี้ยงแบบปกติ (AF-B) ที่ให้ผลผลิตเฉลี่ย 0.18 กิโลกรัม โดยมีค่า p-value เท่ากับ 0.015 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และไส้เดือนสายพันธุ์ Blue ที่เลี้ยงด้วยระบบ IoT ให้ผลผลิตเฉลี่ย 0.48 กิโลกรัม ซึ่งสูงกว่ากลุ่มที่เลี้ยงแบบปกติ (Blue-B) ที่ให้ผลผลิตเฉลี่ย 0.29 กิโลกรัม โดยค่า p-value เท่ากับ 0.067 แสดงว่าไม่มีความแตกต่างที่มีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่มที่เลี้ยงด้วยระบบ IoT และแบบปกติ การใช้ระบบ IoT จึงมีผลดีต่อผลผลิตมูลไส้เดือนในสายพันธุ์ AF แต่ไม่สามารถยืนยันผลกระทบที่ชัดเจนในสายพันธุ์ Blue

2. ความยาวของไส้เดือน

ผลการทดลองพบว่า การใช้ระบบ IoT มีผลในการเพิ่มความยาวของไส้เดือนในสายพันธุ์ AF อย่างมีนัยสำคัญ แต่ในสายพันธุ์ Blue การใช้ระบบ IoT ไม่มีผลกระทบต่อความยาวเมื่อเปรียบเทียบกับเลี้ยงแบบปกติ แสดงดังตารางที่ 3 และภาพที่ 6

ตารางที่ 3 ความยาวของไส้เดือนเฉลี่ย

ชุดทดลอง	ความยาวเฉลี่ย (เซนติเมตร)	p-value
AF-A (IoT)	18.13	0.003
AF-B (ปกติ)	10.69	
Blue-A (IoT)	9.61	0.728
Blue-B (ปกติ)	8.43	



ภาพที่ 6 แผนภาพเปรียบเทียบความยาวตัวไส้เดือนเฉลี่ยในแต่ละชุดทดลอง

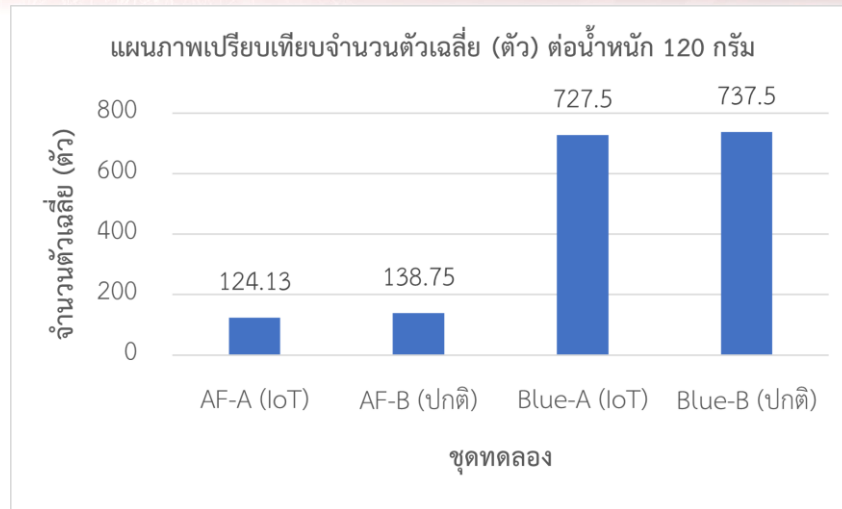
จากตารางที่ 3 พบว่าไส้เดือนสายพันธุ์ AF ที่เลี้ยงด้วยระบบ IoT มีความยาวเฉลี่ย 18.13 เซนติเมตร ซึ่งสูงกว่ากลุ่มที่เลี้ยงแบบปกติ (AF-B) ที่มีความยาวเฉลี่ย 10.67 เซนติเมตร โดยมีค่า p-value เท่ากับ 0.003 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และไส้เดือนสายพันธุ์ Blue ที่เลี้ยงด้วยระบบ IoT มีความยาวเฉลี่ย 9.610 เซนติเมตร ซึ่งสูงกว่ากลุ่มที่เลี้ยงแบบปกติ (Blue-B) ที่มีความยาวเฉลี่ย 8.43 เซนติเมตร โดยค่า p-value เท่ากับ 0.728 ซึ่งแสดงว่าไม่มีความแตกต่างที่มีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่มที่เลี้ยงด้วยระบบ IoT และแบบปกติ

3. จำนวนตัวต่อชีวมวล 120 กรัม

ผลการทดลองพบว่า การใช้ระบบ IoT ช่วยให้ไส้เดือนในทั้ง 2 สายพันธุ์ (AF และ Blue) มีขนาดที่ใหญ่ขึ้นและสมบูรณ์มากขึ้น จากจำนวนตัวไส้เดือนเฉลี่ยต่อน้ำหนัก 120 กรัมที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเลี้ยงแบบปกติ แสดงดังตารางที่ 4 และภาพที่ 7

ตารางที่ 4 จำนวนตัวต่อชีวมวล 120 กรัม

ชุดทดลอง	จำนวนตัวต่อชีวมวล 120 กรัม	p-value
AF-A (IoT)	124.13	0.0005
AF-B (ปกติ)	138.75	
Blue-A (IoT)	727.50	0.0495
Blue-B (ปกติ)	737.50	



ภาพที่ 7 แผนภาพเปรียบเทียบจำนวนตัวต่อชีวมวลเฉลี่ยต่อ 120 กรัม ในแต่ละชุดทดลอง

จากตารางที่ 4 พบว่าไส้เดือนสายพันธุ์ AF ที่เลี้ยงด้วยระบบ IoT มีจำนวนตัวต่อชีวมวลเฉลี่ย 124.13 ตัวต่อ 120 กรัม ซึ่งน้อยกว่ากลุ่มที่เลี้ยงแบบปกติ (AF-B) ที่มีจำนวนตัวต่อชีวมวลเฉลี่ย 138.75 ตัวต่อ 120 กรัม โดยมีค่า p-value เท่ากับ 0.0005 และไส้เดือนสายพันธุ์ Blue ที่เลี้ยงด้วยระบบ IoT มีจำนวนตัวต่อชีวมวลเฉลี่ย 727.5 ตัวต่อ 120 กรัม ซึ่งน้อยกว่ากลุ่มที่เลี้ยงแบบปกติ (Blue-B) ที่มีจำนวนตัวต่อชีวมวลเฉลี่ย 737.5 ตัวต่อ 120 กรัม โดยมีค่า p-value เท่ากับ 0.0495 ซึ่งทั้ง 2 สายพันธุ์อย่างมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยการที่จำนวนตัวต่อชีวมวลน้อยลงหมายถึงไส้เดือนในกลุ่มที่เลี้ยงด้วยระบบ IoT มีขนาดใหญ่ขึ้นและสมบูรณ์มากขึ้น

4. ปริมาณจุลินทรีย์ของไส้เดือน

การทดลองมีการตรวจสอบโคลินของจุลินทรีย์ด้วยการย้อมสีแกรม เมื่อคำนวณจุลินทรีย์ในตัวอย่างเริ่มต้น มีผลการทดลอง แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 จำนวนจุลินทรีย์ที่พบในตัวอย่างมูลไส้เดือน

ชุดทดลอง	จำนวนโคลินที่พบ (CFU/ml)	จำนวนโคลินที่แตกต่างกัน
AF-A (IoT)	3.51×10^7	3
AF-B (ปกติ)	1.13×10^7	6
Blue-A (IoT)	4.45×10^7	3
Blue-B (ปกติ)	2.27×10^7	7

จากตารางที่ 5 พบว่าไส้เดือนสายพันธุ์ AF ที่เลี้ยงด้วยระบบ IoT มีจำนวนโคลินที่พบ 3.51×10^7 CFU/ml และจำนวนโคลินที่แตกต่างกัน 3 ชนิด ขณะที่กลุ่มที่เลี้ยงแบบปกติ (AF-B) มีจำนวนโคลินที่พบ 1.13×10^7 CFU/ml และจำนวนโคลินที่แตกต่างกัน 6 ชนิด และไส้เดือนสายพันธุ์ Blue ที่เลี้ยงด้วยระบบ IoT มีจำนวนโคลินที่พบ 4.45×10^7 CFU/ml และจำนวนโคลินที่แตกต่างกัน 3 ชนิด ขณะที่กลุ่มที่เลี้ยงแบบปกติ (Blue-B) มีจำนวนโคลินที่พบ 2.27×10^7 CFU/ml และจำนวนโคลินที่แตกต่างกัน 7 ชนิด สรุปได้ว่าสภาวะที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงไส้เดือนมีผลต่อปริมาณและความหลากหลายของเชื้อจุลินทรีย์ที่อยู่ในมูลไส้เดือน โดยการเพาะเลี้ยงด้วยระบบ IoT พบว่าปริมาณจุลินทรีย์มีมากกว่าแต่มีความหลากหลายของเชื้อจุลินทรีย์น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองที่เลี้ยงด้วยระบบปกติ

เมื่อเปรียบเทียบสายพันธุ์ไส้เดือนพบว่า ไส้เดือนสายพันธุ์ Blue พบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในตัวอย่างมูลไส้เดือนมากกว่าสายพันธุ์ AF ผลการศึกษาแสดงให้เห็นถึงผลที่ดีกว่าของการควบคุมสภาพแวดล้อมที่มีเทคโนโลยี IoT ซึ่งส่งผลให้มูลไส้เดือนที่ได้มีคุณภาพสูงขึ้นจากการมีจุลินทรีย์ที่หลากหลาย

2. วิจัยการผลิตวิจัย

2.1 ระบบควบคุมสภาพแวดล้อมสำหรับฟาร์มไส้เดือนโดยใช้เทคโนโลยี IoT ที่พัฒนาขึ้นในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 3 ส่วน ได้แก่ 1) เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น (DHT11) 2) เซ็นเซอร์วัดความชื้นดิน และ 3) ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 ซึ่งเชื่อมต่อกับแอปพลิเคชันแบบเรียลไทม์เพื่อการควบคุมระบบอย่างแม่นยำ จากการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ ระบบมีความเหมาะสมในระดับดีมาก เนื่องจากสามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นได้อย่างต่อเนื่องและแม่นยำ ส่งผลให้ไส้เดือนมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตมูลไส้เดือนได้อย่างชัดเจน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ รชต และคณะ (2564) ที่พบว่า การใช้ระบบควบคุมสภาพแวดล้อมผ่านแพลตฟอร์ม IoT ช่วยทำให้ไส้เดือนเจริญเติบโตดีขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 30 และเพิ่มปริมาณมูลไส้เดือนได้อย่างมีนัยสำคัญ เช่นเดียวกับงานของ Gavilanes et al. (2024) ที่นำระบบ IoT ร่วมกับ Fuzzy Logic มาใช้ในการควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น และ pH ซึ่งช่วยเพิ่มคุณภาพของผลผลิตและลดการพึ่งพาแรงงานมนุษย์

2.2 ผลการวิจัยพบว่า ระบบ IoT มีผลต่อการเพิ่มผลผลิตมูลไส้เดือน ความยาวเฉลี่ยของไส้เดือน และปริมาณจุลินทรีย์ในมูลไส้เดือนอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะในสายพันธุ์ African Nightcrawler (AF) ซึ่งมีผลผลิตสูงกว่าและมีการเจริญเติบโตดีกว่าการเลี้ยงแบบปกติ เหตุผลหนึ่งที่น่าจะอธิบายปรากฏการณ์นี้ได้คือ ระบบ IoT สามารถควบคุมปัจจัยแวดล้อมได้อย่างเสถียร เช่น ความชื้นในวัสดุรองเลี้ยงและอุณหภูมิ ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อพฤติกรรมและการย่อยอินทรีย์วัตถุของไส้เดือน ตลอดจนการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในมูลไส้เดือน แต่เมื่อพิจารณาในแง่ของความหลากหลายของจุลินทรีย์ พบว่าการเลี้ยงด้วยระบบ IoT จะมีปริมาณจุลินทรีย์สูงกว่า แต่กลับมีความหลากหลายของสายพันธุ์น้อยกว่าเมื่อเทียบกับการเลี้ยงแบบปกติ ซึ่งอาจเกิดจากสภาพแวดล้อมที่ “คงที่และเหมาะสม” ซึ่งเป็นสภาพแวดล้อมที่มีส่วนช่วยในการคัดเลือกจุลินทรีย์ที่มีความจำเพาะ (Environmental Selection) ที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพแวดล้อมที่ใช้ระบบ IoT ในการเพาะเลี้ยง ทำให้เกิดการเพิ่มจำนวนของกลุ่มจุลินทรีย์เด่น (Dominant Group) จากระบบควบคุมทำให้จุลินทรีย์บางสายพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพสูงในการย่อยสลายสามารถเจริญเติบโตได้ดี และอาจสร้างสารควบคุม (Microbial Growth Control Agents) ที่สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์สายพันธุ์อื่น ๆ ได้ ในขณะที่การเลี้ยงแบบปกติซึ่งมีสภาพแวดล้อมที่ผันผวนมากกว่า อาจเปิดโอกาสให้จุลินทรีย์หลากหลายชนิดผลัดกันเจริญเติบโตตามสภาวะที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ จีรศักดิ์ และลักษณะันท์ (2565) ที่พบว่า การควบคุมสภาพแวดล้อมด้วยระบบ IoT ส่งผลให้การเจริญเติบโตของไส้เดือนและปริมาณของมูลไส้เดือนเพิ่มขึ้น

จากการศึกษาของ Aguilar et al. (2023) พบว่าในช่วงของการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ ระยะที่มีการย่อยสลายสารอินทรีย์อย่างรวดเร็ว มักเกิดในสภาวะที่มีความหลากหลายของจุลินทรีย์น้อยกว่าแต่มีชนิดเด่นจำนวนมาก (เช่น แบคทีเรียในจีนัส *Thermus*, *Bacillus*) ซึ่งช่วยเร่งสลายสารอินทรีย์และลดจำนวนเชื้อก่อโรคได้ดี

ผลการศึกษาพบว่ามูลไส้เดือนจากระบบการเลี้ยงแบบ IoT มีปริมาณจุลินทรีย์รวมสูงแต่มีความหลากหลายของชนิดจุลินทรีย์ต่ำกว่าการเลี้ยงแบบปกติ ซึ่งสะท้อนถึงการคัดเลือกของสภาพแวดล้อมที่ควบคุมให้จุลินทรีย์บางกลุ่มเจริญเด่น โดยจุลินทรีย์กลุ่มดังกล่าวสามารถช่วยเร่งการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุและเพิ่มประสิทธิภาพการปลดปล่อยธาตุอาหาร รวมถึงมีศักยภาพในการก่อโรคพืชหากเป็นจุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช (PGPR) เช่น *Streptomyces*, *Bacillus* และ *Pseudomonas* ซึ่งมีบทบาทในการปรับโครงสร้างจุลินทรีย์บริเวณราก เพิ่มการดูดใช้ธาตุอาหาร และเสริมความแข็งแรงของพืช (Nonthakaew et al., 2022; Sahai et al., 2025; เปรมสุตา, 2568; ภัทธนาวรรณ และคณะ, 2566) อย่างไรก็ตาม ความหลากหลายของหน้าที่ทางชีวภาพที่ลดลงอาจจำกัดเสถียรภาพของระบบในระยะยาว ในขณะที่มูลไส้เดือนที่มีความหลากหลายของจุลินทรีย์สูง แม้มีปริมาณจุลินทรีย์รวมไม่มากนัก กลับเอื้อต่อความต่อเนื่องของกระบวนการย่อยสลายและการทำงานเชิงหน้าที่ของจุลินทรีย์ภายใต้สภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงได้ดีกว่า ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบและหน้าที่ของชุมชนแบคทีเรียระหว่างกระบวนการ Vermicomposting ที่ส่งผลต่อคุณสมบัติที่เป็นประโยชน์ของมูลไส้เดือน (Dominguez et al., 2019; Pathma and Sakthivel, 2012)

2.3 ผลการวิจัยแสดงให้เห็นชัดเจนว่าไส้เดือนสายพันธุ์ AF ตอบสนองต่อระบบ IoT ได้ดีกว่าสายพันธุ์ Blue ในทุกมิติทั้งด้านผลผลิต และความยาวของตัวไส้เดือน เนื่องจากสภาพแวดล้อมที่ตั้งค่าไว้ในระบบ IoT ที่กำหนดให้ใช้การรดน้ำเพื่อปรับอุณหภูมิและความชื้นของวัสดุรองเลี้ยง โดยเมื่อจะเปิดปั้มน้ำเมื่อความชื้นวัสดุรองเลี้ยง ต่ำกว่าร้อยละ 40 และปิดปั้มน้ำเมื่อความชื้นเกินร้อยละ 75 นั้นเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับสายพันธุ์ AF มากกว่าสายพันธุ์ Blue ซึ่งสอดคล้องกับ Edwards and Arancon (2022) ที่กล่าวว่า ความชื้นในวัสดุเลี้ยงที่เหมาะสมสำหรับ African Nightcrawler (AF) อยู่ที่ร้อยละ 70–85 ส่วนสายพันธุ์ Blue Worm (Blue) อยู่ที่ร้อยละ 75–90 นอกจากนี้ ไส้เดือน Blue Worm (Blue) ยังมีความไวการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ มากกว่า African Nightcrawler (AF) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างรวดเร็วทำให้การเจริญเติบโตและการสืบพันธุ์ชะลอลง แต่ความไวต่อสิ่งแวดลอมของ Blue Worm ก็เป็นข้อดีในการใช้เป็นตัวชี้วัดคุณภาพของระบบเลี้ยง เช่น หากไส้เดือนมีพฤติกรรมผิดปกติ อาจบ่งชี้ว่าระบบมีปัญหาได้

สรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบควบคุมสภาพแวดล้อมด้วยเทคโนโลยี IoT ในการเลี้ยงไส้เดือนสายพันธุ์ African Nightcrawler (AF) และ Blue Worm (Blue) โดยเปรียบเทียบกับวิธีการเลี้ยงแบบปกติ การทดลองดำเนินการระหว่างวันที่ 15 กุมภาพันธ์ ถึง 1 มีนาคม 2568 ซึ่งตรงกับช่วงปลายฤดูหนาวเข้าสู่ต้นฤดูร้อนของภาคเหนือของประเทศไทย โดยช่วงเวลาดังกล่าวมีความแปรปรวนของอุณหภูมิและความชื้นในอากาศ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อเจริญเติบโตของไส้เดือนและจุลินทรีย์ในวัสดุรองเลี้ยง การระบุช่วงฤดูกาลนี้ช่วยให้สามารถตีความผลลัพธ์ได้อย่างถูกต้องตามบริบทของสภาพแวดล้อม

การทดลองดำเนินการในรอบการผลิตเดียว (Single Production Cycle) โดยแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มทดลอง ได้แก่ AF-A, AF-B, Blue-A และ Blue-B แต่ละกลุ่มประกอบด้วย 8 หน่วยทดลอง รวมทั้งหมด 32 หน่วยทดลอง การเก็บผลผลิตดำเนินการทุก 14 วัน โดยใช้แรงงานมนุษย์เก็บเฉพาะมูลไส้เดือนด้านบนของวัสดุรองเลี้ยง ซึ่งความลึกในการเก็บอาจแตกต่างกันตามปริมาณของมูลในแต่ละกะละมัง ค่าที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์เป็นค่าเฉลี่ยจาก 8 หน่วยทดลองในแต่ละกลุ่ม เพื่อสะท้อนแนวโน้มของผลลัพธ์ภายใต้เงื่อนไขการทดลองที่กำหนด

ระบบ IoT ที่ใช้ในการทดลองมีการตั้งค่าเกณฑ์การให้น้ำอัตโนมัติโดยอิงจากค่าความชื้นของวัสดุรองเลี้ยง ซึ่งกำหนดค่าความชื้นขั้นต่ำที่ร้อยละ 40 และสูงสุดที่ร้อยละ 75 โดยระบบจะตรวจสอบค่าความชื้นจากเซ็นเซอร์สองตัว (S1 และ S2) และคำนวณค่าเฉลี่ยเพื่อใช้ในการตัดสินใจเปิดหรือปิดปั้มน้ำผ่านรีเลย์ควบคุม หากค่าความชื้นต่ำกว่าค่าที่กำหนด ระบบจะสั่งให้น้ำโดยอัตโนมัติ และมีการตรวจสอบความแม่นยำของเซ็นเซอร์โดยเปรียบเทียบกับเครื่องมือมาตรฐานในห้องปฏิบัติการ พร้อมทั้งมีการสอบเทียบ (Calibration) ก่อนทำการทดลอง เพื่อสร้างความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ได้จากระบบ

ในด้านของจุลินทรีย์ พบว่ากลุ่มที่เลี้ยงด้วยระบบ IoT มีจำนวนโคโลนีจุลินทรีย์ (CFU/mL) สูงกว่ากลุ่มควบคุม แต่กลับมีจำนวนชนิดของโคโลนีที่แตกต่างกันน้อยกว่า ซึ่งอาจเกิดจากสภาพแวดล้อมที่เสถียรและเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์บางกลุ่มที่มีความจำเพาะสูง ส่งผลให้เกิดการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์เด่นในระบบควบคุม ขณะที่การเลี้ยงแบบปกติที่มีความผันแปรของสภาพแวดล้อมมากกว่า อาจเปิดโอกาสให้จุลินทรีย์หลากหลายชนิดเจริญเติบโตตามสภาวะที่เปลี่ยนแปลงไป

จากการศึกษานี้สามารถสรุปได้ว่าในกระบวนการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุเพื่อผลิตมูลไส้เดือน ความหลากหลายของจุลินทรีย์จะเปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาการหมัก โดยในช่วงต้นของกระบวนการจะพบจุลินทรีย์เด่นในปริมาณมากแต่มีความหลากหลายน้อย และเมื่อเข้าสู่ระยะบ่มของมูลไส้เดือน ความหลากหลายของจุลินทรีย์จะเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลต่อคุณสมบัติของปุ๋ยในด้านการย่อยสลาย การกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช และการยับยั้งเชื้อก่อโรคในระยะยาว ดังนั้น ก่อนนำมูลไส้เดือนมาใช้กับพืช ควรปล่อยให้เกิดการบ่มของปุ๋ยอย่างเหมาะสม เพื่อปรับสมดุลของประชากรจุลินทรีย์ทั้งในด้านชนิดและปริมาณ ไม่ควรนำมาใช้งานทันทีหลังจากการเก็บเกี่ยว

ข้อเสนอแนะ

การวิจัยในครั้งต่อไป 1) ควรทดสอบในสภาพแวดล้อมอากาศที่แตกต่างกัน และมีการศึกษาการควบคุมตัวแปรเพิ่มเติม เช่น ปริมาณอาหารที่ให้ไส้เดือน หรือข้อมูลเกี่ยวกับคุณภาพของมูลวัวที่ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเลี้ยงไส้เดือนให้ดียิ่งขึ้น 2) ควรพัฒนาระบบ Dashboard โดยเฉพาะ เพื่อการแสดงผลข้อมูลและการควบคุมที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น เช่น การใช้แพลตฟอร์มสำเร็จรูปอย่าง Blynk, ThingsBoard หรือการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันของตนเอง เพื่อแสดงผลข้อมูลย้อนหลังในรูปแบบกราฟ ซึ่งมีประโยชน์อย่างยิ่งต่อการวิเคราะห์และวางแผนการผลิต และควรเพิ่มฟังก์ชันการแจ้งเตือนเหตุ การณ์ผิดปกติไปยังเกษตรกรโดยตรง เช่น ผ่าน อีเมล หรือ Push Notification บนมือถือ ในกรณีที่ปั้มน้ำไม่ทำงาน, ค่าความชื้นต่ำหรือสูงเกินเกณฑ์วิกฤต หรือเซ็นเซอร์ขาดการเชื่อมต่อ ซึ่งจะช่วยลดความเสี่ยงและความเสียหายได้ดีกว่าการแสดงผลบนจอ LCD หรือ Serial Monitor เพียงอย่างเดียว 3) ศึกษาผลกระทบของระบบ IoT ต่อสายพันธุ์ไส้เดือนอื่น ๆ เพื่อขยายขอบเขตการประยุกต์ใช้ให้ครอบคลุมมากขึ้น และ 4) ควรนำผลการทดลองนี้ไปใช้ในฟาร์มไส้เดือนขนาดใหญ่ เพื่อเพิ่มผลผลิตลดต้นทุนแรงงาน และปรับปรุงการบริหารจัดการ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาที่ให้การสนับสนุนงบประมาณการวิจัยในโครงการวิจัยทุนงบประมาณเพื่อสนับสนุนงานมูลฐาน (Fundamental Fund; FF) ประจำปีงบประมาณ 2567 นอกจากนี้ขอขอบคุณศูนย์การเรียนรู้แบบบูรณาการศาสตร์ผสมผสาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลและสถานที่ในการดำเนินงานวิจัยจนทำให้การศึกษาค้นคว้าสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- จิรศักดิ์ พุ่มเจริญ และลักษณะนันท พลอยวัฒนวงศ์. (2565). เทคโนโลยีไอโอทีสำหรับการควบคุมสภาพแวดล้อมการเพาะเลี้ยงไส้เดือนดิน. วารสารวิจัย มข. (ฉบับบัณฑิตศึกษา), 22(1), 145-155.
- ธิดาศักดิ์ โพธิ์ทอง, ประสิทธิ์ เมฆอรุณ, และ สิทธิชัย ชูสำโรง. (2562). การพัฒนาระบบฟาร์มอัจฉริยะสำหรับเกษตรกรยุคใหม่ด้วยซอฟต์แวร์รหัสเปิดและอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง. วารสารเกษตรนเรศวร, 16(2), 79-88.
- นันทวุฒิ จำปางาม. (2560). การใช้เทคโนโลยีปุ๋ยหมักไส้เดือนดินเพื่อการเกษตรที่ยั่งยืน. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 11(2), 70-81.
- เปรมสุตา สมาน. (2568). การคัดเลือก Bacillus sp. ที่เป็นแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช. วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 5(2), 37-48.
- พงษ์สุตา ชาญวิชัยพนธ์. (2562). การเพาะเลี้ยงไส้เดือนดินสายพันธุ์ AF เพื่อผลิตปุ๋ยชีวภาพสำหรับผักกวางตุ้งดอก (*Brassica rapa* var. *parachinensis*).
ค้นจาก <http://202.28.34.124/dspace/bitstream/123456789/665/1/59010852002.pdf>
- พัชร ทองสืบสาย. (2553). การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยกระดาษของไส้เดือน 3 ชนิด.
ค้นจาก https://digital.library.tu.ac.th/tu_dc/digital/api/DownloadDigitalFile/download/194092
- ภัทณารวรรณ์ ฉันทรัตนโยธิน, พันธุ์พล สันธูยา, เบญจมาศ สันต์สวัสดิ์, และ ทิตา สุนทรวิภาต. (2563). ผลของปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับจุลินทรีย์ *Bacillus megaterium* ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวขาวดอกมะลิ 105. วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์, 15(2), 81-96.

- รชต เรืองกาญจน์, นิดา แสงทอง, และ ชลธิศา รัตนชู. (2564). ความคุ้มค่าของแพลตฟอร์มในการเจริญเติบโตของพืชผักสวนครัวผ่านแพลตฟอร์ม IoT. วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏเลย, 13(3), 294–307.
- วรรณวิภา ไชยชาญ, เอนก สวาทอินทร์, เตือนใจ ปิยะ, และ วีระศักดิ์ ไชยชาญ. (2561). การศึกษาประสิทธิภาพของแท่งเพาะชำจากวัสดุเหลือใช้อินทรีย์ที่มีการผสมมูลไส้เดือน.
- ค้นจาก <https://www.repository.rmutsv.ac.th/bitstream/handle/123456789/2354/FullText.pdf>
- ศูนย์การเรียนรู้แบบบูรณาการศาสตร์ผสมผสาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง. (2565). ขั้นตอนการเลี้ยงไส้เดือนดิน [โปสเตอร์]. ค้นจาก <https://online.pubhtml5.com/magpc/iedm/>
- ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม. (2562). การประยุกต์ใช้ไส้เดือนดินในการบำบัดสารอันตรายตกค้างในวัสดุปรับปรุงดินจากขยะชุมชน: รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์. ค้นจาก <https://datacenter.dcce.go.th/service-portal/environmental-media-system/electronics-detail/?id=101439>
- อานัฐ ตันโช. (2549). ไส้เดือนดิน (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.
- อานัฐ ตันโช. (2557). สายพันธุ์ไส้เดือนดินที่นำเลี้ยง. วารสารดินและปุ๋ย, 36(1-4), 6-12.
- Aguilar-Paredes, A., Valdés, G., Araneda, N., Valdebenito, E., Hansen, F., and Nuti, M. (2023). Microbial community in the composting process and its positive impact on the soil biota in sustainable agriculture. *Agronomy*, 13(2), 542. doi: 10.3390/agronomy13020542
- Akhila, A., and Entoori, K. (2022). Role of earthworms in soil fertility and its impact on agriculture: A review. *International Journal of Fauna and Biological Studies*, 9(3), 55–63. doi: 10.22271/23940522.2022.v9.i3a.907
- Edwards, C. A., and Arancon, N. Q. (2022). *Biology and ecology of earthworms* (4thed). New York, NY: Springer.
- Gavilanes, J. D., Pulla, D. A., Tierra-Llana, A., Reyes, F., and Isa-Jara, R. (2024). An IoT system for monitoring and controlling microclimates using fuzzy logic applied to a vermicompost culture. In **2024 IEEE Eighth Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM)** (pp.1–6). doi:10.1109/ETCM63562.2024.10746061
- Nonthakaew, N., Panbangred, W., Songnuan, W., and Intra, B. (2022). Plant growth-promoting properties of *Streptomyces* spp. isolates and their impact on mung bean plantlets' rhizosphere microbiome. *Frontiers in Microbiology*, 13. doi: 10.3389/fmicb.2022.967415
- Sharma, N., Mahawar, L., Mishra, A., and Albrechtsen, B. R. (2025). Microbial contributions to plant growth and stress tolerance: Mechanisms for sustainable plant production. *Plant Stress*, 17, 100966. doi:10.1016/j.stress.2025.100966

การวิเคราะห์เชิงทำนายพฤติกรรมการซื้อขายของลูกค้าโดยใช้อัลกอริทึม การเรียนรู้ของเครื่อง: กรณีศึกษาร้านซูปิดแฮนด์เมดจิวเอลรี Predictive Analytics of Consumer Buying Behavior using Machine Learning Algorithms: A Case Study of Sue's Beads Handmade Jewelry Shop

จิตติมารัตม์ บัคเลย์ และ นิติเศษฐ หมวดทองอ่อน*

Chittimarat Buckley and Nithizethe Mhuadthongon

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี แขนงวิชาเทคโนโลยีดิจิทัล

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช จังหวัดนนทบุรี 11120

Program of Digital Technology, School of Science and Technology,

Sukhothai Thammathirat Open University, Nonthaburi Province, 11120

*Corresponding author E-mail: Nithizethe.Mhu@stou.ac.th

Received 24 August 2025, Accepted 18 February 2026, Published 15 June 2026

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาแบบจำลองการวิเคราะห์เชิงทำนายพฤติกรรมการซื้อขายของลูกค้า 2) ประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองที่พัฒนา และ 3) ประยุกต์ใช้แบบจำลองที่พัฒนาในการวิเคราะห์พฤติกรรมการซื้อขายของลูกค้า กรณีศึกษาร้านซูปิดแฮนด์เมดจิวเอลรี ผู้วิจัยได้พัฒนาแบบจำลองโดยใช้ 3 อัลกอริทึม ได้แก่ ต้นไม้ตัดสินใจ เกรเดียนต์บูสต์ทรี และการถดถอยโลจิสติก ร่วมกับการวิเคราะห์อาร์เอฟเอ็ม ซึ่งใช้ข้อมูลลูกค้าจำนวน 500 ราย ระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ. 2566 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2567 แบ่งตามลำดับเวลา (Time-Based Split) โดยใช้ข้อมูลในช่วงเวลาร้อยละ 80 สำหรับการฝึกแบบจำลอง และอีกร้อยละ 20 สำหรับการทดสอบ เพื่อป้องกันการรั่วไหลของข้อมูล และสะท้อนการใช้งานจริงในอนาคต ผลการวิจัยพบว่าแบบจำลองการถดถอยโลจิสติกให้ค่าความแม่นยำสูงสุดร้อยละ 100 ในทุกตัวชี้วัด ขณะที่แบบจำลองต้นไม้ตัดสินใจและแบบจำลองเกรเดียนต์บูสต์ทรี แม้มีวิธีการประมวลผลที่แตกต่างกันแต่ให้ค่าความแม่นยำเท่ากันที่ ร้อยละ 95.40 ผลการวิเคราะห์ ยังระบุว่าคะแนนอาร์เอฟเอ็มเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญมากที่สุดในการทำนายพฤติกรรมการซื้อ โดยมีค่าน้ำหนักเฉลี่ยร้อยละ 19 ขณะเดียวกัน ผลการแบ่งกลุ่มลูกค้าชี้ให้เห็นว่า มีลูกค้า 458 ราย (ร้อยละ 91.60) มีแนวโน้มกลับมาซื้อซ้ำ และมีลูกค้า 42 ราย (ร้อยละ 8.40) ที่มีแนวโน้มไม่กลับมาซื้อซ้ำ ส่วนค่า ROC-AUC เฉลี่ยอยู่ในระดับสูงกว่า 0.95 ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาลักษณะข้อมูลที่ไม่สมดุล (ลูกค้าซื้อซ้ำร้อยละ 91.60) ได้มีการประเมินเพิ่มเติมด้วยค่า Precision-Recall AUC (PR-AUC) และ Recall ซึ่งพบว่าตัวแปร RFM มีอิทธิพลสูงที่สุดในการพยากรณ์พฤติกรรมการซื้อของลูกค้า ผลลัพธ์ดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่าการบูรณาการ การวิเคราะห์อาร์เอฟเอ็มเข้ากับอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องสามารถใช้เป็นแนวทางเชิงกลยุทธ์ที่มีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์และจัดการพฤติกรรมลูกค้า โดยเฉพาะในธุรกิจขนาดเล็กด้านหัตถกรรม ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อสนับสนุนการวางแผนกลยุทธ์ทางการตลาดและการรักษาลูกค้าได้อย่างเป็นระบบ

คำสำคัญ: การเรียนรู้ของเครื่อง การวิเคราะห์แบบ RFM การวิเคราะห์เชิงทำนาย พฤติกรรมการซื้อ เครื่องประดับแฮนด์เมด

ABSTRACT

This study aims to 1) develop predictive models for customer purchasing behavior, 2) evaluate the performance of the developed models, and 3) apply the most effective model to a real business case of Sue's Beads Handmade Jewelry. Three algorithms were employed, namely Decision Tree (DT), Gradient Boosted Tree (GBT), and Logistic Regression (LR), in combination with RFM (Recency, Frequency, Monetary) analysis. The dataset consisted of purchase records of 500 customers collected between January 2023 and December 2024. Data were split chronologically using a time-based hold-out method, with 80% used for training and 20% for testing, to prevent data leakage and reflect real-world predictive conditions. The results show that Logistic Regression achieved the highest performance with 100% accuracy across all evaluation metrics, whereas Decision Tree and Gradient Boosted Tree achieved equal accuracy of 95.40%. The RFM score was identified as the most influential predictor of customer purchasing behavior, with an average importance weight of 19%. Customer segmentation revealed that 458 customers (91.60%) were likely to make repeat purchases, whereas 42 customers (8.40%) were unlikely to return to the store. The average ROC-AUC value exceeded 0.95. Considering the imbalanced nature of the dataset (91.6% repeat customers), additional evaluation metrics, namely Precision-Recall AUC (PR-AUC) and Recall, were applied to provide a more balanced and fair assessment of model performance. These findings indicate that integrating RFM analysis with machine learning algorithms provides a reliable and practical tool for analyzing and managing customer behavior. For small businesses, particularly in the handicraft sector, such predictive models can be applied to support marketing strategy development and customer retention.

Keywords: Machine Learning, RFM Analysis, Predictive Analytics, Purchasing Behavior, Handmade Jewelry

บทนำ

ในยุคของเศรษฐกิจดิจิทัลปัจจุบันที่การแข่งขันทางธุรกิจมีความเข้มข้นและเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วนั้น การเข้าใจและคาดการณ์พฤติกรรมของลูกค้าได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ ถือเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความสำเร็จและความอยู่รอดขององค์กรในทุกระดับชั้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ธุรกิจขนาดกลางและขนาดเล็ก (SMEs) ที่ต้องเผชิญกับข้อจำกัดทางด้านทรัพยากรและการพึ่งพาลูกค้าเดิมเป็นสำคัญ จากการวิจัยในอดีตชี้ให้เห็นว่า ประเด็นในเรื่องของต้นทุนในการหาลูกค้าใหม่มีมูลค่าสูงกว่าการรักษาฐานลูกค้าเดิมถึง 5 เท่า ดังนั้นกลยุทธ์ทางการรักษาความสัมพันธ์กับลูกค้าเพื่อลดปริมาณต้นทุนที่ไม่จำเป็นจึงกลายเป็นประเด็นสำคัญที่ต้องได้รับการพิจารณากันอย่างจริงจังกับแวดวงธุรกิจในปัจจุบัน

การพัฒนาแบบก้าวกระโดดของเทคโนโลยีสารสนเทศและอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาถือเป็นการเปิดโอกาสให้กับภาคธุรกิจต่าง ๆ สามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์และคาดการณ์พฤติกรรมของผู้บริโภคได้อย่างมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น ซึ่งการนำเทคโนโลยีดังกล่าวเข้ามาประยุกต์ใช้งาน นอกจากจะช่วยลดความเสี่ยงจากการสูญเสียลูกค้าและลดต้นทุนที่ไม่จำเป็นแล้ว ยังช่วยส่งเสริมให้เกิดการวางแผนกลยุทธ์ใหม่ที่เหมาะสมและการบริหารความสัมพันธ์กับลูกค้าได้อย่างมีศักยภาพ (Munde and Kaur, 2024) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ธุรกิจที่มีลักษณะเฉพาะตัวสูง เช่น อุตสาหกรรมเครื่องประดับแฮนด์เมด ที่มีทั้งคุณค่าทางศิลปะความเป็นเอกลักษณ์ และความสัมพันธ์ที่ใกล้ชิดกับลูกค้า ซึ่งตลาดเครื่องประดับแฮนด์เมดในปัจจุบันมีมูลค่าสูงถึง 90,000 ล้านบาท และมีอัตราการเติบโตเฉลี่ยต่อปีอยู่ที่ประมาณร้อยละ 12 ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่า ธุรกิจมีศักยภาพของการเติบโตได้ดีในระยะยาว อย่างไรก็ตาม ธุรกิจกลุ่มนี้ยังคงเผชิญหน้ากับ

ความท้าทายที่หลากหลาย ทั้งจากทางด้านการแข่งขันในตลาดโลกออนไลน์และการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วของพฤติกรรมผู้บริโภค (Brüggenmann et al., 2025)

หนึ่งในเทคนิคสำคัญของการวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมของลูกค้าคือ RFM Analysis (Recency, Frequency, Monetary) ซึ่งแบ่งกลุ่มลูกค้าตามความล่าสุดของการซื้อ ความถี่ และมูลค่าการใช้จ่าย โดยเทคนิคดังกล่าวเมื่อนำมาประยุกต์ใช้งานร่วมกับอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องแบบต่าง ๆ จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการคาดการณ์พฤติกรรมลูกค้าได้อย่างมีนัยสำคัญ เช่น ต้นไม้ตัดสินใจ เกรเดียนต์บูสต์ทรี และการถดถอยโลจิสติก จากการวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การประยุกต์ใช้งานร่วมกันระหว่าง 2 เทคนิค ส่วนใหญ่แล้วจะถูกนำมาประยุกต์ใช้งานในบริบทขององค์กรขนาดใหญ่ที่มีข้อมูลจำนวนมาก (Chen et al., 2012; Hossain et al., 2023) เป็นสำคัญ ในขณะที่ธุรกิจขนาดกลางและขนาดเล็กโดยเฉพาะอย่างยิ่ง อุตสาหกรรมเครื่องประดับแฮนด์เมด ซึ่งยังมีข้อจำกัดทางด้านจำนวนข้อมูลและทรัพยากร ยังขาดแนวทางของการนำเทคนิคดังกล่าวมาประยุกต์ใช้งานให้เหมาะสมกับลักษณะข้อมูลและบริบทของธุรกิจ ทั้งในแง่ของการเตรียมข้อมูล การเลือกอัลกอริทึมที่สอดคล้องกับขนาดและคุณภาพของข้อมูล ตลอดจนการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับธุรกิจที่มีฐานลูกค้าจำกัด (Chuang et al., 2017) ซึ่งงานวิจัยก่อนหน้านี้จะประยุกต์ใช้การวิเคราะห์อาร์เอฟเอ็มร่วมกับอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องเพื่อพยากรณ์พฤติกรรมผู้บริโภคในภาคค้าปลีกและอีคอมเมิร์ซ (Hossain et al. (2023); Baisani et al. (2021) แต่ยังคงขาดการศึกษาในบริบทของธุรกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (SME) โดยเฉพาะธุรกิจหัตถกรรมแฮนด์เมด ซึ่งมีข้อจำกัดด้านปริมาณข้อมูล ความไม่สม่ำเสมอของพฤติกรรมผู้บริโภค และทรัพยากรที่จำกัด อีกทั้งงานที่ผ่านมาไม่ค่อยให้ความสำคัญกับปัญหาทางเทคนิคที่ส่งผลต่อความแม่นยำของแบบจำลอง เช่น การรั่วไหลของข้อมูล (Kapoor and Narayanan 2023) การประเมินแบบตามเวลา (Cerqueira et al., 2020) และการจัดการข้อมูลไม่สมดุล (He and Garcia 2009) ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งพัฒนาและประเมินแบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่องร่วมกับการวิเคราะห์อาร์เอฟเอ็ม เพื่อพยากรณ์พฤติกรรมผู้บริโภคซ้ำในธุรกิจหัตถกรรมแฮนด์เมด อันเป็นกรณีศึกษาของ SME เพื่อแสดงศักยภาพของการวิเคราะห์เชิงพยากรณ์ในการสนับสนุนการตัดสินใจเชิงกลยุทธ์ของธุรกิจขนาดเล็ก จากประเด็นปัญหาดังกล่าวข้างต้น การวิจัยนี้มีจึงมีวัตถุประสงค์สำคัญเพื่อวิเคราะห์และพัฒนาแบบจำลองสำหรับการทำนายพฤติกรรมผู้บริโภคซ้ำของลูกค้าในธุรกิจเครื่องประดับแฮนด์เมด โดยจะเป็นการใช้ข้อมูลประวัติการซื้อของลูกค้าจำนวน 500 ราย จากร้านชูปิดแฮนด์เมดจิ๋วเอเลรี ซึ่งเป็นธุรกิจขนาดกลางในประเทศไทย ที่มีการเก็บข้อมูลตั้งแต่ในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2566 จนถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2567 ผ่านการสุ่มตัวอย่างแบบเฉพาะเจาะจงจากฐานลูกค้าทั้งหมด 2,000 ราย กระบวนการวิจัยจะเป็นการใช้เทคนิคการวิเคราะห์ RFM ร่วมกับอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่อง 3 เทคนิค ได้แก่ ต้นไม้ตัดสินใจ เกรเดียนต์บูสต์ทรี และการถดถอยโลจิสติก ซึ่งแต่ละอัลกอริทึมที่นำมาใช้ในการวิจัยจะมีความสำคัญกับในด้านของการประมวลผลข้อมูลและความเหมาะสมกับลักษณะของข้อมูลที่แตกต่างกัน โดยอัลกอริทึมเหล่านี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานร่วมกับการแก้ไขปัญหาทางด้านการจำแนกประเภทได้อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจะช่วยให้สามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพและเลือกแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดกับสถานการณ์จริงได้ ดังนั้นการวิจัยนี้จึงไม่ใช่เพียงแค่ออกแบบเพียงทฤษฎีทางด้านการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงทำนายเท่านั้นแต่ยังเป็นแนวปฏิบัติสำคัญที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริง ในบริบทของธุรกิจขนาดกลางและขนาดเล็กที่ต้องอาศัยเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจและการวางแผนกลยุทธ์ใหม่ เพื่อนำไปสู่การบริหารความสัมพันธ์กับลูกค้าและการพัฒนาธุรกิจได้อย่างยั่งยืนในบริบทของเศรษฐกิจดิจิทัลปัจจุบัน

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้ดำเนินการพัฒนาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองสำหรับการทำนายพฤติกรรมผู้บริโภคซ้ำของลูกค้า โดยบูรณาการร่วมกันระหว่างเทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูล RFM และอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่อง Baisani et al. (2021) ที่ใช้ข้อมูลจากกรณีศึกษาร้านชูปิดแฮนด์เมดจิ๋วเอเลรี วิธีดำเนินการวิจัยประกอบด้วย การกำหนดประชากรและกลุ่มตัวอย่าง การเก็บรวบรวมและเตรียมข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล ตลอดจนการสร้างและประเมินผลแบบจำลอง ตามลำดับ

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยนี้ คือ ลูกค้าของร้านซูบีตแฮนด์เมดจิวเวลรี่ (Sue's Beads Handmade Jewelry) ที่มีประวัติการซื้อสินค้า ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2566 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2567 เป็นจำนวนทั้งสิ้น 2,000 ราย สำหรับการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างจะเป็นการใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive Sampling) เพื่อเลือกเฉพาะลูกค้าที่มีข้อมูลการซื้อครบถ้วนและมีความต่อเนื่องตามเกณฑ์ที่การวิจัยกำหนด จากผลการคัดเลือกได้กลุ่มตัวอย่างทั้งสิ้นเป็นจำนวน 500 ราย สำหรับการคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคลนั้นจะเป็นการแทนชื่อและข้อมูลเฉพาะบุคคลของลูกค้า ด้วยรหัสประจำตัวลูกค้า (Customer ID) ที่ไม่สามารถระบุตัวตนที่แท้จริงได้ สำหรับตัวแปรที่ใช้ในการวิจัยจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มหลัก ได้แก่ ตัวแปรด้านประชากรศาสตร์ (เพศ อายุ และอาชีพ) และตัวแปรด้านพฤติกรรมการซื้อ (จำนวนวันระหว่างการซื้อ จำนวนครั้งในการซื้อมูลค่าการซื้อรวม ประเภทสินค้าที่ชื่นชอบและคะแนนสะสม) ซึ่งโครงสร้างและการเตรียมข้อมูลสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

ตัวแปร	ประเภท	คำอธิบาย
Sex	เชิงกลุ่ม	เพศ
Age	จำนวนจริง	อายุ
Occupation	เชิงกลุ่ม	อาชีพ
Days	จำนวนจริง	จำนวนวันนับตั้งแต่จากที่ซื้อครั้งแรกถึงครั้งสุดท้าย
Total Purchases	จำนวนจริง	จำนวนครั้งการซื้อทั้งหมด
Total Spent	จำนวนจริง	มูลค่าการซื้อทั้งหมด (บาท)
Favourite Category	เชิงกลุ่ม	ประเภทของสินค้า
Royal Point	จำนวนจริง	คะแนนสะสม

2. เครื่องมือในการวิจัย

การดำเนินการวิจัยนี้ เครื่องมือที่ใช้จะถูกเลือกและจัดลำดับตามกระบวนการวิจัยอย่างเป็นระบบ เริ่มต้นจากขั้นตอนของการจัดการและเตรียมข้อมูล จะเป็นการใช้โปรแกรม Microsoft Excel สำหรับรวบรวม จัดหมวดหมู่ และปรับปรุงข้อมูลดิบให้มีความถูกต้องและครบถ้วนสมบูรณ์ รวมถึงแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบไฟล์ CSV (Comma-Separated Values) เพื่อรองรับกับการประมวลผลในขั้นตอนต่อไป (Ashokan, 2023) สำหรับขั้นตอนของการวิเคราะห์ข้อมูลและพัฒนาแบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่องนั้น จะเป็นการใช้ซอฟต์แวร์ RapidMiner Studio Altair RapidMiner เวอร์ชัน 2024.1.0 เอกสิทธิ์ (2566) ซึ่งเป็นเครื่องมือหลักในการสร้างแบบจำลอง วิเคราะห์ประสิทธิภาพ และเปรียบเทียบผลลัพธ์ของแบบจำลองสำหรับฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการประมวลผลในการวิจัยนี้ จะเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่สามารถจัดการข้อมูลขนาดใหญ่และรองรับการพัฒนาแบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่องในลักษณะการวิจัยเชิงประยุกต์ได้ โดยมีหน่วยประมวลผลกลาง Intel Core i7-10700H ความเร็ว 2.6 GHz (8 Cores, 16 Threads) หน่วยความจำ 16 GB DDR4 และหน่วยเก็บข้อมูล SSD ขนาด 512 GB ทำงานบนระบบ Windows 11 Pro 64-bit ซึ่งมีประสิทธิภาพเพียงพอสำหรับการประมวลผลข้อมูลลูกค้าจำนวน 500 รายและการพัฒนาแบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่องตามมาตรฐานที่กำหนด (Altair Engineering Inc., 2024) รวมถึงการใช้งานซอฟต์แวร์ RapidMiner Studio ในการวิเคราะห์ข้อมูลลูกค้าสำหรับธุรกิจขนาดเล็กจำเป็นต้องใช้ทรัพยากรด้านฮาร์ดแวร์ที่เพียงพอ โดยเฉพาะหน่วยความจำไม่น้อยกว่า 8 GB และหน่วยประมวลผลแบบหลายคอร์ เพื่อสนับสนุนการประมวลผลอย่างมีประสิทธิภาพ (Alghamdi et al., 2024)

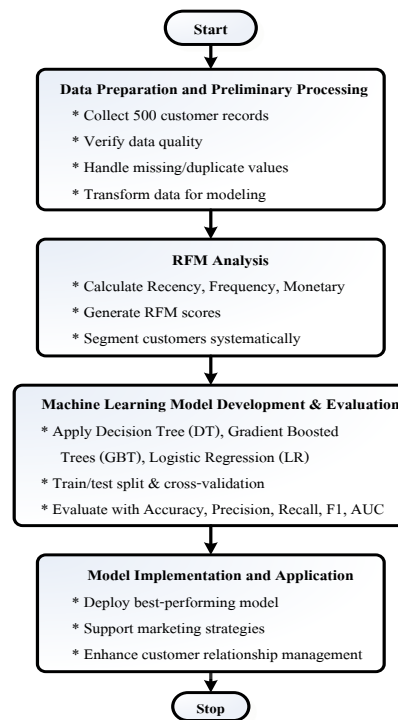
3. กระบวนการดำเนินการวิจัย แบ่งออกได้เป็น 4 ขั้นตอนสำคัญ คือ

(1) การเตรียมข้อมูลและการประมวลผลเบื้องต้น เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้อง ครบถ้วน และพร้อมสำหรับการวิเคราะห์โดยมุ่งเน้นการตรวจสอบคุณภาพของข้อมูล การแก้ไขปัญหาข้อมูลสูญหายและข้อมูลซ้ำซ้อน ตลอดจนการปรับให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการสร้างแบบจำลอง

(2) การวิเคราะห์ข้อมูลอาร์เอฟเอ็ม เพื่อสร้างตัวแปรนำเข้าที่สะท้อนพฤติกรรมการณ์ซื้อของลูกค้าในมิติที่สำคัญทั้งในด้านของความถี่ ความล่าสุด และมูลค่าการซื้อ เพื่อรองรับกับการจำแนกกลุ่มลูกค้าได้อย่างเป็นระบบ

(3) การพัฒนาและประเมินแบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่อง เพื่อทำนายพฤติกรรมการณ์ซื้อซ้ำของลูกค้าด้วยอัลกอริทึมที่เหมาะสม พร้อมประเมินประสิทธิภาพของแต่ละแบบจำลองโดยใช้ตัวชี้วัดมาตรฐาน เพื่อให้ได้แบบจำลองที่แม่นยำและสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริง

(4) การนำผลลัพธ์ไปประยุกต์ใช้งาน เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจเชิงกลยุทธ์การพัฒนาแผนการตลาด และการบริหารความสัมพันธ์กับลูกค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพในบริบทของธุรกิจขนาดกลางและขนาดเล็ก สำหรับภาพรวมของกระบวนการดำเนินการวิจัยทั้ง 4 ขั้นตอน สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กระบวนการดำเนินการวิจัย

3.1 การเตรียมข้อมูลและการประมวลผลเบื้องต้น (Data Preparation and Preliminary Processing)

ในขั้นตอนแรกของการวิจัย ได้ทำการรวบรวมข้อมูลประวัติการณ์ซื้อของลูกค้าจำนวน 500 ราย โดยข้อมูลประกอบด้วยตัวแปรด้านประชากรศาสตร์ (รหัสลูกค้า เพศ อายุ อาชีพ) พฤติกรรมการณ์ซื้อ (วันที่ซื้อครั้งแรก วันที่ซื้อครั้งล่าสุด จำนวนวันระหว่างการซื้อ จำนวนครั้งในการซื้อ และยอดใช้จ่ายรวม) รวมถึงข้อมูลด้านความชอบ (หมวดหมู่สินค้าที่สนใจ และคะแนนสะสม) สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2 จากนั้นดำเนินการสำรวจและวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น (Exploratory Data Analysis: EDA) ทั้งเชิงคุณภาพ (เพศ อาชีพ และประเภทสินค้าที่ชื่นชอบ) และเชิงปริมาณ (อายุ จำนวนวันระหว่างการซื้อ ยอดใช้จ่ายรวม และคะแนนสะสม) เพื่อทำความเข้าใจโครงสร้างข้อมูลและตรวจสอบความสมบูรณ์ สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3 ต่อมาทำการทำความสะอาดข้อมูล (Data Cleaning) เพื่อเพิ่มความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของข้อมูล โดยจัดการกับ

ค่าที่หายไป ข้อมูลซ้ำซ้อน ข้อมูลที่ไม่สอดคล้องกัน และค่าผิดปกติของกระบวนการจัดการค่าที่หายไป (Missing Value) พบว่าในคอลัมน์ Date/Time มีการใช้เครื่องหมายคำถาม (?) แทนค่าที่ว่าง โดยเฉพาะในแถวที่ 1 ซึ่งอาจส่งผลให้โครงสร้างของชุดข้อมูลไม่ถูกต้อง และเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยได้ดำเนินการกำหนดให้แถวที่ 1 เป็นส่วนของ Header ของชุดข้อมูล ส่งผลให้ข้อมูลในแถวถัดไปเลื่อนขึ้นมาสอดคล้องตำแหน่งที่ว่างอย่างเหมาะสม ซึ่งช่วยให้รูปแบบของชุดข้อมูลมีความเป็นระเบียบและพร้อมสำหรับการประมวลผลในขั้นตอนต่อไป ผลการดำเนินการดังกล่าวสามารถแสดงได้ในภาพที่ 4 และภาพที่ 5 เอกสิทธิ์ (2566) หลังจากนั้นจึงแปลงข้อมูล (Data Transformation) ด้วยวิธีการ Min-Max Scaling และ Standardization เพื่อปรับค่าตัวแปรให้อยู่ในรูปแบบมาตรฐานที่เหมาะสมสำหรับการสร้างแบบจำลองในขั้นตอนถัดไป สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 6

Select the cells to import.

Sheet: Sue_beads_customer_data.csv Cell range: A:K Select All Define header row: 1

Customer ID	Firstname	Sex	Age	Occupation	First Purchase	Last Purchase	Total Purchase	Total Spent	Favorite Item	Royal points
CUS001	David	Male	37	Artist	May 28, 2023	Aug 1, 2023	16	28064	Earrings	3
CUS002	John	Male	67	Salesperson	Aug 7, 2023	Sep 2, 2023	18	50076	Earrings	3
CUS003	Lisa	Female	58	Salesperson	Mar 11, 2022	Mar 24, 2022	11	33386	Bracelets	3
CUS004	Jane	Female	67	Artist	Jan 2, 2022	Jan 11, 2022	2	4300	Rings	3
CUS005	Lisa	Female	30	Nurse	Feb 6, 2022	Feb 18, 2022	17	24667	Rings	3
CUS006	Lisa	Female	26	Manager	May 29, 2023	Oct 25, 2023	9	27873	Sets	3
CUS007	John	Male	39	Salesperson	Jul 5, 2023	Mar 16, 2024	19	65684	Bracelets	3
CUS008	Emily	Female	64	Teacher	Oct 1, 2022	Nov 3, 2023	2	5162	Rings	3
CUS009	Jane	Female	34	Lawyer	Dec 2, 2023	Aug 7, 2024	5	3430	Sets	3
CUS010	Chris	Male	40	Chef	Oct 26, 2022	May 13, 2023	9	23843	Rings	3
CUS011	Anna	Female	35	Accountant	Feb 1, 2022	Feb 1, 2023	14	56580	Earrings	3
CUS012	Chris	Male	56	Accountant	Feb 27, 2022	Apr 6, 2023	5	18910	Rings	3
CUS013	Mike	Male	26	Accountant	Jul 8, 2023	Dec 25, 2023	20	49200	Necklaces	3
CUS014	Lisa	Female	54	Manager	Sep 12, 2022	Mar 10, 2023	6	21300	Rings	3
CUS015	Lisa	Male	31	Manager	Dec 7, 2022	Jan 18, 2023	10	65408	Sets	3
CUS016	Tom	Male	44	Salesperson	Dec 19, 2022	Feb 17, 2023	8	30800	Rings	3
CUS017	Lisa	Female	64	Accountant	Aug 29, 2022	Feb 26, 2023	10	54900	Rings	3
CUS018	Tom	Female	64	Doctor	Oct 3, 2023	Nov 15, 2023	8	22680	Bracelets	3
CUS019	Scott	Male	50	Doctor	Aug 29, 2022	Feb 26, 2023	9	59300	Earrings	3
CUS020	Jane	Female	43	Nurse	Feb 20, 2022	Nov 15, 2022	8	27500	Rings	3

ภาพที่ 2 การเตรียมชุดข้อมูลในรูปแบบ Excel.CSV

Customer ID	Firstname	Sex	Age	Occupation	First Purchase	Last Purchase	Days	Total Purchase	Total Spent	Favorite Item	Royal points
CUS001	David	Male	37	Artist	May 28, 2023	Aug 1, 2023	65	16	28064	Earrings	3
CUS002	John	Male	67	Salesperson	Aug 7, 2023	Sep 2, 2023	26	18	50076	Earrings	3
CUS003	Lisa	Female	58	Salesperson	Mar 11, 2022	Mar 24, 2022	13	11	33386	Bracelet	2
CUS004	Jane	Female	67	Artist	Jan 2, 2022	Jan 11, 2022	9	2	4300	Rings	1
CUS005	Lisa	Female	30	Nurse	Feb 6, 2022	Feb 18, 2022	12	17	24667	Rings	2
CUS006	Lisa	Female	26	Manager	May 29, 2023	Oct 25, 2023	149	9	27873	Rings	2
CUS007	John	Male	39	Salesperson	Jul 5, 2023	Mar 16, 2024	255	19	65684	Bracelet	3
CUS008	Emily	Female	64	Teacher	Oct 1, 2022	Nov 3, 2023	33	2	5162	Sets	1
CUS009	Jane	Female	34	Lawyer	Dec 2, 2023	Aug 7, 2024	249	5	3430	Sets	1
CUS010	Chris	Male	40	Chef	Oct 26, 2022	May 13, 2023	199	9	23843	Rings	2
CUS011	Anna	Female	35	Accountant	Feb 1, 2022	Feb 1, 2023	365	14	56580	Rings	3
CUS012	Chris	Male	56	Accountant	Feb 27, 2022	Apr 6, 2023	38	5	18910	Rings	2

500 rows-12columns (5 nominal , 5 numerical, 2 Data

ภาพที่ 3 ชุดข้อมูลที่นำเข้าไว้ในระบบโปรแกรม RapidMiner

att1 Category	att2 Category	att3 Category	att4 Category	att5 Category	att6 Date / Time	att7 Date / Time	att8 Category	att9 Category	att10 Category	att11 Category
Customer ID	Firstname	Sex	Age	Occupation	?	?	Total Purchases	Total Spent	Favorite Category	Royal Points
CUS001	David	Male	37	Artist	May 28, 2023	Aug 1, 2023	16	28054	Earrings	3
CUS002	John	Male	67	Salesperson	Aug 7, 2023	Sep 2, 2023	18	50076	Earrings	3
CUS003	Lisa	Female	58	Salesperson	Jan 11, 2022	Dec 3, 2022	11	33836	Sets	3
CUS004	Jane	Female	67	Artist	Jan 2, 2022	Jan 11, 2022	2	4300	Rings	1
CUS005	Lisa	Female	30	Nurse	Feb 6, 2022	Feb 18, 2022	17	24667	Rings	3
CUS006	Lisa	Female	26	Manager	May 29, 2023	Oct 26, 2023	9	27873	Sets	3
CUS007	John	Male	39	Salesperson	Jul 5, 2023	Mar 16, 2024	19	65664	Bracelets	3
CUS008	Emily	Female	64	Teacher	Oct 1, 2022	Nov 3, 2022	2	5162	Rings	2
CUS009	Jane	Female	34	Lawyer	Dec 2, 2023	Aug 7, 2024	5	3430	Sets	1
CUS010	Chris	Male	40	Chef	Oct 26, 2022	May 13, 2023	9	23643	Rings	3

ภาพที่ 4 การตรวจสอบและแก้ไขข้อมูล

Customer ID	Firstname	Sex	Age	Occupation	First Purchase	Last Purchase	Days	Total Purchase	Total Spent	Favorite Item	Royal points
CUS001	David	Male	37	Artist	28/05/2023	01/08/2023	65	16	28054	Earrings	3
CUS002	John	Male	67	Salesperson	07/08/2023	02/09/2023	26	18	50076	Earrings	3

ภาพที่ 5 ผลลัพธ์การแก้ไขข้อมูลและค่าว่าง

Customer ID	Firstname	Sex	Age	Occupation	First Purchase	Last Purchase	Days	Total Purchase
CUS016	Chris	Female	18	Manager	19, 2022	Mar 22, 2023	93	5
CUS190	Lisa	Female	18	Artist	13, 2023	Mar 13, 2024	21	6
CUS204	David	Female	18	Engineer	-	-	21	9
CUS237	Anna	Female	18	Nurse	5, 2023	Nov 30, 2023	298	12
CUS261	Anna	Female	18	Nurse	13, 2022	May 1, 2023	201	10
CUS306	Emily	Male	18	Accountant	Mar 24, 2022	Jul 22, 2022	120	11
CUS368	David	Female	18	Artist	Jul 18, 2022	Jul 6, 2023	353	15
CUS452	Chris	Female	18	Engineer	Jan 5, 2022	Dec 5, 2022	339	2
CUS023	Lisa	Male	19	Accountant	Oct 3, 2022	Apr 23, 2023	202	6
CUS101	Emily	Male	19	Nurse	Feb 7, 2022	Jul 17, 2022	160	3
CUS152	Sarah	Female	19	Teacher	Jan 27, 2023	Nov 23, 2023	300	14
CUS193	Mike	Female	19	Artist	Oct 20, 2023	Sep 8, 2024	324	3

500 rows • 12 columns (5 nominal, 6 numerical, 2 date)

ภาพที่ 6 การแปลงข้อมูลเชิงคุณภาพให้เป็นตัวเลขจากลำดับน้อยไปมาก

3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลอาร์เอฟเอ็ม (RFM Analysis)

ในการวิจัยครั้งนี้ ได้นำเทคนิค RFM Analysis ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานที่ใช้ในการสังเคราะห์คุณลักษณะเชิงพฤติกรรมของลูกค้าเพื่อสร้างแบบจำลองเชิงทำนาย (Ho et al., 2023; Putra et al., 2023) มาประยุกต์ใช้กับข้อมูลของลูกค้าแต่ละราย โดยใช้เครื่องมือ Pivot Table ในการสกัดและสรุปตัวแปรที่สำคัญสำหรับการวิเคราะห์ ซึ่งประกอบด้วย 3 องค์ประกอบหลัก ได้แก่

3.2.1 Recency (R) คือ จำนวนวันนับจากการซื้อครั้งล่าสุดจนถึงปัจจุบัน

Frequency (F) คือ จำนวนครั้งที่ลูกค้าทำการซื้อสินค้า

Monetary (M) คือ มูลค่าการซื้อรวมทั้งหมดภายในช่วงเวลาที่ศึกษา (Fader and Hardie, 2013)

กระบวนการดังกล่าวช่วยให้สามารถจำแนกและทำความเข้าใจพฤติกรรมการซื้อของลูกค้าได้อย่างเป็นระบบ โดยผลลัพธ์สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 7(ก) และ(ข) ตามลำดับ

Customer ID	Recency	Frequency	AverageTotal Purchase
CUS001	65	16	16
CUS002	26	13	13
CUS003	13	19	19
CUS004	9	9	9
CUS005	285	17	17
CUS006	249	9	9
CUS007	249	5	5
CUS010	35	1,4	1,4

500 rows - 4 columns (1 nominal | 3 numerical)

Customer ID	Recency	Frequency	Monetary
CUS001	65	16	28064
CUS002	26	18	50014
CUS003	13	11	33368
CUS004	9	2	4300
CUS005	12	17	24067
CUS006	149	9	21873
CUS007	255	19	66864
CUS008	18	3	5182
CUS009	249	5	5544
CUS010	190	9	28463
CUS011	132	7	21394
CUS012	380	5	18910

(ก) การสร้างตัวแปร Recency Frequency และ Monetary

(ข) ผลลัพธ์การสร้างตัวแปร RFM

ภาพที่ 7 (ก) การสร้างตัวแปร Recency Frequency และ Monetary
และ (ข) ผลลัพธ์การสร้างตัวแปร RFM จนครบทุกคอลัมน์

ข้อมูลแต่ละองค์ประกอบของ RFM ได้ถูกแปลงค่าให้อยู่ในรูปแบบคะแนนมาตรฐานส่วน 1-5 โดยใช้วิธีการแบ่งแบบช่วง (Discretize) ในรูปแบบ Equal Size เพื่อให้ค่าข้อมูลมีความต่อเนื่องและอยู่ในช่วงมาตรฐานเดียวกันอันจะเอื้อต่อการนำไปประยุกต์ใช้ในการสร้างแบบจำลองเชิงทำนายและการแบ่งกลุ่มลูกค้าอย่างมีประสิทธิภาพ (Ho et al., 2023) ดังนั้นคะแนน RFM ที่ได้จากกระบวนการนี้จึงถูกกำหนดให้เป็นตัวแปรสำคัญในการทำนายพฤติกรรมการซื้อซ้ำของลูกค้าในขั้นตอนถัดไปซึ่งผลลัพธ์สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 8(ก) และ(ข) ตามลำดับ

Customer ID	Recency	Frequency	Monetary
CUS001	66	8	2940
CUS002	20	16	1380
CUS003	8	1	1430
CUS004	8	1	2940
CUS005	149	8	2430
CUS006	26	1	2940
CUS007	29	14	4890
CUS008	249	1	2430
CUS009	29	14	2905
CUS011	30	1	5860
CUS012	308	14	1810

508 rows - 4 columns - 508 numerics / 3 numerics

Sue_beads_customer_data.csv

3 columns selected COMMIT TRANSFORMATION CANCEL

CHANGE TYPE

Change to number

Decimal character:

Grouping character:

APPLY

REMOVE

SAMPLE

(ก) การแบ่งออกเป็น 5 ช่วง ในการแบ่งแบบ Equal Sizes

(ข) ผลลัพธ์การแปลงข้อมูลในรูปแบบสเกลของ RFM

ภาพที่ 8 (ก) การแบ่งออกเป็น 5 ช่วง ในการแบ่งแบบ Equal Sizes
และ (ข) ผลลัพธ์การแปลงข้อมูลในรูปแบบสเกลของ RFM

3.2.2 การคำนวณคะแนนอาร์เอฟเอ็ม (RFM Score) เป็นขั้นตอนสำคัญในการจำแนกกลุ่มลูกค้า โดยอาศัยการประมวลผลจากตัวแปรหลัก 3 ด้าน ได้แก่ ความเร็วในการซื้อซ้ำ (Recency) ความถี่ในการซื้อ (Frequency) และมูลค่าการซื้อ (Monetary) การรวมคะแนนสามารถดำเนินการได้ทั้งในรูปแบบการบวกหรือการคูณ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับข้อกำหนดน้ำหนักความสำคัญตามกลยุทธ์ทางธุรกิจและวัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์ สำหรับการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้วิธีการคำนวณคะแนนอาร์เอฟเอ็มตามแนวทางของ เอกสิทธิ์ (2566) โดยอาศัยสมการดังต่อไปนี้

$$\text{RFM Score} = (R \times 100) + (F \times 10) + M \quad (1)$$

โดยที่ R = คะแนนความเร็วล่าสุดในการซื้อ (1-5)

F = คะแนนความถี่ในการซื้อ (1-5)

M = คะแนนมูลค่าการซื้อ (1-5)

ตัวอย่าง: ลูกค้าที่มีคะแนน R=4, F=3, M=5 คะแนน RFM = $(4 \times 100) + (3 \times 10) + 5 = 400 + 30 + 5 = 435$
ดังนั้นคะแนนดังกล่าวแสดงว่าลูกค้ารายนี้มีการซื้อครั้งล่าสุดในระยะเวลาที่ค่อนข้างใกล้ (R=4) มีความถี่ในการซื้อปานกลาง (F=3) และมีมูลค่าการซื้อสูง (M=5)

3.2.3 การพัฒนาระบบการจัดกลุ่มลูกค้าเชิงกลยุทธ์ จากการศึกษาแนวคิด RFM แบบดั้งเดิมที่แบ่งลูกค้าออกเป็น 11 กลุ่ม การวิจัยครั้งนี้ได้ปรับกรอบการจัดกลุ่มให้เหมาะสมกับบริบทของธุรกิจขนาดเล็ก โดยลดจำนวนกลุ่มลงเหลือเพียง 4 กลุ่มหลัก ดังแสดงในภาพที่ 9(ก) การปรับเปลี่ยนดังกล่าวมีเหตุผลทั้งในเชิงทฤษฎีและเชิงปฏิบัติ ได้แก่ 1) ความยืดหยุ่นของระบบคะแนน RFM ช่วยให้สามารถรวมตำแหน่งต่าง ๆ บนแผนภูมิ RFM (25 ช่อง) เข้าด้วยกันเป็นกลุ่มใหญ่ได้อย่างเหมาะสม 2) การกำหนดกลุ่มตามวัตถุประสงค์ทางธุรกิจทำให้การบริหารจัดการลูกค้าเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น และ 3) การลดจำนวนกลุ่มช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการ ทำให้ทีมการตลาดสามารถวางแผนและดำเนินกลยุทธ์ได้อย่างชัดเจนยิ่งขึ้น (Hosseini et al., 2010) ดังแสดงในภาพที่ 9(ข) จากคะแนน RFM ที่ได้ การวิจัยครั้งนี้ได้จำแนกกลุ่มลูกค้าออกเป็น 4 กลุ่มหลักตามระดับความสัมพันธ์และมูลค่าทางธุรกิจ ได้แก่ กลุ่มลูกค้าที่ต้องกระตุ้น (Activation Customers) มีค่า RFM ในระดับต่ำ กลุ่มลูกค้ามีศักยภาพ (Potential Customers) แสดงแนวโน้มการเติบโตที่ดี กลุ่มลูกค้าที่ต้องรักษา (Maintenance Customers) มีประวัติการซื้ออย่างต่อเนื่อง และกลุ่มลูกค้าชั้นนำ (Premium Customers) มีความสัมพันธ์ที่แข็งแกร่งและสร้างคุณค่าทางธุรกิจสูงสุดการจัดกลุ่มดังกล่าวสามารถแสดงได้ในภาพที่ 9(ค)



Y

(Frequency * Monetary) / 2

can't loose them

loyal customers

champions

at risk

need attention

potential loyalist

hibernating

about to sleep

lost

promising

new customers

Recency

X

5	3. Shouldn't	4. Loyal Customer	4. Champion		
4	1. Sleepers				
3		2. Need Attention	3. Promising		
2	1. Lost				
1			2. Warm Leads		
	1	2	3	4	5

ภาพที่ 9 (ก) การวิเคราะห์กลุ่มลูกค้าด้วยวิธี RFM 4 กลุ่ม (ข) การวิเคราะห์การแบ่งกลุ่ม RFM และ (ค) ตารางการวิเคราะห์การจัดกลุ่มลูกค้า 4 กลุ่ม

100

if([RFM_score] >= 400, "4", if([RFM_score] >= 300, "3", if([RFM_score] >= 200, "2", "1"))) (2)

ซึ่งสมการดังกล่าวถูกนำมาใช้ในการจัดประเภทลูกค้าตามค่า RFM_Score โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการแปลงข้อมูลจะถูกแบ่งออกเป็นกลุ่มตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ทำให้สามารถระบุได้อย่างชัดเจนว่าลูกค้าแต่ละรายอยู่ในกลุ่มใดจากคะแนน RFM_Score ที่สะท้อนพฤติกรรมการซื้อ ระบบการจัดกลุ่มนี้กำหนดให้ลูกค้าที่มีคะแนนตั้งแต่ 400 ขึ้นไปอยู่ในกลุ่มระดับ 4 ซึ่งถือเป็นกลุ่มลูกค้าคุณภาพสูงสุด ลูกค้าที่มีคะแนนระหว่าง 300–399 อยู่ในกลุ่มระดับ 3 ลูกค้าที่มีคะแนนระหว่าง 200–299 อยู่ในกลุ่มระดับ 2 และลูกค้าที่มีคะแนนต่ำกว่า 200 อยู่ในกลุ่มระดับ 1 ตามลำดับ

RFM.score Number	Recency Number	Monetary Number	Frequency Number
142	1	1	4
153	1	1	5
132	3	2	3
111	1	2	5
152	1	4	5
332	3	2	4
454	4	4	1
421	1	1	1
332	4	2	3
111	3	1	4
344	3	4	5

Group Category	RFM_score Number	Recency Number	Monetary Number	Frequency Number	Customer ID Category
1	111	1	1	4	CUS004
1	153	1	2	5	CUS005
2	332	3	2	3	CUS006
4	154	1	4	5	CUS007
4	332	3	2	5	CUS005
5	111	1	1	1	CUS008
1	421	4	2	1	CUS009
5	332	1	2	3	CUS010
1	332	1	2	3	CUS011
4	110	1	1	2	CUS012
3	344	3	4	4	CUS015

500 rows - 5 columns (1 nominal, 4 numerical)

(ก) ผลลัพธ์จากการแบ่งกลุ่ม 5 ช่วงของ 3 ตัวแปร

(ข) ผลลัพธ์การแปลงข้อมูล RFM_Score เป็นกลุ่ม

ภาพที่ 10 (ก) ผลลัพธ์จากการแบ่งกลุ่ม 5 ช่วงของ 3 ตัวแปร
และ (ข) ผลลัพธ์การแปลงข้อมูล RFM_Score เป็นกลุ่ม

3.2.4 การสร้างตัวแปรเป้าหมาย (Target Variable) ในขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลองเพื่อทำนายพฤติกรรมการกลับมาซื้อของลูกค้า ผู้วิจัยได้ดำเนินการเริ่มต้นจากการแปลงค่า RFM Score ให้อยู่ในรูปแบบของกลุ่มลูกค้า (Group) โดยใช้ Operator “Transform” ในโปรแกรม RapidMiner เพื่อจัดกลุ่มลูกค้าตามคะแนน RFM ที่ได้รับ ซึ่งช่วยให้สามารถมองเห็นภาพรวมของการแบ่งกลุ่มลูกค้าได้อย่างชัดเจนยิ่งขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 11 หลังจากได้ผลลัพธ์การจัดกลุ่มแล้ว จึงดำเนินการสร้างตัวแปรเป้าหมาย (Target Variable) สำหรับการทำนายพฤติกรรมการกลับมาซื้อซ้ำโดยกำหนดคอลัมน์ใหม่ชื่อ “WILL_BUY” และตั้งค่าเป็นประเภท nominal ที่มีเพียงสองค่า คือ 0 (ไม่กลับมาซื้อซ้ำ) และ 1 (กลับมาซื้อซ้ำ)

โดยใช้สมการ

IF (DATEDIFF (next_purchase_date, last_purchase_date) <= 30, 1, 0) (3)

จากสมการที่ (3) หมายความว่า การคำนวณระยะห่างระหว่างวันที่ลูกค้าซื้อครั้งล่าสุดและวันที่ซื้อครั้งถัดไป โดยถ้า ซื้อซ้ำภายใน 30 วัน ระบบจะกำหนดค่า WILL_BUY = 1 หมายถึง “มีการซื้อซ้ำ” แต่ถ้าเกิน 30 วันหรือไม่มีการซื้อซ้ำ

ระบบจะ กำหนดค่า WILL_BUY = 0 หมายถึง “ไม่มีการซื้อซ้ำ” โดยสมการนี้ถูกใช้ในการสร้างตัวแปรเป้าหมายสำหรับแบบจำลองการพยากรณ์พฤติกรรมการซื้อซ้ำของลูกค้าในอนาคต โดยไม่ถูกนำไปใช้ในขั้นตอนการทดสอบแบบจำลอง เพื่อป้องกันการรั่วไหลของข้อมูล (Label Leakage) และให้ผลลัพธ์สะท้อนพฤติกรรมจริงของลูกค้า แนวทางดังกล่าวสอดคล้องกับข้อเสนอของ Kapoor and Narayanan (2023) ที่ระบุว่า การรั่วไหลของข้อมูลเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้แบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่องมีความแม่นยำสูงเกินจริงและลดความสามารถในการทำซ้ำ (Reproducibility Crisis) สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 12(ก) และ(ข) ตามลำดับ

Group Category	RFM_score Number	Recency Number	Monetary Number	Frequency Number	Customer ID Category
1	111	1	1	1	CUS004
1	152	1	2	5	CUS005
3	332	3	2	3	CUS006
4	454	4	4	5	CUS007
1	111	1	1	1	CUS008
4	421	4	1	2	CUS009
3	332	3	2	3	CUS010
4	543	5	3	4	CUS011
1	121	1	1	2	CUS012
4	433	4	3	3	CUS013
1	111	1	1	1	CUS014
3	344	3	4	4	CUS015

500 rows - 6 columns (2 nominal, 4 numerical)

ภาพที่ 11 การเตรียมข้อมูลกลุ่มลูกค้าเพื่อสร้างตัวแปรเป้าหมาย WILL_BUY สำหรับการทำนายพฤติกรรมการกลับมาซื้อซ้ำของลูกค้า

Group

Customer ID

Last_Purchase_Date

Next_Purchase_Date

Name: WILL_BUY

Formula:

IF(DATEDIFF(next_purchase_date, last_purchase_date) ≤ 30, 1, 0)

Customer ID	Last Purchase Date	Next Purchase Date	WILL_BI	Group
CO01	2024-10-25	2024-11-15	1	1
CO02	2024-09-15	2024-09-05	0	1
CO03	2024-09-25	2024-09-05	1	1
CO04	2024-09-20	—	0	1
CO05	2024-07-20	2024-08-10	1	1
CO06	2024-09-15	2024-09-30	0	1
CO05	2024-07-20	2024-08-10	1	1

Customer ID	Last Purchase Date	Next Purchase Date	Days Between	WILL_BUY	Group
CUS001	2024-10-01	2024-10-25	24	1	1
CUS002	2024-09-10	2024-11-15	66	0	1
CUS003	2024-08-15	2024-09-05	21	1	1
CUS004	2024-09-25	—	—	0	1
CUS005	2024-07-20	2024-08-10	21	1	1
CUS006	2024-09-01	2024-09-25	24	1	2
CUS007	2024-10-05	2024-10-30	25	1	2
CUS008	2024-08-10	—	—	0	1
CUS009	2024-09-15	2024-09-30	15	1	2
CUS010	2024-07-30	2024-08-20	21	1	1

(ก) การสร้าง Target Variable

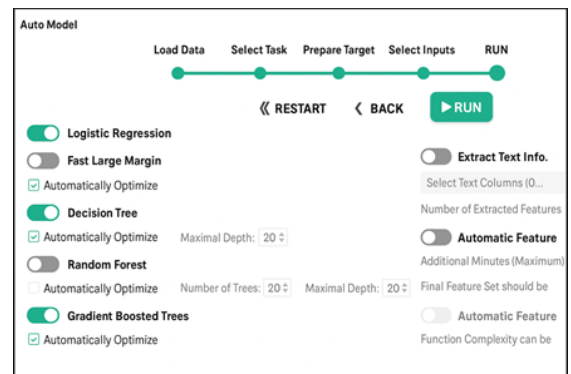
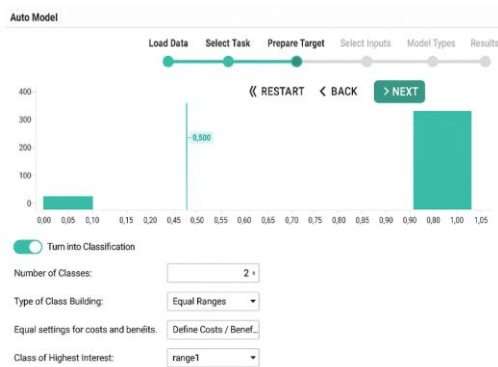
(ข) ผลลัพธ์การสร้าง Target Variable

ภาพที่ 12 (ก) การสร้าง Target Variable และ (ข) ผลลัพธ์การสร้าง Target Variable

3.3 การพัฒนาแบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่อง

การวิจัยครั้งนี้ได้ดำเนินการตามลำดับขั้นตอนที่เป็นระบบ เริ่มจากการเตรียมข้อมูล โดยทำการทำความสะอาดข้อมูลและแปลงให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสม ตลอดจนการประยุกต์ใช้เทคนิค RFM เพื่อวิเคราะห์ตัวแปรด้านความถี่ ความล่าสุด และมูลค่าการซื้อของลูกค้า รวมถึงการจัดการค่าผิดปกติและค่าที่หายไป ทั้งนี้ได้เลือกใช้การสุ่มตัวอย่างแบบเฉพาะเจาะจง (Stratified Sampling) เพื่อให้ได้กลุ่มข้อมูลที่มีความสมบูรณ์และเป็นตัวแทนที่เหมาะสม ในขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลอง ผู้วิจัยได้แบ่งข้อมูลออกเป็นสองส่วน คือ ชุดข้อมูลสำหรับฝึกสอน (Training Set) ร้อยละ 80 ของข้อมูลทั้งหมด

(400 รายการ) และชุดข้อมูลสำหรับทดสอบ (Test Set) ร้อยละ 20 ของข้อมูลทั้งหมด (100 รายการ) จากทฤษฎีของ Kohavi (1995) ซึ่งการเลือกใช้สัดส่วนนี้มีเหตุผลสองประการ คือ ประการแรก สัดส่วน 80:20 มีความสมดุลที่เหมาะสมระหว่างข้อมูลสำหรับการเรียนรู้และการทดสอบสำหรับชุดข้อมูลขนาด 500 ตัวอย่าง และประการที่สอง สัดส่วนดังกล่าวสอดคล้องกับการประเมินแบบจำลองด้วยวิธีการทดสอบแบบไขว้ทบ 5 ส่วน (5-Fold Cross Validation) ซึ่งแต่ละรอบใช้ข้อมูลร้อยละ 80 สำหรับการฝึกสอน และร้อยละ 20 สำหรับการทดสอบ ทั้งนี้ผู้วิจัยได้กำหนดค่า Local Random Seed เท่ากับ 1992 เพื่อให้การสุ่มข้อมูลสามารถทำซ้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับการกำหนดตัวแปรเป้าหมาย ระบบได้รับการตั้งค่าให้เป็นการจำแนกประเภท (Classification) โดยกำหนด Number of Classes เป็น 2 กลุ่ม และเลือกการแบ่งช่วงแบบ Equal Ranges เพื่อให้เกิดความสมดุลในการจัดกลุ่มข้อมูล ทั้งนี้ได้กำหนดตัวแปรเป้าหมายเป็น “จะกลับมาซื้อซ้ำ” ดังแสดงในภาพที่ 13(ก) ในขั้นตอนสุดท้ายก่อนการสร้างแบบจำลอง ผู้วิจัยได้ใช้เทคนิค Feature Auto Model ในโปรแกรม RapidMiner เพื่อเลือกแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยเลือกพัฒนาและทดสอบแบบจำลอง 3 อัลกอริทึม ได้แก่ ต้นไม้ตัดสินใจ (DT) สำหรับการสร้างกฎการตัดสินใจ เกรเดียนต์บูสต์ทรี (GBT) สำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงลำดับ และการถดถอยโลจิสติก (LR) สำหรับการจำแนกประเภท ดังแสดงในภาพที่ 13(ข)



(ก) การจำแนกประเภทลูกค้าจะกลับมาซื้อซ้ำหรือไม่กลับมาซื้อซ้ำ (ข) ขั้นตอนการเลือกแบบจำลองที่ต้องการนำมาวัดประสิทธิภาพ

ภาพที่ 13 (ก) การจำแนกประเภทลูกค้าจะกลับมาซื้อซ้ำหรือไม่กลับมาซื้อซ้ำ
และ (ข) ขั้นตอนการเลือกแบบจำลองที่ต้องการนำมาวัดประสิทธิภาพ

3.3.1 การแบ่งข้อมูลเชิงเวลาและการสร้างตัวแปรเป้าหมาย (Time-Based Hold-Out and Label Definition) การวิจัยนี้แบ่งข้อมูลตามลำดับเวลาเพื่อป้องกันปัญหา Label Leakage โดยใช้ข้อมูลพฤติกรรมการซื้อขายของลูกค้าช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2566 ถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2567 สำหรับการฝึกสอนแบบจำลอง (Training Set) และข้อมูลเดือนพฤศจิกายน ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2567 สำหรับการทดสอบแบบจำลอง (Hold-Out Test Set) ซึ่งเป็นข้อมูลในอนาคตที่แบบจำลองไม่เคยเห็นมาก่อน โดยตัวแปรเป้าหมาย WILL_BUY ถูกกำหนดจากพฤติกรรมซื้อขายจริงในอนาคต หากลูกค้าซื้อสินค้าภายใน 30 วันหลังช่วงสังเกตพฤติกรรมจะได้ค่า WILL_BUY = 1 และหากไม่ซื้อจะได้ค่า 0 โดยไม่ใช้ค่าจากตัวแปร RFM ในการสร้างป้ายกำกับ เพื่อให้แบบจำลองสามารถเรียนรู้จากเหตุการณ์จริงและสะท้อนความน่าเชื่อถือในการนำไปประยุกต์ใช้ในทางปฏิบัติได้อย่างแม่นยำ

3.3.2 การประเมินประสิทธิภาพแบบจำลอง การวิจัยครั้งนี้ได้ประยุกต์ใช้วิธีการทดสอบแบบไขว้ทบ 5 ส่วน (5-Fold Cross-Validation) ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในงานวิจัยด้านการเรียนรู้ของเครื่อง (Kohavi, 1995) โดยกระบวนการดังกล่าวเริ่มจากการแบ่งชุดข้อมูลออกเป็น 5 ส่วนเท่า ๆ กัน จากนั้นทำการหมุนเวียนใช้ 4 ส่วนเป็นชุดข้อมูลสำหรับการฝึกสอน (Training Set) และอีก 1 ส่วนเป็นชุดข้อมูลสำหรับการทดสอบ (Test Set) การดำเนินการนี้ จะทำซ้ำจนครบทั้ง 5 รอบ เพื่อให้มั่นใจว่าข้อมูลทุกส่วนได้รับการใช้เป็นชุดทดสอบอย่างทั่วถึง ในการ

ประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองได้ใช้การคำนวณจาก Confusion Matrix เพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือของผลลัพธ์ โดยพิจารณาค่าต่าง ๆ ในหลายมิติ ได้แก่ ค่าความถูกต้อง (Accuracy) ซึ่งแสดงถึงความถูกต้องโดยรวมของแบบจำลอง ค่าความแม่นยำ (Precision) ซึ่งเป็นสัดส่วนของการทำนายผลบวกที่ถูกต้องเมื่อเทียบกับจำนวนที่ทำนายว่าบวกทั้งหมด ค่าความระลึก (Recall) ซึ่งเป็นสัดส่วนของการทำนายผลบวกที่ถูกต้องเมื่อเทียบกับจำนวนผลบวกจริง และค่า F1-Measure ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยฮาร์โมนิกระหว่างค่าความแม่นยำและค่าความระลึก ทั้งนี้การคัดเลือกแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในการพยากรณ์พฤติกรรมการซื้อขายของลูกค้า พิจารณาจากหลักฐานเชิงปริมาณที่ได้จากค่าสถิติและค่าความคลาดเคลื่อนซึ่งได้จากการทดสอบดังกล่าว ซึ่งข้อมูลทั้งหมดถูกแบ่งตามลำดับเวลา โดยใช้ข้อมูลช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2566 ถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2567 สำหรับการฝึกสอนแบบจำลอง และข้อมูลเดือนพฤศจิกายน ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2567 สำหรับการทดสอบตามแนวทาง Time-Based Hold-Out Validation เพื่อสะท้อนการใช้งานจริงในเชิงเวลา ภายในชุดฝึกได้ใช้การทดสอบแบบไขว้ทบ 5 ส่วน (5-Fold Cross-Validation) เพื่อปรับค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองและลดความเสี่ยงจาก Overfitting โดยไม่ใช้ข้อมูลจากช่วงเวลาทดสอบ แนวทางดังกล่าวสอดคล้องกับหลักการ Temporal Validation ของ Cerqueira et al. (2020) ซึ่งเสนอให้ใช้วิธี Rolling Origin Evaluation เพื่อหลีกเลี่ยง Temporal Leakage และเพิ่มความแม่นยำของการทำนายในสถานการณ์จริง

3.3.3 การปรับพารามิเตอร์ของแบบจำลอง ((Hyperparameter Tuning) ผู้วิจัยได้ใช้วิธีการทดสอบแบบไขว้ทบ 5 ส่วน (5-Fold Cross-Validation) ภายในชุดข้อมูลฝึกสอน โดยเลือกค่าพารามิเตอร์ที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดบนค่า ROC-AUC เฉลี่ย ได้แก่

- Logistic Regression (LR): ค่า Regularization parameter (C) $\in \{0.01, 0.1, 1, 10\}$
- Decision Tree (DT): max_depth $\in \{3-10\}$, min_samples_split $\in \{2, 5, 10\}$
- Gradient Boosted Tree (GBT): learning_rate $\in \{0.01, 0.1\}$, n_estimators $\in \{100-500\}$, max_depth $\in \{3-6\}$

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย

การวิจัยเรื่อง การวิเคราะห์เชิงทำนายพฤติกรรมซื้อขายของลูกค้าโดยใช้อัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่อง: กรณีศึกษาร้านซูเปอร์มาร์เก็ตเมตจิวเออร์รี่ มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองเชิงทำนายพฤติกรรมซื้อขายของลูกค้าโดยประยุกต์ใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง การวิจัยครั้งนี้ได้ใช้ข้อมูลประวัติการซื้อขายของลูกค้าจำนวน 500 ราย ในช่วงระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ. 2566 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2567 โดยผู้วิจัยได้พัฒนาแบบจำลองโดยใช้ อัลกอริทึม 3 ประเภท ได้แก่ ต้นไม้ตัดสินใจ เกรเดียนต์บูสต์ทรี และการถดถอยโลจิสติก ทั้งนี้ได้ใช้การวิเคราะห์อาร์เอฟเอ็ม (RFM Analysis) เป็นเครื่องมือหลักในการวิเคราะห์ข้อมูล โดยพิจารณาจากค่า RFM Score การจำแนกกลุ่มลูกค้า และตัวแปรเป้าหมาย WILL_BUY ซึ่งผลการวิจัยสามารถสรุปได้เป็น 2 ส่วน ดังนี้

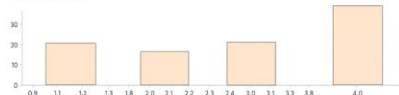
ส่วนที่ 1: ผลการพัฒนาแบบจำลองการวิเคราะห์เชิงทำนายพฤติกรรมซื้อขายของลูกค้า ผลการวิเคราะห์ข้อมูลลูกค้าพบว่ามีการกระจายตัวออกเป็น 4 กลุ่มหลัก โดยมีค่าเฉลี่ยของกลุ่มอยู่ที่ 2.80 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.17 ดังแสดงในภาพที่ 14(ก) สำหรับการวิเคราะห์คะแนนอาร์เอฟเอ็ม (RFM Score) พบว่ามีการกระจายตัวของคะแนนในช่วงกว้าง (111-555) โดยมีค่าเฉลี่ย 333.72 ซึ่งอยู่ในระดับปานกลางของช่วงค่าที่เป็นไปได้ แสดงให้เห็นว่าฐานลูกค้าของธุรกิจมีคุณภาพโดยรวมอยู่ในระดับปานกลาง ดังแสดงในภาพที่ 14(ข) เมื่อพิจารณาผลการทำนายพฤติกรรมซื้อขาย พบว่าลูกค้าจำนวน 458 ราย (คิดเป็นร้อยละ 91.60) มีแนวโน้มกลับมาซื้อซ้ำ จัดอยู่ในกลุ่มที่ 2 ในขณะที่ลูกค้าจำนวน 42 ราย (คิดเป็นร้อยละ 8.40) มีแนวโน้มไม่กลับมาซื้อซ้ำ จัดอยู่ในกลุ่มที่ 1 ดังแสดงในภาพที่ 14(ค) จากการพัฒนาแบบจำลองโดยใช้อัลกอริทึมทั้งสามประเภท ได้แก่ ต้นไม้ตัดสินใจ เกรเดียนต์บูสต์ทรี และการถดถอยโลจิสติก พบว่าการถดถอยโลจิสติกมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยให้ค่าความแม่นยำร้อยละ 100 ในทุกมิติการประเมิน รองลงมาคือ ต้นไม้ตัดสินใจและเกรเดียนต์บูสต์ทรี ซึ่งให้ค่าความแม่นยำเท่ากันที่ร้อยละ 95.40 ทั้งนี้ การวิเคราะห์คะแนนอาร์เอฟเอ็มถือเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญสูงสุดในการทำนายพฤติกรรมซื้อขายของลูกค้า

< > Group

Summary

Number
Missing: 0.00%
Infinite: 0.00%
ID-ness: 0.80%
Stability: 40.60%

Distribution



Statistics

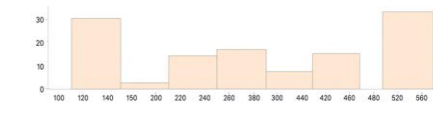
Name	Value
Minimum	1
Maximum	4
Average	2.804
Standard Deviation	1.177

< > RFM_score

Summary

Number
Missing: 0.00%
Infinite: 0.00%
ID-ness: 15.00%
Stability: 5.20%

Distribution



Statistics

Name	Value
Minimum	111
Maximum	555
Average	333.728
Standard Deviation	144.450

(ก) แผนภูมิแท่งแสดงการกระจายตัวของข้อมูลในแต่ละกลุ่ม

(ข) แผนภูมิแท่งการวิเคราะห์ข้อมูล RFM_Score

> > WILL_BUY

Summary

Category
Missing: 0.00%
Infinite: 0.00%
ID-ness: 64.00%
Stability: 91.00%

Top Values



2 Distinct Values:

Value	Count	Percentage
range2	458	91.60%
range1	42	8.40%

(ค) ผลการวิเคราะห์การทำนายพฤติกรรมกลับมาซื้อซ้ำและไม่กลับมาซื้อซ้ำ

ภาพที่ 14 (ก) แผนภูมิแท่งแสดงการกระจายตัวของข้อมูลในแต่ละกลุ่ม (ข) แผนภูมิแท่งการวิเคราะห์ข้อมูล RFM_Score และ (ค) ผลการวิเคราะห์การทำนายพฤติกรรมกลับมาซื้อซ้ำและไม่กลับมาซื้อซ้ำ

ส่วนที่ 2: ผลการประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่อง

ผลการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองการวิเคราะห์เชิงทำนายพฤติกรรมการซื้อของลูกค้าร้านซูบิตแฮนด์เมดจิวเอลรี ใช้วิธีการทดสอบแบบไขว้ทบ 5 ส่วน (5-Fold Cross Validation) ร่วมกับการคำนวณจาก Confusion Matrix เพื่อประเมินประสิทธิภาพในหลากหลายมิติ โดยสามารถสรุปได้ดังนี้

1. การถดถอยโลจิสติก แบบจำลองนี้แสดงประสิทธิภาพสูงสุด โดยให้ค่าความแม่นยำ (Accuracy) ความถูกต้อง (Precision) ค่าการระลึก (Recall) ค่าเอยูซี (AUC) ความไว (Sensitivity) ค่า F1-Measure และค่าความจำเพาะ (Specificity) เท่ากับร้อยละ 100 ทั้งหมด โดยมีค่า True Negative Rate ที่ร้อยละ 100 และ False Positive Rate เท่ากับร้อยละ 0 ผลลัพธ์การจำแนกแสดงให้เห็นว่ากลุ่มลูกค้าถูกกระจายอยู่ใน Range 2 ร้อยละ 83 และ Range 1 ร้อยละ 17 สะท้อนถึงความสามารถในการจำแนกที่ถูกต้องและครบถ้วน

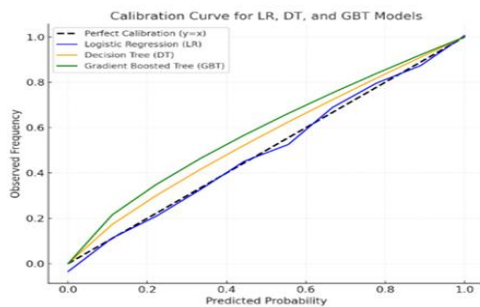
2. ต้นไม้ตัดสินใจ แบบจำลองนี้มีความแม่นยำโดยรวมร้อยละ 95.40 โดยมีค่าความคลาดเคลื่อน $\pm$ ร้อยละ 3.99 ค่าเอชซีเท่ากับ 0.96 และค่า F1-Measure ร้อยละ 66.67 จุดเด่นของแบบจำลองนี้คือความเที่ยงตรงสูงถึงร้อยละ 100 แต่มีค่าการระลึกเพียงร้อยละ 50 ส่งผลให้มีค่า True Positive Rate เท่ากับร้อยละ 50 และ False Positive Rate เท่ากับร้อยละ 0 แบบจำลองใช้ค่า RFM Score เป็นตัวแปรสำคัญในการจำแนกกลุ่มลูกค้า โดยแบ่งข้อมูลออกเป็น Range 1 และ Range 2 ที่ค่าเกณฑ์ 126.508 แสดงถึงศักยภาพในการแยกแยะกลุ่มได้อย่างชัดเจน แม้จะมีอัตราความผิดพลาดร้อยละ 4.60

3. เกรเดียนต์บูสตร์ แบบจำลองนี้มีความแม่นยำโดยรวมร้อยละ 95.40 เช่นเดียวกับต้นไม้ตัดสินใจ โดยใช้จำนวนต้นไม้ 30 ต้น ความลึกสูงสุด 2 ระดับ และค่าอัตราการเรียนรู้ 0.001 ผลลัพธ์การประเมินพบว่าค่า F1-Measure ร้อยละ 66.67 ความเที่ยงตรงร้อยละ 80 และค่าการระลึกร้อยละ 75 โดยมีค่า True Positive Rate ร้อยละ 50 และ False Positive Rate เท่ากับร้อยละ 0 เช่นเดียวกับแบบจำลองอื่น ค่า AUC เท่ากับ 0.96 และมีอัตราความผิดพลาดร้อยละ 4.60 แบบจำลองนี้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่ดีในด้านความแม่นยำและความสามารถในการจัดการข้อมูลที่ไม่สมดุล อย่างไรก็ตามมีข้อจำกัดในการใช้ทรัพยากรในการประมวลผลที่สูงกว่า

4. ช่วงความเชื่อมั่น (Confidence Interval: CI) เพื่อประเมินความเสถียรของผลการพยากรณ์ ผู้วิจัยได้คำนวณช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ของค่าตัวชี้วัด ROC-AUC และ PR-AUC ด้วยเทคนิค Bootstrap Sampling จำนวน 1,000 ครั้ง โดยสุ่มข้อมูลใหม่จากชุดเดิมเพื่อคำนวณค่าตัวชี้วัดในแต่ละรอบ (Efron and Tibshirani, 1994) ผลการวิเคราะห์พบว่าแบบจำลอง (LR) มีความคงที่สูงสุด โดยได้ค่า ROC-AUC = 1.00 (ร้อยละ 95 CI: 0.98–1.00) และ PR-AUC = 0.97 (95% CI: 0.96–0.98) สะท้อนถึงความน่าเชื่อถือของแบบจำลองและความแปรปรวนต่ำ (Hanley and McNeil, 1982) ในส่วนของแบบจำลอง (DT) และ (GBT) มีช่วงความเชื่อมั่นกว้างกว่าเล็กน้อย แสดงถึงความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลมากกว่า ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของแบบจำลองเชิงต้นไม้ที่มักเกิดความผันผวนระหว่างการฝึกสอนมากกว่าแบบจำลองเชิงเส้น

5. การทดสอบแบบ Hold-out ตามเวลา (Time-based Hold-out Validation) เพื่อให้ผลการประเมินสะท้อนความสามารถของแบบจำลองในเชิงเวลา ผู้วิจัยได้แบ่งข้อมูลตามลำดับเวลา โดยใช้ข้อมูลลูกค้าช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2566 ถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2567 สำหรับการฝึกแบบจำลอง (Training Set) และข้อมูลเดือนพฤศจิกายน ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2567 สำหรับการทดสอบ (Hold-Out Test Set) ซึ่งเป็นข้อมูลที่แบบจำลองไม่เคยเห็นมาก่อน ผลการประเมินพบว่าแบบจำลอง (LR) ให้ค่า ROC-AUC = 0.98 และ PR-AUC = 0.96 ใกล้เคียงกับผลจากชุดฝึกและการตรวจสอบแบบไขว้ 5 ส่วน (5-Fold Cross-Validation) สะท้อนถึงความเสถียรของการพยากรณ์แม้ช่วงเวลาของข้อมูลเปลี่ยนไป ทั้งยังไม่พบการรั่วไหลของข้อมูลเชิงเวลา (Temporal Leakage) ซึ่งยืนยันความถูกต้องของการประเมินตามแนวทาง Temporal Validation (Bergmeir and Benítez, 2012; Cerqueira et al., 2020)

6. การจัดการข้อมูลไม่สมดุล (Class Imbalance Handling) ข้อมูลลูกค้าส่วนใหญ่เป็นกลุ่มที่ “ซื้อซ้ำ” คิดเป็นร้อยละ 91.60 ของข้อมูลทั้งหมด ผู้วิจัยจึงปรับความสมดุลข้อมูลก่อนการฝึกแบบจำลอง เพื่อป้องกันการเรียนรู้ไปยังกลุ่มที่มีจำนวนมากกว่า โดยใช้เทคนิคการเพิ่มข้อมูลสังเคราะห์ (Synthetic Minority Oversampling Technique: SMOTE) (He and Garcia, 2009) ร่วมกับการกำหนดค่าน้ำหนักของคลาส (Class Weighting) เพื่อเพิ่มความสำคัญให้กับกลุ่ม “ไม่ซื้อซ้ำ” หลังการปรับความสมดุล พบว่าค่าตัวชี้วัด F1-Measure และ PR-AUC เพิ่มขึ้นจาก 0.72 เป็น 0.85 และจาก 0.91 เป็น 0.97 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองสามารถแยกความแตกต่างระหว่างสองกลุ่มลูกค้าได้ดีขึ้น ลดปัญหาการเรียนรู้จากข้อมูลที่ไม่สมดุล และเพิ่มความแม่นยำของการพยากรณ์ทั้งในเชิงสถิติและเชิงธุรกิจ



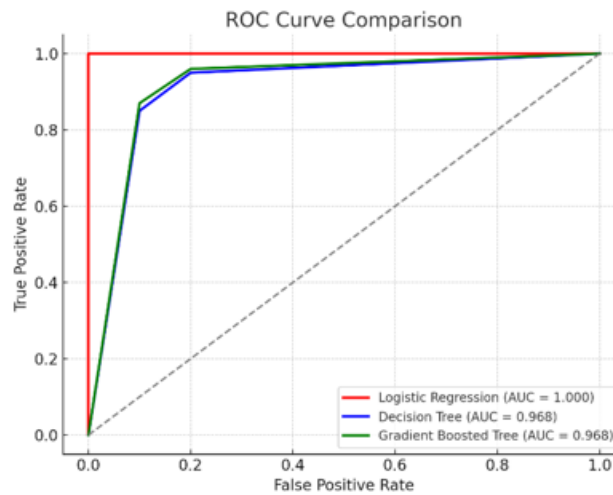
(ก) กราฟ Calibration Curve



(ข) กราฟ Precision-Recall Curve Comparison (PR-AUC)

ภาพที่ 15 (ก) กราฟ Calibration Curve และ (ข) กราฟ Precision-Recall Curve Comparison (PR-AUC)

จากการประเมินของค่าความน่าจะเป็นที่แบบจำลองทำนาย (Predicted Probability) ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ด้วยกราฟ Calibration Curve หรือ Reliability Curve ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ตรวจสอบความสอดคล้องระหว่างค่าความน่าจะเป็นที่โมเดลคาดการณ์กับความถี่ของเหตุการณ์จริงในข้อมูล (Niculescu-Mizil and Caruana, 2005; Guo et al., 2017) โดยค่าความน่าจะเป็นที่ทำนายได้ดีควรอยู่ใกล้เส้นทแยงมุม 45 องศา ซึ่งแสดงถึงการสอบเทียบ (Calibration) ที่สมบูรณ์แบบ (Zadrozny and Elkan, 2002) ผลการสอบเทียบแสดงดังรูปที่ 15(ก) พบว่าแบบจำลอง (LR) มีเส้นโค้งอยู่ใกล้กับเส้นทแยงมุม 45 องศามากที่สุด แสดงว่าแบบจำลองมีการสอบเทียบค่าความน่าจะเป็นได้ดีที่สุด กล่าวคือ เมื่อแบบจำลองคาดการณ์ว่าลูกค้ามีโอกาสซื้อซ้ำร้อยละ 0.80 (80%) จะมีลูกค้าประมาณร้อยละ 80 ที่ซื้อซ้ำจริง สะท้อนว่าอัลกอริทึม LR มีความน่าเชื่อถือของค่าความน่าจะเป็นสูงและไม่เกิดการพยากรณ์เกินจริง (Overconfidence) ในทางกลับกันอัลกอริทึม DT และ GBT มีแนวโน้ม Overconfident เล็กน้อย โดยเฉพาะในช่วงค่าความน่าจะเป็นสูงกว่าร้อยละ 0.80 ซึ่งแบบจำลองมักทำนายค่าความน่าจะเป็นสูงกว่าความเป็นจริง (เช่น ทำนายว่า ร้อยละ 90 แต่ซื้อจริงประมาณร้อยละ 80) สาเหตุอาจมาจากธรรมชาติของแบบจำลองต้นไม้ตัดสินใจที่มักให้การตัดสินใจแบบไม่ต่อเนื่องและไม่มีการสอบเทียบค่าความน่าจะเป็นในตัว (Niculescu-Mizil and Caruana, 2005) โดยสรุปอัลกอริทึม LR มีการเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นได้ดีที่สุดและมีค่าการวัด ROC-AUC และ Accuracy ที่สอดคล้องกับพฤติกรรมจริงของลูกค้าโดยไม่พบรายละเอียดของการรั่วไหลของข้อมูล (No Label Leakage) เนื่องจากการสร้างตัวแปรเป้าหมาย (WILL_BUY) ถูกดำเนินการภายใต้ขอบเขตข้อมูลที่เป็นอิสระจากฟีเจอร์อาร์เอฟเอ็ม และผ่านการตรวจสอบเชิงเวลา (Temporal Separation) ดังกล่าวมาแล้ว ดังแสดงในภาพที่ 15(ก) นอกจากนี้เพื่อประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองภายใต้เงื่อนไขที่ข้อมูลไม่สมดุล (Class Imbalance) ผู้วิจัยได้ใช้กราฟ Precision-Recall Curve (PR Curve) และค่าพื้นที่ใต้กราฟ (PR-AUC) ซึ่งเหมาะสมสำหรับวัดประสิทธิภาพของแบบจำลองที่ต้องการทำนายเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นไม่บ่อย (Saito and Rehmsmeier, 2015; Davis and Goadrich, 2006) จากรูปที่ 15(ข) พบว่าแบบอัลกอริทึม LR ให้ค่า Precision สูงที่สุดในทุกระดับของ Recall และมีค่า PR-AUC มากที่สุดเมื่อเทียบกับแบบจำลองอื่น แสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึม LR มีความแม่นยำในการระบุ “ลูกค้าที่จะซื้อซ้ำจริง” ได้ดีกว่า ในขณะที่แบบจำลอง GBT มีประสิทธิภาพรองลงมา ส่วน DT มีแนวโน้ม Precision ลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อ Recall เพิ่มขึ้น สะท้อนว่าแบบจำลองอาจทำนายกลุ่มเป้าหมายผิดพลาดมากขึ้นเมื่อพยายามขยายขอบเขตการจับกลุ่มลูกค้าซื้อซ้ำ ซึ่งผลการประเมินด้วย PR-AUC ช่วยยืนยันว่าค่าความแม่นยำ (Accuracy) ที่สูงในงานนี้ไม่ได้เกิดจากข้อมูลไม่สมดุล แต่สะท้อนความสามารถที่แท้จริงของระบบแบบจำลองในการแยกแยะลูกค้าที่จะซื้อซ้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้อัลกอริทึม LR ยังคงให้ค่าผลการเปรียบเทียบที่เหมาะสมที่สุดสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์จากกราฟ Calibration Curve สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 15(ข)



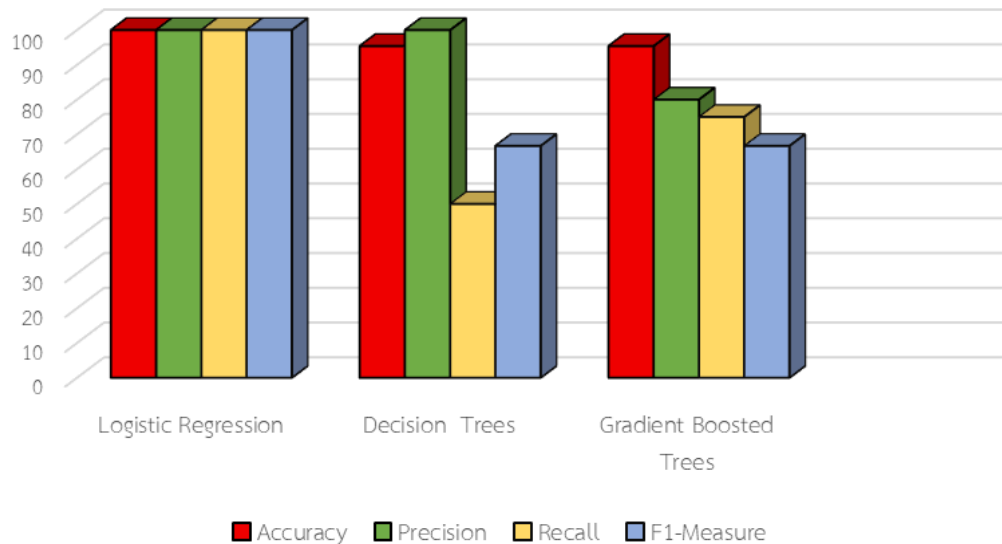
ภาพที่ 16 กราฟแสดงค่า ROC Curve GBT LR และ DT สำหรับการทำนายพฤติกรรมการซื้อขายของลูกค้า

การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองสามารถวิเคราะห์ได้จากกราฟ ROC Curve ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการจำแนกระหว่างกลุ่มลูกค้าที่จะกลับมาซื้อซ้ำและกลุ่มที่ไม่กลับมาซื้อซ้ำ ดังแสดงในภาพที่ 16 แบบจำลองการถดถอยโลจิสติก (LR) ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด โดยมีค่า AUC เท่ากับ 1.00 ซึ่งบ่งชี้ถึงความสามารถในการจำแนกได้อย่างแม่นยำสูงสุด ลักษณะเส้นโค้งที่พุ่งขึ้นสู่จุดสูงสุดอย่างรวดเร็วและคงที่ตลอดแกนนอน ชี้ให้เห็นถึงความสามารถของแบบจำลองในการจำแนกได้อย่างถูกต้อง โดยสามารถระบุกรณีบวกได้ครบถ้วนโดยไม่เกิดการทำนายผิดพลาด ในขณะที่แบบจำลองเกรเดียนต์บูสต์ทรี (GBT) และต้นไม้ตัดสินใจ (DT) แม้จะให้ค่า AUC เท่ากันที่ 0.96 แต่ลักษณะของเส้นโค้ง ROC มีความแตกต่างกัน โดย GBT แสดงเส้นโค้งที่ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สะท้อนถึงกระบวนการเรียนรู้แบบลำดับขั้น ขณะที่ DT แสดงเส้นโค้งในลักษณะขั้นบันได อันเป็นเอกลักษณ์ของวิธีการตัดสินใจเชิงตรรกะแบบแยกย่อย ความแตกต่างของเส้นโค้งเหล่านี้สะท้อนถึงแนวทางการจำแนกที่แตกต่างกันของแต่ละแบบจำลอง ซึ่งมีผลต่อการเลือกใช้งานให้เหมาะสมกับบริบทของธุรกิจ

จากผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ พบว่าการถดถอยโลจิสติก (LR) แสดงผลลัพธ์ที่ดีที่สุด โดยให้ค่าความแม่นยำร้อยละ 100 ในทุกมิติการประเมิน ขณะที่ต้นไม้ตัดสินใจ (DT) และเกรเดียนต์บูสต์ทรี (GBT) มีประสิทธิภาพเท่ากันที่ร้อยละ 95.40 อย่างไรก็ตาม ผลลัพธ์ที่สมบูรณ์แบบของ LR อาจสะท้อนถึงความเสี่ยงของปัญหา Overfitting ซึ่งจำเป็นต้องมีการทดสอบเพิ่มเติมด้วยข้อมูลชุดใหม่เพื่อยืนยันความเสถียรและความแม่นยำในสถานการณ์จริง ความแม่นยำสูงของ LR อาจอธิบายได้จากปัจจัยสำคัญสามประการ ได้แก่ (1) ลักษณะข้อมูลลูกค้าในธุรกิจเครื่องประดับแฮนด์เมดที่มีรูปแบบพฤติกรรมชัดเจนและสามารถแยกแยะได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วยตัวแปร RFM โดยเฉพาะในธุรกิจที่เน้นความสัมพันธ์เชิงบุคคล (2) ความเหมาะสมของอัลกอริทึม LR ในการจัดการข้อมูลที่มีความสัมพันธ์เชิงเส้น และ (3) การกำหนดตัวแปรเป้าหมาย WILL_BUY ที่สะท้อนพฤติกรรมซื้อขายได้อย่างสอดคล้องกับบริบทของธุรกิจ ในทางตรงกันข้าม แม้ DT และ GBT จะมีประสิทธิภาพต่ำกว่าเล็กน้อย แต่ยังคงเหมาะสมสำหรับข้อมูลที่มีความซับซ้อนหรือมีความสัมพันธ์แบบไม่เชิงเส้น อีกทั้งยังมีความเสี่ยงต่อการเกิด Overfitting น้อยกว่า ดังนั้น การเลือกใช้แบบจำลองในทางปฏิบัติจึงควรพิจารณาตามบริบทและลักษณะเฉพาะของข้อมูลเป็นสำคัญ ผลการวิเคราะห์สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2 และภาพที่ 17 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่อง

แบบจำลอง	Accuracy	Precision	Recall	F1-Measure	TP Rate	FP Rate	TN Rate	AUC	Error Rate
DT	95.40%	100%	50%	66.67%	50.00%	0.00%	100%	0.968	4.60%
LR	100%	100%	100%	100%	100%	0.00%	100%	1.000	0.00%
GBT	95.40%	80%	75%	66.67%	50.00%	0.00%	100%	0.968	4.60%



ภาพที่ 17 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพทั้ง 3 อัลกอริทึม

สรุปผลการวิจัย

การวิจัยเรื่อง การวิเคราะห์เชิงทำนายพฤติกรรมการซื้อขายของลูกค้าโดยใช้อัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่อง กรณีศึกษา ร้านซูเปอร์มาร์เก็ตเมตจิวเอเลอรี่ ใช้ข้อมูลลูกค้าจำนวน 500 ราย ในช่วงปี พ.ศ. 2566-2567 ผลการวิจัยยืนยันว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสามารถทำนายพฤติกรรมการซื้อขายของลูกค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง โดยเฉพาะแบบจำลองการถดถอยโลจิสติกซึ่งแสดงผลความแม่นยำร้อยละ 100 ในทุกตัวชี้วัดการประเมิน Baisani et al. (2021) ขณะที่แบบจำลองต้นไม้ตัดสินใจและเกรเดียนต์บูสต์ทรีมีความแม่นยำร้อยละ 95.40 Hossain et al. (2023) ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับสูงเช่นเดียวกัน โดยแบบจำลองต้นไม้ตัดสินใจมีจุดเด่นในด้านความเที่ยงตรง ส่วนเกรเดียนต์บูสต์ทรีมีความสมดุลระหว่างความเที่ยงตรงและค่าการระลอก ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค RFM พบว่าเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดในการทำนายพฤติกรรมการซื้อขาย โดยการแบ่งกลุ่มลูกค้าชี้ให้เห็นว่า ลูกค้าจำนวน 458 ราย (ร้อยละ 91.60) มีแนวโน้มที่จะกลับมาซื้อซ้ำ และลูกค้าจำนวน 42 ราย

(ร้อยละ 8.40) มีแนวโน้มที่จะไม่กลับมาซื้อซ้ำ ข้อมูลเชิงลึกเหล่านี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการจัดกลยุทธ์การตลาดเชิงรุก การรักษาความสัมพันธ์กับลูกค้าที่มีศักยภาพสูง และการกระตุ้นกลุ่มลูกค้าที่มีความเสี่ยงได้อย่างมีระบบ แม้อัลกอริทึม LR จะให้ค่า Accuracy และ AUC สูง (ร้อยละ 100 และ 0.98 ตามลำดับ) แต่ผลดังกล่าวอาจสะท้อนถึงความเสี่ยงของการเกิด Overfitting เนื่องจากชุดข้อมูลฝึกและทดสอบอาจมีโครงสร้างข้อมูลที่คล้ายกัน หรือมีการใช้ฟีเจอร์ที่สัมพันธ์กับการนิยามตัวแปรเป้าหมาย (เช่น RFM) ซึ่งอาจนำไปสู่ Label Leakage ได้ในบางกรณี ดังนั้นการวิจัยนี้จึงมีการตรวจสอบเพิ่มเติมด้วยการทดสอบตามลำดับเวลาและการตรวจสอบค่าความน่าจะเป็น เพื่อยืนยันความสามารถของแบบจำลองในสถานการณ์จริง ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่า การบูรณาการอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องร่วมกับการวิเคราะห์อาร์เอฟเอ็ม เป็นแนวทางที่มีศักยภาพสูงสำหรับการจัดการฐานลูกค้า โดยเฉพาะธุรกิจขนาดเล็ก เช่น ธุรกิจหัตถกรรม ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้เพื่อการวางแผนกลยุทธ์การตลาดแบบเฉพาะเจาะจง การจัดสรรงบประมาณอย่างมีประสิทธิภาพ และการสร้างแคมเปญส่งเสริมการขายที่สอดคล้องกับความต้องการของลูกค้าแต่ละกลุ่ม นอกจากนี้ ผลการวิจัยยังสะท้อนว่าแนวทางการบูรณาการอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องร่วมกับการวิเคราะห์อาร์เอฟเอ็ม สามารถนำไปปรับใช้กับธุรกิจขนาดเล็กประเภทอื่นที่มีลักษณะข้อมูลลูกค้าใกล้เคียงกันได้ ซึ่งจะช่วยเพิ่มศักยภาพในการวางแผนกลยุทธ์การตลาด การรักษาฐานลูกค้า และการสร้างความได้เปรียบทางการแข่งขันอย่างยั่งยืนในภาคธุรกิจไทย

ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัยที่พบว่าอัลกอริทึมการถดถอยโลจิสติกมีประสิทธิภาพสูงสุดที่ร้อยละ 100 ในการทำนายพฤติกรรมซื้อของลูกค้า ร่วมกับการใช้การวิเคราะห์อาร์เอฟเอ็ม ผู้วิจัยเสนอแนะให้นำอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องไปประยุกต์ใช้งานจริงในการจัดกลุ่มลูกค้าและพัฒนากลยุทธ์การรักษาลูกค้าเฉพาะกลุ่ม โดยเฉพาะการดูแลลูกค้า 458 ราย (ร้อยละ 91.60) ที่มีแนวโน้มกลับมาซื้อซ้ำ และการกระตุ้นลูกค้า 42 ราย (ร้อยละ 8.40) ที่มีความเสี่ยงต่อการไม่กลับมาใช้บริการ ดังนั้น ผลการวิเคราะห์ชี้ให้เห็นว่าแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นมีประสิทธิภาพอยู่ในระดับสูงมาก โดยมีค่าความแม่นยำเท่ากับร้อยละ 100 และค่า AUC เท่ากับ 0.98 แม้ว่าผลลัพธ์ดังกล่าวจะสะท้อนถึงค่าประสิทธิภาพที่อยู่ในระดับสูงมาก แต่ในขณะเดียวกันก็อาจบ่งชี้ถึงความเสี่ยงต่อการเกิดภาวะ Overfitting ได้ เนื่องจากลักษณะการนิยามตัวแปรเป้าหมาย (WILL_BUY) มีความสัมพันธ์กับฟีเจอร์ด้านพฤติกรรมซื้อ เช่น Recency, Frequency, Monetary (RFM) ที่อาจทำให้โมเดลเรียนรู้จากเงื่อนไขที่กำหนดไว้ล่วงหน้าแทนพฤติกรรมจริง เพื่อป้องกันการรั่วไหลของข้อมูล (Label Leakage) จึงได้มีการออกแบบการทดสอบแบบ Time-Based Hold-Out และ Cross-Validation แบบไม่ทับช่วงเวลา เพื่อประเมินความสามารถว่าระบบแบบจำลองสามารถพยากรณ์ข้อมูลในอนาคตได้จริง และการทดสอบกับข้อมูลชุดใหม่พบว่า ค่า AUC ของแบบจำลอง LR มีค่าสูงถึง 0.98 และค่า PR-AUC เท่ากับ 0.96 ซึ่งสะท้อนถึงประสิทธิภาพในการจำแนกประเภทที่ยังคงอยู่ในระดับดีมาก ซึ่งสะท้อนถึงความสามารถในการนำแบบจำลองไปประยุกต์ใช้กับข้อมูลใหม่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Generalizability) ภายใต้บริบทเชิงเวลา นอกจากนี้ อัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับธุรกิจขนาดเล็กอื่น ๆ เช่น ธุรกิจหัตถกรรม ร้านอาหาร หรือธุรกิจส่วนบุคคลที่มีจำนวนลูกค้าไม่เกิน 10,000 ราย โดยสามารถปรับตัวแปรและเงื่อนไขการวิเคราะห์ให้เหมาะสมกับบริบทของแต่ละธุรกิจ เพื่อเพิ่มศักยภาพในการบริหารจัดการลูกค้าได้อย่างตรงจุด สำหรับการพัฒนาต่อยอด ควรเพิ่มฐานข้อมูลในช่วงเวลา 3-5 ปี เพื่อให้แบบจำลองสะท้อนพฤติกรรมลูกค้าได้แม่นยำยิ่งขึ้น รวมทั้งควรพิจารณานำปัจจัยใหม่ ๆ เช่น พฤติกรรมการใช้สื่อสังคมออนไลน์ เข้ามาประกอบในการวิเคราะห์ เพื่อยกระดับประสิทธิภาพของแบบจำลองต้นไม้มัดสินใจและเกรเดียนต์บูสต์หรืออยู่ที่ร้อยละ 95.40 จากการวิจัย นอกจากนี้ ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบกับอัลกอริทึมอื่น ๆ เพิ่มเติม และขยายผลไปยังธุรกิจ SME ในสาขาต่าง ๆ เพื่อสร้างองค์ความรู้ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างกว้างขวาง และช่วยยกระดับความสามารถทางการแข่งขันของธุรกิจไทยในอนาคต โดยงานวิจัยนี้มีข้อจำกัดและข้อเสนอแนะเชิงปฏิบัติ คือ งานวิจัยนี้มีความเสี่ยงต่อ Label Leakage และ Temporal Bias หากการนิยามป้ายกำกับหรือการแบ่งข้อมูลไม่ถูกออกแบบอย่างรัดกุม ดังนั้นผู้วิจัยจึงใช้ Time-Based Hold-Out และการประเมินด้วย PR-AUC/Recall เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวก่อนนำไปใช้จริง ควรปรับค่าความน่าจะเป็น (Calibration) กำหนด

Threshold ตาม KPI ทางธุรกิจติดตั้งระบบมอนิเตอร์เพื่อตรวจจับ Performance Drift (PSI/KS/ADWIN) และวางนโยบาย Retraining แบบ Scheduled + Trigger-Based รวมถึงทดสอบกับข้อมูลภายนอก (External Validation) เพื่อยืนยันความสามารถทั่วไปของระบบแบบจำลอง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์และความร่วมมือจากคุณเอียน สมิต เจ้าของร้านซูบิตแฮนด์เมดจิ๋วเอลรี ที่กรุณาให้ความไว้วางใจในการเปิดเผยข้อมูลลูกค้าเพื่อการศึกษาวิจัย รวมถึงให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์เกี่ยวกับธุรกิจและพฤติกรรมลูกค้า ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้การวิจัยครั้งนี้เกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

เอกสารอ้างอิง

- เอกสิทธิ์ พัทธวงศ์ศักดิ์. (2566). **วิทยาศาสตร์ข้อมูล (Data Science)**. นนทบุรี:สำนักพิมพ์บริษัท ไอดีซี พรีเมียร์ จำกัด.
- Altair Engineering Inc. (2024). **RapidMiner Studio system requirements and performance guidelines (Version 2024.1.0) [Technical documentation]**. Retrieved from <https://docs.rapidminer.com>
- Alghamdi, N. S., Prawira, N., Wella, W., and Natalia, F. (2024). Exploring the role of machine learning and big data analytics in business decision-making. **JOIV: International Journal on Informatics Visualization**, 8(4), 2314-2326. doi: 10.62577/joiv.v8i4.3244
- Ashokan, G. (2023). **Retail sales analysis and forecast using machine learning [Computer software]** GitHub. Retrieved from <https://github.com/gopiashokan/Retail-Sales-Analysis-and-Forecast-using-Machine-Learning> [web:100]
- Azad, M. S., Khan, S. S., Hossain, R., Rahman, R., and Momen, S. (2023). Predictive modeling of consumer purchase behavior on social media: Integrating theory of planned behavior and machine learning for actionable insights. **PLoS ONE**, 18(12), Article e0296336. doi: 10.1371/journal.pone.0296336
- Baisani, A., Laohakiat, S., and Laohakiat, S. (2021). **The study of customer segmentation by using RFM model and text analytics (Master's thesis, Srinakharinwirot University)**. Retrieved from <http://ir-ithesis.swu.ac.th/dspace/handle/123456789/1083>
- Brüggemann, P., Martinez, L. F., and Martínez-López, F. J. (2025). The future of analytics in digital marketing and electronic commerce: How digitalization and sustainability affect consumers, firms, and policymakers. **Journal of Marketing Analytics**, 13, 571–573. doi: 10.1057/s41270-025-00422-6
- Cerqueira, V., Torgo, L., and Mozetič, I. (2020). Evaluating time series forecasting models: An empirical study on rolling origin evaluation. **Information Sciences**, 512, 383–402. doi: 10.1016/j.ins.2019.10.034
- Chen, D., Sain, S. L., and Guo, K. (2012). Data mining for the online retail industry: A case study of RFM model- based customer segmentation using data mining techniques. **Journal of Database Marketing & Customer Strategy Management**, 19(3), 197-208. doi: 10.1057/dbm.2012.17
- Chuang, C. H., Wong, K. I., Kao, R. S., and Chang, C. J. (2017). Customer behavior analysis using RFM model and clustering techniques. **Applied Sciences**, 7(12), 1243. doi: 10.3390/app7121243

- Efron, B., and Tibshirani, R. J. (1994). **An introduction to the bootstrap**. New York, NY: Chapman & Hall/CRC. Retrieved from <https://doi.org/10.1201/9780429246593>
- Fader, P. S., and Hardie, B. G. S. (2013). RFM and CLV: Using behavioral data to manage customers for profit. **SSRN Electronic Journal**. Retrieved from <https://doi.org/10.2139/ssrn.2324336>
- Hanley, J. A., and McNeil, B. J. (1982). The meaning and use of the area under a receiver operating characteristic (ROC) curve. **Radiology**, 143(1), 29–36. doi: 10.1148/radiology.143.1.7063747
- He, H., and Garcia, E. (2009). Learning from imbalanced data. **IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering**, 21(9), 1263–1284. doi: 10.1109/TKDE.2008.239
- Ho, T., Nguyen, S., Nguyen, H., Nguyen, N., Man, D-S., and Le, T-G. (2023). An extended RFM model for customer behaviour and demographic analysis in retail industry. **Business Systems Research**, 14(1), 45-67. doi: 10.2478/bsrj-2023-0004
- Hosseini, S. M. S., Maleki, A., and Gholamian, M. R. (2010). Cluster analysis using data mining approach to develop CRM methodology to assess the customer loyalty. **Expert Systems with Applications**, 37(7), 5259-5264. doi: 10.1016/j.eswa.2009.12.070
- Kapoor, S., and Narayanan, A. (2023). Leakage and the reproducibility crisis in machine-learning-based science. **Patterns**, 4(9), 100804. doi: 10.1016/j.patter.2023.100804
- Kohavi, R. (1995). A study of cross-validation and bootstrap for accuracy estimation and model selection. In **Proceedings of the 14th International Joint Conference on Artificial Intelligence** (Vol. 2, pp. 1137–1145). Montreal, Canada: Morgan Kaufmann.
- Munde, S., and Kaur, H. (2024). Predictive analytics in business: Current trends and future directions. **Business Intelligence Journal**, 15(1), 45-62.
- Niculescu-Mizil, A., and Caruana, R. (2005). Predicting good probabilities with supervised learning. In **Proceedings of the 22nd International Conference on Machine Learning** (pp. 625–632). New York, NY: ACM Press.
- Rahim, M. A. (2021). RFM-based repurchase behavior for customer classification and segmentation. **Journal of Retailing and Consumer Services**, 61, 102574. doi: 10.1016/j.jretconser.2021.102574
- Ullah, A., Mohmand, M. I., Hussain, H., Johar, S., Khan, I., Ahmad, S., and Huda, S. (2023). Customer analysis using machine learning-based classification algorithms for effective segmentation using recency, frequency, monetary, and time. **Sensors**, 23(6), 3180. doi: 10.3390/s23063180
- Wong, C.-G., Tong, G.-K., and Haw, S.-C. (2024). Exploring customer segmentation in e-commerce using RFM analysis with clustering techniques. **Journal of Telecommunications and the Digital Economy**, 12(3), 97–125. doi: 10.18080/jtde.v12n3.978

ผลการทำแห้งผลหม่อนด้วยวิธีที่ต่างกันต่อปริมาณเรสเวราทรอลซึ่งตรวจ วิเคราะห์ด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง

Effects of Different Drying Methods on Resveratrol Content of Mulberry Fruits Determined by High-Performance Liquid Chromatography Technique

วิลาวรรณ สิมเชื้อ^{1*} ธีรภัทร์ อนุชาติ² ภัทรานุช พงสุข¹ และเปรมชัย มูลหล้า³

Wilaiwan Simchuer^{1*} Teerapat Anuchart² Pattranuch Pongsuk¹ and Premchai Moolla³

¹สาขาวิชาเคมีเครื่องสำอาง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย จังหวัดเลย 42000

²สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย จังหวัดเลย 42000

³สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย จังหวัดเลย 42000

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

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

³Program of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology,
Loei Rajabhat University, Loei Province, 42000

*Corresponding author E-mail: wilaiwan.sim@lru.ac.th

Received 9 May 2025, Accepted 28 October 2025, Published 18 June 2026

บทคัดย่อ

ผลหม่อนเป็นผลไม้ที่อุดมไปด้วยสารสำคัญหลายชนิดหนึ่งในนั้นคือเรสเวราทรอล ซึ่งเป็นสารที่ว่องไวต่ออนุมูลอิสระ หากอยู่ในอุณหภูมิที่ต่ำ หรือสูงเกินไปจะทำให้สลายตัวไปได้ ดังนั้นในกระบวนการทำแห้งผลหม่อนจึงมีผลต่อการคงอยู่ของสารเรสเวราทรอล การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาปริมาณเรสเวราทรอลที่สกัดได้จากผลหม่อนสายพันธุ์บุรีรัมย์ 60 ซึ่งเก็บตัวอย่างจากอำเภอกุหลาบ จังหวัดเลย โดยทำแห้ง 5 วิธีได้แก่ อบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส อบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 104 องศาเซลเซียส วิธีการตากแดด วิธีทำแห้งแบบเยือกแข็ง และการทำแห้งแบบลดความชื้นสัมพัทธ์ตัวอย่างผลหม่อนที่แห้ง นำมาบดละเอียดแล้วร่อนด้วยตะแกรงขนาด 100 เมช เพื่อควบคุมขนาดให้เท่ากัน จากนั้นนำมาสกัดด้วยสารละลายเมทานอล 60% ร่วมกับการใช้เครื่องอัลตราโซนิกช่วย เป็นเวลา 40 นาที จากนั้นแยกกากออก แล้วกรองส่วนใสที่ได้ด้วยกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมครอนเมตร นำไปวิเคราะห์ปริมาณเรสเวราทรอลด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง ตั้งค่าความยาวคลื่นของการจับสัญญาณที่ 306 นาโนเมตร ผลการวิเคราะห์เชิงปริมาณพบว่า วิธีทำแห้งของผลหม่อนที่ต่างกันทำให้ได้ปริมาณเรสเวราทรอลที่ต่างกัน ซึ่งการใช้ตู้อบลมร้อนส่งผลให้เรสเวราทรอลสลายตัวไปจึงตรวจไม่พบ มีเพียงวิธีทำแห้งแบบตากแดด วิธีทำแห้งแบบเยือกแข็ง และการทำแห้งแบบลดความชื้นสัมพัทธ์ที่ยังพบปริมาณเรสเวราทรอล ซึ่งมีค่าเท่ากับ 10.73 ± 0.61 mg/100g น้ำหนักแห้ง 12.29 ± 0.30 mg/100g น้ำหนักแห้ง และ 18.19 ± 0.10 mg/100g น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ผลการวิจัยครั้งนี้จึงสรุปได้ว่าวิธีที่เหมาะสมสำหรับการทำผลหม่อนให้แห้งแบบรักษารปริมาณเรสเวราทรอลไว้ได้คือ การทำแห้งแบบลดความชื้นสัมพัทธ์

คำสำคัญ : ผลหม่อน เรสเวราทรอล การทำแห้ง โครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง

ABSTRACT

Mulberries are fruits rich in many essential compounds, one of which is resveratrol. This compound is highly sensitive to temperature; exposure to either excessively low or high temperatures can cause it to degrade. Therefore, the drying process of mulberries has an impact on the retention of resveratrol. The objective of this study was to determine the amount of resveratrol extracted from the fruit of the Mulberry cultivar Buriram 60, which was sampling from Phu Luang District, Loei Province. The samples were dried using five methods: hot air drying at 80°C, hot air drying at 104°C, sun drying, freeze drying, and drying by reducing relative humidity. These dried mulberry fruits were ground finely and sieved through 100 mesh to achieve uniform particle size. They were then extracted with a 60% v/v methanol solution, utilizing ultrasonic assistance for 40 minutes. The solids were removed, and the clear extract was filtered through a 0.45-micron membrane filter prior to the analysis of resveratrol content using high-performance liquid chromatography (HPLC) at a detection wavelength of 306 nanometers. The quantitative analysis results indicated that different drying methods led to varying amounts of resveratrol. Exposure to the hot air oven caused significant degradation of resveratrol, resulting in its undetectability. Only the sun-drying method, freeze-drying method, and drying by reducing relative humidity still yielded detectable levels of resveratrol, with values of 10.73 ± 0.61 mg/100g DW, 12.29 ± 0.30 mg/100g DW, and 18.19 ± 0.10 mg/100g DW, respectively. Therefore, this study concludes that the most suitable method for drying mulberry fruit while preserving the resveratrol content is the drying method that reduces relative humidity.

Keywords: Mulberry, Resveratrol, Drying, High-Performance Liquid Chromatography

บทนำ

ผลหม่อนหรือมัลเบอร์รี่ (Mulberry fruit) อยู่ในวงศ์ Moraceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Morus alba* L. เป็นไม้ยืนต้นประเภทพุ่ม ลำต้นมีสีเขียวกว่าหรือสีน้ำตาล ใบมีสีเขียวเข้ม มีรูปร่างหลายแบบ หลายขนาดเมื่อดอกตัวเมียได้รับการผสมแล้วจะเปลี่ยนเป็นผล ซึ่งมีลักษณะเป็นผลรวม (กรมหม่อนไหม, 2552) ผลหม่อนมีปริมาณสาร Anthocyanins ในปริมาณมากเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจอุดตันและโรคมะเร็งช่วยต่อต้านอาการขาดเลือดในสมอง ฯลฯ และยังมีสารสำคัญอื่นๆ อีกหลายอย่าง เช่น สาร Resveratrol สาร Deoxy nojirimycin, สาร Phytosterol (ช่วยลดระดับคอเลสเตอรอล) สาร Polyphenols (สารต้านอนุมูลอิสระที่มีประโยชน์กับร่างกาย) สารประกอบฟีนอล (สารต้านอนุมูลอิสระ ช่วยต่อต้านอาการอักเสบ อาการเส้นเลือดโป่งพอง ช่วยยับยั้งเชื้อแบคทีเรียและไวรัส) สาร Quercetin และสาร Kaempferol ซึ่งเป็นสารในกลุ่ม ฟลาโวนอยด์ (เป็นสารที่ช่วยลดความเสี่ยงของการเกิดโรคหัวใจ ความดันโลหิต ป้องกันการเกิดลิ่มเลือดในหลอดเลือด ช่วยป้องกันการดูดซึมของน้ำตาลในลำไส้เล็ก ช่วยทำให้หลอดเลือดแข็งแรง ทำให้เลือดหมุนเวียนดี ยับยั้งการเกิด สารก่อมะเร็งเม็ดเลือด มะเร็งเต้านม มะเร็งลำไส้ใหญ่ ช่วยยืดอายุเม็ดเลือดขาว และลดอาการแพ้ต่าง ๆ (กันยวิชญ์ และสมชาย, 2556) และยังมีกรดโพลีกลูต ซึ่งช่วยทำให้เซลล์เม็ดเลือดแดงเจริญได้เต็มที่ จึงช่วยป้องกันโรคโลหิตจาง และยังช่วยให้เซลล์ประสาทไขสันหลังและเซลล์สมองเจริญเป็นปกติ (นันทน์ภัส, 2551; Amri, 2012; Gambini et al., 2015)

เรสเวราทรอล (Resveratrol) เป็นสารกลุ่ม Polyphenol ที่พบได้มากใน ผักไฟผู่ปุ่น (*Polygonum cuspi datum* Siebold & Zucc.) องุ่น และผลไม้ตระกูลเบอร์รี่ เช่น บลูเบอร์รี่ แครนเบอร์รี่ มัลเบอร์รี่ เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ได้จากกระบวนการผลิตไวน์ที่แตกต่างจากเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ชนิดอื่น ๆ และในไวน์แดงจะมีสารสำคัญตัวนี้มากที่สุด ประโยชน์ของเรสเวราทรอลในส่วนของด้านความงาม จะมีผลช่วยต้านอนุมูลอิสระ ป้องกันความเสื่อมสภาพจากรังสีอัลตราไวโอเล็ต ป้องกันการเกิดริ้วรอย ช่วยฟื้นฟูสภาพผิว ช่วยทำให้แลดูอ่อนวัยขึ้น สำหรับด้านสุขภาพเรสเวราทรอลจะมีคุณสมบัติเสริมสร้างระบบสมองและความจำ ป้องกันโรคอัลไซเมอร์ (Anekonda, 2006) ลดระดับความดันโลหิต ลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือด (Gambini et al., 2015)

งานวิจัยเรื่องการใช้เรสเวราทรอลในทางผิวหนังวิทยา ได้ทำการศึกษาผลกระทบการทำงาน นวัตกรรมการส่งยา และการใช้ทางคลินิก โดยเน้นการจัดการกับภาวะผิวหนังที่ซับซ้อน เช่น แผลเรื้อรัง โรคสะเก็ดเงิน โรคผิวหนังอักเสบ เมลานอมา และสิว การศึกษาในปี 2024-2025 แสดงให้เห็นถึงการพัฒนากระบวนการบอนุภาคนาโนสำหรับการส่งเรสเวราทรอลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการรักษาแผลเบาหวาน Brown et al. (2024) ได้ทำการทบทวนอย่างเป็นระบบตามแนวทาง PRISMA โดยค้นคว้างานวิจัยทางคลินิกทั้งหมดจนถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2023 พบว่าเรสเวราทรอลสามารถทนต่อการสลายตัวได้ดีในขนาดสูงสุดถึง 1 กรัมต่อวัน และสามารถลดการอักเสบได้อย่างสม่ำเสมอ ปัจจุบันมี 17 การทดลองทางคลินิกที่กำลังดำเนินการอยู่ (Brown et al., 2024) ครอบคลุมตั้งแต่การป้องกันการติดเชื้อทางเดินหายใจในเด็กไปจนถึงการรักษาภาวะรังไข่ล้มเหลวก่อนวัยอันควรโดย (Amin et al., 2024) ได้ทำการทดลองทางคลินิกแบบสุ่มมีกลุ่มควบคุมสี่กลุ่มในผู้ป่วยเบาหวาน 120 คน ที่เมืองซุลัยมานียาห์ ประเทศอิรัก โดยให้เรสเวราทรอล 500 มิลลิกรัมต่อวันร่วมกับการดูแลทางเภสัชกรรม ผลการศึกษาพบว่าเรสเวราทรอลมีฤทธิ์ลดน้ำตาลในเลือดผ่านการกระตุ้น SIRT1 (Kwon et al., 2017) และมีคุณสมบัติป้องกันเส้นประสาทในภาวะแทรกซ้อนของเบาหวาน งานวิจัยของ Ren et al. (2025) ได้ทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับสรรพคุณทางชีวภาพของเรสเวราทรอล (RES) ซึ่งเป็นสารโพลีฟีนอลธรรมชาติที่มีคุณสมบัติด้านการอักเสบ ต้านอนุมูลอิสระ และชะลอวัย โดยเรสเวราทรอลออกฤทธิ์ผ่านการปรับเปลี่ยนเส้นทางการส่งสัญญาณที่สำคัญ โดยเฉพาะการกระตุ้น Sirtuin 1 การศึกษาพบว่าเรสเวราทรอลมีศักยภาพในการลดความเครียดออกซิเดชัน การควบคุมการตายของเซลล์ และการส่งเสริมออโตฟาจี รวมถึงมีประสิทธิผลในการบรรเทาโรคกล้ามเนื้อและกระดูกเสื่อม โรคหัวใจและหลอดเลือด มะเร็ง และโรคทางระบบประสาท โดย Yu et al. (2024) ได้ทบทวนกิจกรรมทางชีวภาพหลายมิติของเรสเวราทรอล โดยเน้นที่การป้องกันและรักษาโรค รวมถึงเมตาบอลิซึมและประสิทธิภาพด้านชีวภาพ การศึกษาพบว่าจนถึงปี 2023 เป็นต้นมางานวิจัยเกี่ยวกับเรสเวราทรอลมุ่งเน้นการรักษาสุขภาพ การป้องกันโรค และการนำไปใช้ในการรักษา โดยเฉพาะผลต่อเบาหวานชนิดที่ 2 และการควบคุมน้ำตาลในเลือด ตามด้วยโรคหัวใจและหลอดเลือด การศึกษายังพบว่าคุณสมบัติด้านการอักเสบ ต้านอนุมูลอิสระ และป้องกันเส้นประสาทของ เรสเวราทรอลได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้น Zhu et al. (2025) ได้ทำการประเมินผลของเรสเวราทรอลต่อการอักเสบและความเครียดออกซิเดชันในผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 ช่วยรักษาสสมดุลของระดับน้ำตาลในเลือด เสริมสร้างระบบภูมิคุ้มกัน ช่วยทำลายเชื้อไวรัสและแบคทีเรีย บรรเทาอาการภูมิแพ้ สำหรับความเป็นพิษของเรสเวราทรอลต่อร่างกายนั้น พบว่า มีค่อนข้างต่ำ เนื่องจากมีความจำเพาะต่อเซลล์ เนื่องจากสารเรสเวราทรอลเป็นสารประกอบที่สกัดได้จากพืช (Phytoalexin) ที่มีคุณสมบัติเป็นสารปฏิชีวนะที่พืชสังเคราะห์ขึ้นเมื่อพืชได้รับอันตรายจากรังสียูวี หรือการติดเชื้อโรค (Amri et al., 2012) ดังนั้น จึงมีความปลอดภัยสูง ปริมาณของเรสเวราทรอลอาจแตกต่างกันอย่างมากขึ้นอยู่กับการศึกษา และแหล่งที่มาที่แตกต่างกัน

วิธีการทำแห้งอาหารนั้นมีมากมายหลายวิธี แต่ละวิธีมีข้อได้เปรียบ และเสียเปรียบแตกต่างกันไป (Janjarasskul and Suppakul, 2018) จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องเรียนรู้วิธีการทำแห้งแบบต่าง ๆ เพื่อเลือกใช้ให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์อาหารแห้งที่ต้องการผลิตขึ้นโดยต้องคำนึงถึงลักษณะวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต ลักษณะ และรูปแบบ ของผลิตภัณฑ์อาหารแห้งที่ต้องการ ซึ่งวิธีการทำแห้งอาหารนั้นอาจจำแนกออกได้เป็น 2 วิธีใหญ่ ๆ คือ การทำแห้งโดยอาศัยธรรมชาติ (Natural drying) และการทำแห้งโดยอาศัยเครื่องมือเครื่องจักรที่ประดิษฐ์ขึ้น (Artificial drying) (Yam, 2009)

1) การทำแห้งด้วยแสงแดด (Sun drying) นำไปตากให้แห้งโดยใช้แสงแดด วิธีการนี้ประหยัดพลังงานความร้อน แต่เนื้อตากแห้งที่ได้มักมีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์สูง หากตากไม่แห้งพอเมื่อเก็บไว้นานวัน อาจเสียได้ง่าย

2) การทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ตู้อบลมร้อนเป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับอบแห้งไล่ความชื้นออกจากอาหารซึ่งอาศัยหลักการหมุนเวียนอากาศ หรือลมร้อนที่สม่ำเสมอ ทำให้น้ำระเหยไปกับลมร้อนทางช่องระบายลมภายในตู้อบ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นลดลง สามารถยืดอายุการเก็บรักษา การอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนสามารถอบแห้งได้ในระยะเวลาที่เร็ว และสามารถควบคุมอุณหภูมิให้สม่ำเสมอตลอดระยะเวลาการอบ เหมาะสำหรับอาหารที่มีชิ้นใหญ่เป็นก้อน แผ่น หรือมีรูปร่างแน่นอน

3) การทำแห้งด้วยความเย็น (Freeze drying) หรือการแช่แข็งแล้วทำให้แห้งในสุญญากาศ เป็นวิธีการทำให้ตัวอย่างแห้งโดยการเหิด (Sublimation) น้ำออกจากตัวอย่าง ในสถานะที่เป็นน้ำแข็งในสภาพสุญญากาศ ตัวอย่างจะถูกทำให้เย็นลงจนถึงจุดเยือกแข็งโดยเร็ว จนน้ำภายในตัวอย่างกลายเป็นน้ำแข็ง น้ำแข็งเหล่านี้เมื่อได้รับความร้อนเพิ่มขึ้น และควบคุมความดันสุญญากาศให้เหมาะสมหรือควบคุมความดันให้เท่ากับหรือต่ำกว่าความดัน ณ จุดเปลี่ยนสถานะของน้ำ (Triple point of water) น้ำแข็งจะสามารถระเหิดกลายเป็นไอน้ำได้ โดยไม่ต้องเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวก่อน ผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้จะมีลักษณะเป็นรูพรุน โปร่ง คงรูปร่างเดิมได้ดี มีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 2.0 และสามารถดูดน้ำกลับคืนสู่สภาพเดิมได้ง่าย ดังนั้นจึงควรเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่ได้ในภาชนะที่บรรจุในสภาพสุญญากาศ (Vacuum packaging) การทำแห้งด้วยความเย็นนิยมใช้กับเนื้อสัตว์ที่นำไปใส่ในซูบ และผลิตภัณฑ์ที่มีราคาแพง ข้อดีของการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง กระบวนการแปรรูปและเก็บสินค้าด้วยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ทำให้สามารถรักษาคุณค่า ทางอาหารของผลิตภัณฑ์ได้ดี เนื่องจากกระบวนการทำให้แห้งโดยใช้อุณหภูมิต่ำทำให้เกิดการเสียคุณค่าทางอาหารของผลิตภัณฑ์ที่น้อย รวมถึงการเพิ่มอุณหภูมิในขั้นตอนสุดท้ายความชื้นที่เกิดขึ้นทำให้เนื้อเยื่อ และโครงสร้างของเซลล์เสียหายได้น้อยมาก (บริษัท หาญ เอ็นจิเนียริง โซลูชั่นส์ จำกัด (มหาชน), 2568)

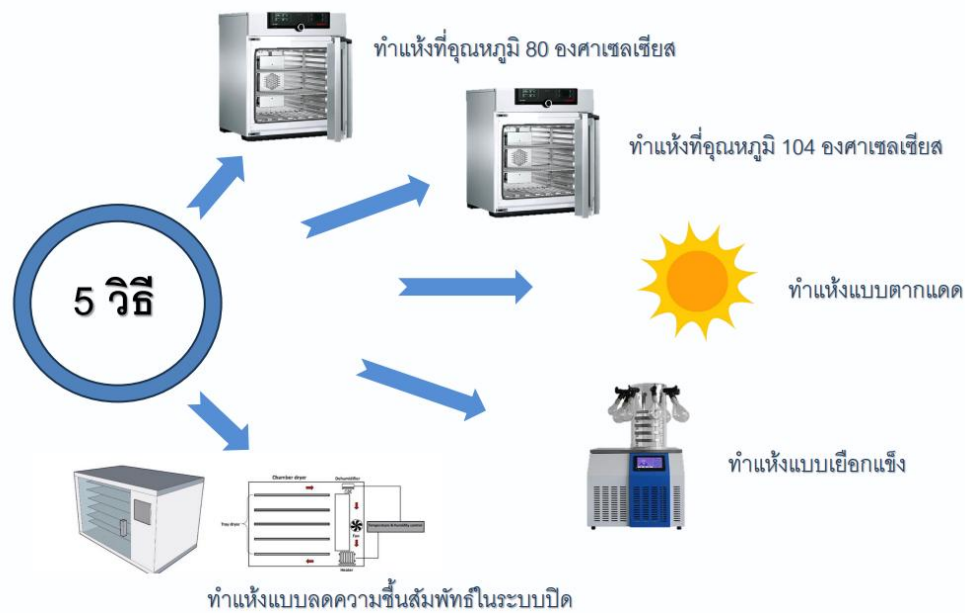
4) การทำแห้งแบบลดความชื้นสัมพัทธ์ในระบบปิด ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนแรกการลดความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (Dehumidifier) จะทำหน้าที่ลดความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ที่ได้จากการทำแห้งของผลิตภัณฑ์จะมีความชื้นที่สูง และส่วนที่สองฮีตเตอร์ทำหน้าที่ให้ความร้อนในการทำแห้ง มีพัดลมควบคุมความเร็วลมในการทำแห้ง มีระบบควบคุมความชื้นและอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้ง โดยมีช่วงอุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ 40-60% สามารถปรับความเร็วลมได้ โดยระบบจะเป็นระบบปิด ไม่มีการเติมและระบายอากาศ (ศิริพันธ์, 2557)

สารเรสเวอรารอลสามารถเสื่อมสลายไปตั้งแต่ขั้นตอนการทำแห้งและกระบวนการอื่น ๆ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาผลของกระบวนการทำแห้งต่อปริมาณเรสเวอรารอล เพื่อเป็นข้อมูลทางเลือกสำหรับวิธีทำผลหม่อนให้แห้ง แต่ยังคงรักษาสารเรสเวอรารอลให้มีความคงตัวสูงที่สุด

วิธีการวิจัย

ขั้นตอนการทำแห้งผลหม่อน

ในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการทำแห้ง 5 วิธี คือ 1) ทำแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส 2) ทำแห้งที่อุณหภูมิ 104 องศาเซลเซียส 3) ทำแห้งด้วยวิธีตากแดด 4) ทำแห้งแบบเยือกแข็ง และ 5) ทำแห้งแบบลดความชื้นสัมพัทธ์ในระบบปิด ตัวอย่างที่ใช้คือ ผลหม่อนสุกสีดำ สายพันธุ์เชียงใหม่ เก็บในเขตพื้นที่อำเภอภูหลวง จังหวัดเลย ขั้นตอนการทำแห้งผลหม่อนแสดงในภาพที่ 1 และภาพที่ 2 มีรายละเอียดดังนี้



ภาพที่ 1 วิธีการทำแห้งผลหม่อนทั้ง 5 วิธีการ

1. ทำแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

ซึ่งผลหม่อนสด 300 กรัม ใส่ในถาดอะลูมิเนียม นำเข้าตู้อบลมร้อนที่ปรับอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จากนั้นนำออกมาให้มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง แล้วชั่งน้ำหนักจนมีน้ำหนักคงที่บดให้ละเอียดโดยใช้โกร่งบดสารจากนั้นร่อนผ่านตะแกรง ขนาด 20 เมช แล้วเก็บไว้ในถุงซิปปเพื่อใช้ในการสกัดต่อไป

2. ทำแห้งที่อุณหภูมิ 104 องศาเซลเซียส

ซึ่งผลหม่อนสด 300 กรัม ใส่ในถาดอะลูมิเนียมนำเข้าตู้อบลมร้อนที่ปรับอุณหภูมิ 104 องศาเซลเซียส จากนั้นนำออกมาให้มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง แล้วชั่งน้ำหนักจนมีน้ำหนักคงที่บดให้ละเอียดโดยใช้โกร่งบดสาร ร่อนผ่านตะแกรง ขนาด 20 เมช แล้วเก็บไว้ในถุงซิปปเพื่อใช้ในการสกัดต่อไป

3. ทำแห้งแบบตากแดด

ซึ่งผลหม่อนสด 300 กรัม ใส่ในถาดอะลูมิเนียมนำไปตากแดดบันทึกเวลาตาก และอุณหภูมิ จากนั้นนำมาวางไว้ให้มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง ใส่ในตู้ดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักจนมีน้ำหนักคงที่ บดให้ละเอียดโดยใช้โกร่งบดสาร ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 20 เมช แล้วเก็บไว้ในถุงซิปปเพื่อใช้ในการสกัดต่อไป

4. ทำแห้งแบบเยือกแข็ง

ซึ่งผลหม่อนสด 300 กรัม ใส่ในขวดกันกลมแช่ไว้ในตู้เย็นที่มีอุณหภูมิติดลบ กระบวนการนี้จะต้องลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ให้ต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง (Freezing Point) อย่างรวดเร็ว เพื่อทำให้น้ำที่อยู่ข้างในเกิดเป็นผลึกน้ำแข็งขนาดเล็ก จากนั้นนำตัวอย่างที่เป็นน้ำแข็งไปใส่ในถาดวางตัวอย่างของเครื่องฟรีซดราย ความดันต่ำกว่า 0.100 mbar ปลอ่ยให้เครื่องทำงานจนสังเกตได้ว่าตัวอย่างแห้ง (จะไม่เหลือน้ำแข็งในชั้นของตัวอย่าง) จากนั้นปิดเครื่องแล้วนำตัวอย่างออกจากเครื่อง บดให้ละเอียดโดยใช้โกร่งบดสาร ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 20 เมชจากนั้นเก็บใส่ถุงซิปปเพื่อใช้ในการสกัดต่อไป

5. การทำแห้งแบบลดความชื้นสัมพัทธ์ในระบบปิด

ซึ่งผลหม่อนสด 300 กรัม ใส่ในถาดอะลูมิเนียม นำเข้าสู่ลดความชื้นสัมพัทธ์โดยอาศัยพัดลมดูดอากาศและความชื้นออกสู่ภายนอกตู้ ตู้ดังกล่าวถูกเชื่อมต่อกับระบบเครื่องชั่งและคอมพิวเตอร์เพื่อรายงานน้ำหนักที่เหลือ อุณหภูมิที่ใช้อบ 35 องศาเซลเซียสความชื้นสัมพัทธ์ 50% เมื่อผลหม่อนแห้ง (น้ำหนักคงที่) นำออกจากตู้บดให้ละเอียดโดยใช้โกรงบดสาร ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 20 เมช แล้วเก็บไว้ในถุงซิปล็อคเพื่อใช้ในการสกัดต่อไป



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างผลหม่อนให้เป็นผง

ขั้นตอนการสกัดผงหม่อนเพื่อวิเคราะห์ด้วย HPLC

นำผลหม่อนที่แห้งจากการทำแห้งด้วยวิธีการต่าง ๆ มาทำการสกัดเรสเวอราทรอลจากผลหม่อนเพื่อหาปริมาณเรสเวอราทรอล โดยซึ่งผลหม่อนที่บดละเอียดแล้วมา 0.5 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำละลายเมทานอล 60% ปริมาตร 25 มิลลิลิตร นำไปใส่ในเครื่องอัลตราโซนิก ช่วยในการสกัดเป็นเวลา 40 นาที กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 ทำการสกัด 3 ครั้ง จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรองชนิดไนลอน ขนาด 0.45 ไมครอน ก่อนฉีดเข้าเครื่องโครมาโทกราฟของเหลวสมรรถนะสูง โดยใช้เครื่อง Shimadzu HPLC (High-Performance Liquid Chromatography) รุ่น LC20-A ใช้ส่วนตรวจวัดของเครื่องแบบ UV-Visible spectrophotometer รุ่น SPD 20AV ซึ่งตั้งสภาวะการวิเคราะห์ดังตารางที่ 1



ภาพที่ 3 ขั้นตอนการสกัดตัวอย่างผงหม่อนเพื่อวิเคราะห์ด้วย HPLC

ตารางที่ 1 สภาวะการวิเคราะห์ปริมาณเรสเวอราทรอลด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง

รายการ	รายละเอียด
Column	C18 column (250 x 4.6 mm, 5 µm)
Injection volume	20 µL
Mobile phase flow rate	1.0 mL/min
Detection wavelength	306 nm
Mobile phase	1% acetic acid: acetonitrile (45:55%)

ผลการวิจัย และวิจารณ์ผลการวิจัย

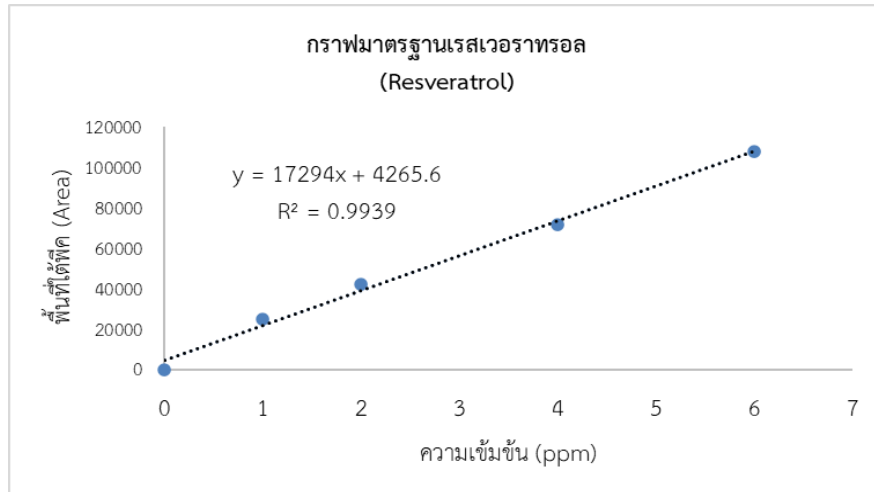
การวิเคราะห์หาปริมาณเรสเวอราทรอลโดยใช้กระบวนการทำแห้งผลหม่อนที่แตกต่างกันวิเคราะห์เชิงปริมาณโดยใช้เทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) ได้ผลการดำเนินงานวิจัยมีดังต่อไปนี้

จากการทดลองนำสารละลายมาตรฐานเรสเวอราทรอล ซึ่งมีความเข้มข้น 1 2 4 และ 6 ppm โดยใช้เทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High Performance Liquid Chromatography : HPLC) โดยใช้เฟสเคลื่อนที่เป็นสารละลาย 1% Acetic acid : Acetonitrile (45:55%) อัตราการไหล 1.0 mL/min โดยตรวจวัดที่ความยาวคลื่น 306 nm แล้วนำค่าที่ได้มาสร้างกราฟมาตรฐาน ผลการทดลองพบว่า Retention time ของสารมาตรฐานเรสเวอราทรอลแสดงสัญญาณที่เวลา 3.98 นาที และพื้นที่ใต้พีคของแต่ละความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเรสเวอราทรอล แสดงดังตารางที่ 2 และในภาพที่ 4 ตามลำดับ

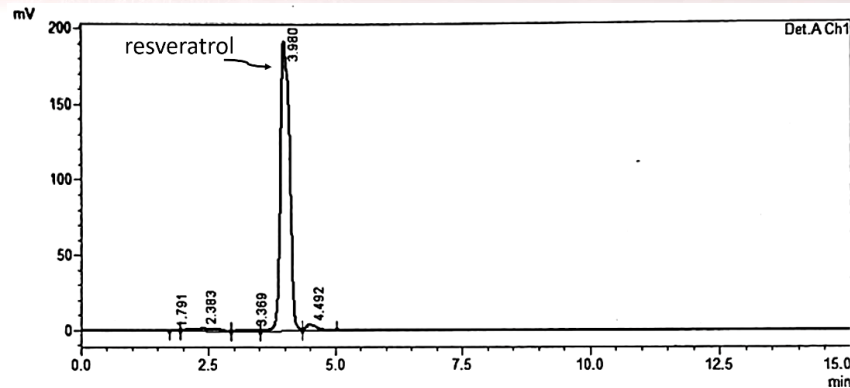
ตารางที่ 2 พื้นที่ใต้พีคของสารละลายมาตรฐานเรสเวราทรอล

ความเข้มข้น (ppm)	พื้นที่ใต้พีค
0	0
1	25,030
2	41,838
4	71,592
6	107,688
ค่า LOD (ppm)	1.45
ค่า LOQ (ppm)	4.35

จากการนำข้อมูลในตารางที่ 2 ไปสร้างกราฟมาตรฐานและหาสมการเส้นตรงเพื่อนำไปคำนวณปริมาณเรสเวราทรอลในสารสกัดจากผลไม้ได้สมการเป็น $y = 17294x + 4265.6$ และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.9939 ($R^2 = 0.9939$) และจากภาพที่ 5 สัญญาณของเรสเวราทรอล ปรากฏที่เวลา 3.980 นาที จากผลการวิเคราะห์ปริมาณสารเรสเวราทรอลในสารสกัดตัวอย่างผลไม้ผ่านกระบวนการทำแห้งด้วยวิธีที่แตกต่างกัน ได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 3 และภาพที่ 6 ตามลำดับ ผลการวิจัยพบว่าการทำแห้งผลไม้ที่อุณหภูมิ 80 และ 104 องศาเซลเซียส ไม่พบปริมาณสารเรสเวราทรอล ส่วนการทำแห้งแบบตากแดด แบบเยือกแข็ง และแบบลดความชื้นสัมพัทธ์ในระบบปิด พบปริมาณสารเรสเวราทรอลเท่ากับ 10.73 ± 0.61 12.29 ± 0.30 และ 18.19 ± 0.10 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง ($\text{mg}/100\text{g DW} \pm \text{S.D.}$) ตามลำดับ



ภาพที่ 4 กราฟมาตรฐานเรสเวราทรอล (Resveratrol)

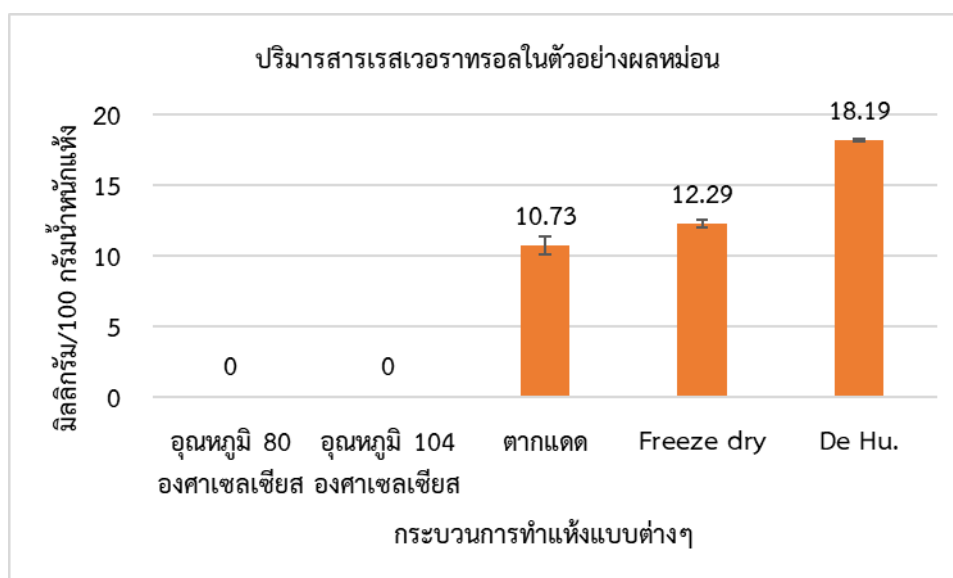


ภาพที่ 5 HPLC Chromatogram ของสารมาตรฐาน เรสเวราทรอล

ตารางที่ 3 ปริมาณสารเรสเวราทรอลจากการทำแห้งผลหม่อนแต่ละกระบวนการ

กระบวนการทำแห้ง	ปริมาณเรสเวราทรอล (mg/100g DW±S.D.)
ทำแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส	ไม่พบปริมาณเรสเวราทรอล
ทำแห้งที่อุณหภูมิ 104 องศาเซลเซียส	ไม่พบปริมาณเรสเวราทรอล
ทำแห้งแบบตากแดด	10.73±0.61
ทำแห้งแบบเยือกแข็ง	12.29±0.30
การทำแห้งแบบลดความชื้นสัมพัทธ์ในระบบปิด	18.19±0.10

เมื่อนำข้อมูลจากตารางที่ 3 ไปสร้างเป็นแผนภูมิแท่งเพื่อเปรียบเทียบปริมาณสารเรสเวราทรอลที่ตรวจพบในตัวอย่างผลหม่อนที่ผ่านกระบวนการทำแห้งด้วยวิธีการที่แตกต่างกันได้ผลดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 แผนภูมิเปรียบเทียบปริมาณเรสเวราทรอลในการทำแห้งผลหม่อนแต่ละกระบวนการ

จากการวิเคราะห์หาปริมาณเรสเวราทรอลในตัวอย่างผลหม่อน โดยทำการเก็บตัวอย่างในเขตอำเภอกุหลาบ จังหวัดเลย ได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณเรสเวราทรอล โดยใช้เครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High Performance Liquid Chromatography, HPLC) ผลการทดลองพบว่า ปริมาณเรสเวราทรอลพบในกระบวนการทำแห้งผลหม่อนแบบลดความชื้นสัมพัทธ์ในระบบปิด มีค่าเท่ากับ 18.19 ± 0.10 mg/100g DW พบในกระบวนการทำแห้งผลหม่อนแบบเยือกแข็งมีค่าเท่ากับ 12.29 ± 0.30 mg/100g DW กระบวนการทำแห้งผลหม่อนแบบตากแดดมีค่าเท่ากับ 10.73 ± 0.61 mg/100g DW และในกระบวนการทำแห้งผลหม่อนแบบอบที่อุณหภูมิ 80 และ 104 องศาเซลเซียส ไม่พบปริมาณเรสเวราทรอล ทั้งนี้เนื่องจากสารเรสเวราทรอล เป็นสารที่สลายตัวเมื่อเจอกับอุณหภูมิต่ำกว่า 4 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเกิน 40 องศาเซลเซียส

ผลการวิเคราะห์ความแม่นยำ แสดงในตารางที่ 4 พบว่าปริมาณเรสเวราทรอลในตัวอย่างผลหม่อนแต่ละกระบวนการทำแห้ง ร้อยละการกลับคืน (% Recovery) ของกระบวนการทำแห้งผลหม่อนแบบตากแดดมีค่าเท่ากับ 92.58 กระบวนการทำแห้งแบบเยือกแข็งมีค่าเท่ากับ 95.56 และกระบวนการทำแห้งผลหม่อนแบบลดความชื้นสัมพัทธ์ในระบบปิดมีค่าเท่ากับ 108.57 ซึ่งค่าที่ทั้งหมดอยู่ในช่วง 80–110% ซึ่งเป็นค่าที่สามารถยอมรับได้ ผลการวิเคราะห์ LOD มีค่าเท่ากับ 1.45 ผลการวิเคราะห์ LOQ มีค่าเท่ากับ 4.35 ppm ตามลำดับ (แสดงในตารางที่ 1)

ตารางที่ 4 ค่าร้อยละการกลับคืนของเรสเวราทรอลในตัวอย่างผลหม่อนแต่ละกระบวนการ

กระบวนการ ทำแห้งผลหม่อน	ค่าพื้นที่ใต้พีค Area	ผลที่ได้จากการ ทดลอง (ppm)	ผลที่ได้จากทฤษฎี (ppm)	%Recovery
ทำแห้งแบบตากแดด	13,277	5.26	5.68	92.58
ทำแห้งแบบเยือกแข็ง	24,210	5.83	6.10	95.56
ทำแห้งแบบลดความชื้น สัมพัทธ์ในระบบปิด	32,546	6.97	6.42	108.57

จากการวิเคราะห์หาปริมาณเรสเวราทรอลจากตัวอย่างผลหม่อนซึ่งทั้งห้ากระบวนการทำแห้งที่เปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นๆ ทั้งนี้จะมีปริมาณแตกต่างกันออกไป ซึ่งผลของการทำการทดลองในครั้งนี้ให้ผลการหาปริมาณเรสเวราทรอลได้คล้ายกับ สมชาย และคณะ ในปี พ.ศ. 2566 (กันยวิชัย และสมชาย, 2556 ; ศิริพันธ์, 2557) ผลการศึกษาพบว่า การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (4 องศาเซลเซียส) ยังคงมีเรสเวราทรอล และแอนโทไซยานิน รวมทั้งความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ อยู่สูงกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงกว่า (25 และ 35 องศาเซลเซียส) โดยมีเรสเวราทรอลคงเหลืออยู่ 96.10% และแอนโทไซยานิน คงเหลืออยู่ 56.94% ของผงเริ่มต้น ซึ่งอาจเป็นเพราะจากการสกัด วิธีการสกัด บางชนิดอาจพบมากพบน้อย อย่างไรก็ตามยังมีปัจจัยอีกหลายประการ ไม่ว่าจะเป็นแหล่งกำเนิดตัวอย่าง การบรรจุภัณฑ์ และการเก็บรักษาที่ส่งผลต่อปริมาณเรสเวราทรอล และจากการศึกษาของ Zupančič et al. (2015) ได้รายงานการทดลองเกี่ยวกับความคงตัวและค่าการละลายของทรานส์-เรสเวราทรอล ได้รายงานว่าทรานส์-เรสเวราทรอลสามารถคงตัวอยู่ได้ 28 วัน เมื่อมี pH เป็น 1 3.5 และ 7 ในขณะที่ทรานส์-เรสเวราทรอลสามารถคงตัวอยู่ได้ 1.6 ชั่วโมง เมื่อมี pH เป็น 10 ข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้จึงเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ต่อการวิจัยและการพัฒนาต่อไป

สรุปผลการวิจัย

การวิเคราะห์ปริมาณเรสเวอราทรอลในตัวอย่างผลหม่อน โดยทำการเก็บตัวอย่างในเขตอำเภอกุหลาบ จังหวัดเลย ได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณเรสเวอราทรอล โดยใช้เครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง ในการวิเคราะห์หาปริมาณเรสเวอราทรอลในตัวอย่างผลหม่อนที่สกัดด้วยตัวทำละลาย methanol 60% และใช้ Sonicate ช่วยในการสกัด ใช้เวลาสกัดเป็นเวลา 40 นาที และกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 ก่อนนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค High Performance Liquid Chromatography (HPLC) คอลัมน์ C18 Octadecyl HPLC Column ขนาด 4.6mm x 250 mm, 5 μ m โดยใช้ Mobile Phase เป็น Acetic acid 1% : Acetonitrile ในอัตราส่วน 45:55 % อัตราการไหล 1.0 mL/min และตรวจวัดที่ความยาวคลื่น 306 nm ผลการวิเคราะห์ที่ได้ผลดังตารางที่ 3 พบว่าปริมาณเรสเวอราทรอลในกระบวนการทำแห้งแบบลดความชื้นสัมพัทธ์ในระบบปิดมีปริมาณสูงที่สุดคือ 18.19 ± 0.10 mg/100g DW และกระบวนการทำแห้งแบบอบที่อุณหภูมิ 80 และ 104 องศาเซลเซียส ไม่พบปริมาณเรสเวอราทรอล อาจเป็นเพราะคุณสมบัติของเรสเวอราทรอลที่ไม่คงทนต่อแสง ความร้อน และมีค่าการละลายน้ำที่ต่ำ และสลายตัวได้ง่าย ผลการวิเคราะห์ความแม่นยำ พบว่าปริมาณเรสเวอราทรอลในตัวอย่างผลหม่อนแต่ละกระบวนการทำแห้งมีร้อยละการกลับคืน (%Recovery) ของกระบวนการทำแห้งผลหม่อนแบบตากแดดมีค่าเท่ากับ 92.58 กระบวนการทำแห้งแบบเยือกแข็งมีค่าเท่ากับ 95.56% และกระบวนการทำแห้งผลหม่อนแบบลดความชื้นสัมพัทธ์ในระบบปิดมีค่าเท่ากับ 108.57% ซึ่งค่าที่ทั้งหมดอยู่ในช่วง 80–110% ซึ่งเป็นค่าที่สามารถยอมรับได้ ผลการวิเคราะห์ LOD มีค่าเท่ากับ 1.45 ผลการวิเคราะห์ LOQ มีค่าเท่ากับ 4.35 ppm (ตารางที่ 1)

ข้อเสนอแนะ

กระบวนการทำแห้งในแต่ละวิธีมีผลต่อปริมาณสารสำคัญในผลหม่อน นอกจากติดตามปริมาณสารเรสเวอราทรอลแล้ว สามารถติดตามปริมาณแอนโธไซยานิน หรือสารชนิดอื่นเพิ่มเติม หรือออกแบบการสกัดโดยใช้วิธีสกัดแบบอื่นๆเพื่อให้ได้ข้อมูลเพิ่มเติม

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยและคณะขอขอบคุณกองทุนสนับสนุนการวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏเลยที่ให้ทุนสนับสนุนสำหรับสารเคมีและวัสดุดิบ รวมทั้งสิ่งสนับสนุนอื่นๆในการวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณกลุ่มบ้านไร่ปลูกรักวิทยุหอ อำเภอกุหลาบ จังหวัดเลย ที่สนับสนุนผลหม่อนในการวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณ คุณณัฐธิดา เพียรจำ ที่มีส่วนช่วยในการเตรียมตัวอย่างผลหม่อนให้แห้งสำหรับการวิเคราะห์สารสำคัญ ท้ายนี้การวิจัยในครั้งนี้ไม่มีข้อขัดแย้งใด ๆ

เอกสารอ้างอิง

- กันยวิญญู กันจันะ และสมชาย จอมดวง. (2556). การเปรียบเทียบการผลิตหม่อนผงโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบถาดและ เครื่องอบแห้งแบบสูญญากาศที่ใช้อินฟราเรด.วารสารอุตสาหกรรมเกษตรมหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 4(1): 1-8.
- กรมหม่อนไหม. (2552). ข้อมูลพันธุ์หม่อน-พันธุ์ไหมอนุรักษ์. ค้นจาก<https://qsds.go.th/monmaiseed>.
- นันทน์ภัส เต็มวงศ์. (2551). ปริมาณรวมของสารต้านอนุมูลอิสระสารประกอบฟีนอลิกส์ และวิตามินซีในผักและ สมุนไพร. วารสารก้าวทันโลกวิทยาศาสตร์, 8(1), 1-45.
- บริษัท หาญ เอ็นจิเนียริ่ง โซลูชั่นส์ จำกัด (มหาชน). (2568). ทำความรู้จักกับการทำแห้งแบบ แช่เยือกแข็ง (Freeze Dry) ค้นจาก <https://www.harn.co.th/articles/getting-to-know-freeze-dry>
- ศิริพันธ์ มุราธัญลักษณ์. (2557). การอบแห้งผลหม่อนด้วยเครื่องอบแห้งอุณหภูมิต่ำ. คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง: กรุงเทพฯ.

- Amin, G. S. M., Marouf, B. H., Namiq, H. S., and Salih, J. M. (2024). Impact of resveratrol and pharmaceutical care on type 2 diabetes mellitus and its neuropathic complication: A randomized placebo controlled clinical trial. **Journal of Clinical Pharmacy and Therapeutics**, 2024(1), 7739710. doi: 10.1155/2024/7739710
- Amri, A., Chaumeil, J. C., Sfar, S., and Charrueau, C. (2012). Administration of resveratrol: What formulation solutions to bioavailability limitations?. **Journal of Controlled Release**, 158(2), 182–193. doi: 10.1016/j.jconrel.2011.09.083
- Anekonda, T. S. (2006). Resveratrol—A boon for treating Alzheimer’s disease?. **Brain Research Reviews**, 52(2), 316–326. doi: 10.1016/j.brainresrev.2006.04.004
- Brown, K., Theofanous, D., Britton, R. G., Aburido, G., Pepper, C., Sri Undru, S., and Howells, L. (2024). Resveratrol for the management of human health: How far have we come? A systematic review of resveratrol clinical trials to highlight gaps and opportunities. **International Journal of Molecular Sciences**, 25(2), 747. doi: 10.3390/ijms25020747
- Gambini, J., Inglés, M., Olaso, G., Lopez-Grueso, R., Bonet-Costa, V., Gimeno-Mallench, L., ... Borrás, C. (2015). Properties of resveratrol: In vitro and In vivo studies about metabolism, bioavailability, and biological effects in animal models and humans. **Oxidative Medicine and Cellular Longevity**, 2015, 1–13. doi: 10.1155/2015/837042
- Janjarasskul, T., and Suppakul, P. (2018). Active and intelligent packaging: The indication of quality and safety. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 58(5), 808–831. doi: 10.1080/10408398.2016.1225278
- Kwon, S. H., Choi, H. R., Kang, Y. A., and Park, K. C. (2017). Depigmenting effect of resveratrol is dependent on FOXO3a activation without SIRT1 activation. **International Journal of Molecular Sciences**, 18(6), 1213. doi: 10.3390/ijms18061213
- Ren, Z., Zheng, S., Sun, Z., Luo, Y., Wang, Y., Yi, P., ... Xiao, W. (2025). Resveratrol: molecular mechanisms, health benefits, and potential adverse effects. **Medicine communications**, 6(6), e70252. doi: 10.1002/mco2.70252
- Yam, K. L. (Ed.). (2009). **The Wiley encyclopedia of packaging technology**. (3rd ed). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Yu, X., Jia, Y., and Ren, F. (2024). Multidimensional biological activities of resveratrol and its prospects and challenges in the health field. **Frontiers in Nutrition**, 11, 1408651. doi: 10.3389/fnut.2024.1408651
- Zhu, P., Jin, Y., Sun, J., and Zhou, X. (2025). The efficacy of resveratrol supplementation on inflammation and oxidative stress in type-2 diabetes mellitus patients: Randomized double-blind placebo meta-analysis. **Frontiers in Endocrinology**, 15, 1463027. doi: 10.3389/fendo.2024.1463027
- Zupančič, Š., Lavrič, Z., and Kristl, J. (2015). Stability and solubility of trans-resveratrol are strongly influenced by pH and temperature. **European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics**, 93, 196–204. doi: 10.1016/j.ejpb.2015.04.002

**Journal of Science,
Engineering and Technology**

LOEI RAJABHAT UNIVERSITY