



PBRU Science Journal

ปีที่ 23 ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม – มิถุนายน 2569

Volume 23 Number 1 January - June 2026

ISSN 2773-9716 (online)

Faculty of Science and Technology
Phetchaburi Rajabhat University



PBRU Science Journal

ปีที่ 23 ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม – มิถุนายน 2569

Volume 23 Number 1 January - June 2026

ISSN 2773-9716 (online)

1. การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งในการพัฒนาตู้เลี้ยงจิ้งหรีดอัตโนมัติ
เปรม อึ้งเวชชากุล, กิตติคุณ บุญเกตุ และ กรกช ศิลปะกอบ* 1-16
2. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสถิติทดสอบที่อิงวิธีการสุ่มตัวอย่างซ้ำสำหรับแผนแบบบล็อก
สมบูรณ์เชิงสุ่มภายใต้ข้อมูลที่มีการแจกแจงล็อกนอร์มัล
ธนพร เพ็งรักษ์ และ บำรุงศักดิ์ เผื่อนอารีย์* 17-29
3. การพัฒนาระบบติดตามเครื่องมือผ่าตัดด้วยเทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อสนับสนุนการบริหารจัดการใน
แผนกผ่าตัดเล็ก กรณีศึกษาโรงพยาบาลรัฐแห่งหนึ่งในจังหวัดกาญจนบุรี
ชามนิธิศ ปรางทอง, วิยะดา พลชัย, นิรุตต์ จรเจริญ*, มาลินี คำเครือ, พิศาล คงเอียด
และ ณรงค์ พันธุ์คง 30-46
4. การพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับค้นหาร้านค้าและบริการในจังหวัดหนองบัวลำภู
สำราญ เลิศคอนสาร, นุชรี พิทักษ์, ศรายุทธ อินตะนัย และ ชวาร์ัฐ ขวัญนาค* 47-57
5. ปริมาณฟีนอลิกรวม ฟลาโวนอยด์รวม และฤทธิ์ยับยั้งอนุมูลอิสระของสารสกัดกาวไหม
จากไหมป่าอีรี (*Samia ricini*) ด้วยเทคนิคการสกัดที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม
สุนทรต์ ชูลักษณ์* และ สุชาวลี ชูลักษณ์ 58-75
6. Anatomical Specialization of *Myristica fragrans* Houtt. Extracts: Targeted
Antimicrobial Efficacy Against Veterinary Cutaneous Pathogens
Amon Praduptong, Kanthapan Ubolrat, Chaiwat Boonkaewwan,
Sudararat Chaichalerm and Atchaya Rapichai* 76-92
7. การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีไฟรเวทบล็อกเชน สำหรับบันทึกเอกสารควบคุมในองค์กร
อรทัย ใบศิลา, ปริญา นาโท และ แสงทอง บุญยิ่ง* 93-107

บทความวิชาการ

1. ความท้าทายในการออกแบบระบบประเมินผลการปฏิบัติงานภาครัฐ: บทวิเคราะห์
ประเด็นปัญหา UX/UI และผลกระทบต่อบุคลากร
พันธ์ศักดิ์ พึ่งงาม 108-123



PBRU Science Journal

ปีที่ 23 ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม – มิถุนายน 2569

Volume 22 Number 1 January - June 2026

ISSN 2773-9716 (online)

ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร. พชรศักดิ์ อาลัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ณรงค์ ไกรเนตร์
อาจารย์ ดร.ไกรฤกษ์ ทวีเชื้อ

อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

บรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุษกร อู่ยวงษ์

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

รองบรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กนกรัตน์ จิรสังจานกุล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุคนธา สุคนธ์ธारा
ผู้ช่วยศาสตราจารย์เมษิยา แยมเจริญกิจ
อาจารย์ ดร.สมิตานันท์ จันทะบุรี

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

นางสาวอรุณี แก้วบริสุทธิ์

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.จรรยา จักรมณี
ศาสตราจารย์ ดร.ปรัชญนันท์ นิลสุข
ศาสตราจารย์ ดร.ปรินทร์ ชัยวิสุทธิธากุล
ศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ภูวไพโรศศิริกุล
รองศาสตราจารย์ ดร.จินตนา วิบูลย์ศิริกุล
รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐรณนธ์ หงส์วริทธิ์ธร
รองศาสตราจารย์ ดร.วราห์ เทพาหุดี
รองศาสตราจารย์ ดร.อนุพันธ์ กงบังเกิด
รองศาสตราจารย์ ดร.อโนมา ดงแสนสุข
รองศาสตราจารย์ ดร.อภิรักษ์ ลิ้มมงคล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลวดี แก้วก่า
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฬาลักษณ์ ปราบเสียง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉลองชัย กล้าณรงค์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราณี นางงาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัทราวดี ศรีมีเทียน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรสิทธิ์ โทจำปา
อาจารย์ ดร.พิรวิทย์ เชื้อวงศ์บุญ

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยนเรศวร
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
มหาวิทยาลัยนเรศวร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
มหาวิทยาลัยนเรศวร
มหาวิทยาลัยราชชนครินทร์
มหาวิทยาลัยนเรศวร
มหาวิทยาลัยศิลปากร



PBRU Science Journal

ปีที่ 23 ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม – มิถุนายน 2569

Volume 23 Number 1 January - June 2026

ISSN 2773-9716 (online)

สำนักงานกองบรรณาธิการ

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี 76000

โทรศัพท์ 0 3270 8633 โทรสาร 0 3270 8661

เว็บไซต์ <http://sciencejournal.pbru.ac.th>

อีเมล sciencejournal@mail.pbru.ac.th

ข้อมูลผู้พิมพ์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี 76000

โทรศัพท์ 0 3270 8633 โทรสาร 0 3270 8661

วัตถุประสงค์ และขอบเขตของวารสาร

PBRU Science Journal เป็นวารสารที่จัดทำโดย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นแหล่งเผยแพร่ผลงานทางวิชาการที่มีคุณค่า และเพื่อนำไปสู่การพัฒนาค้นคว้าความรู้ใหม่และนวัตกรรมที่ทันสมัย ซึ่งผลงานที่สามารถเผยแพร่ในวารสารมีทั้งบทความวิจัย (research article) ทางด้านวิทยาศาสตร์ เกษตรศาสตร์ เคมี ชีววิทยา จุลชีววิทยา คณิตศาสตร์ สถิติ คอมพิวเตอร์ และเทคโนโลยีสารสนเทศ โดยบทความที่จะขอรับการตีพิมพ์ ต้องเป็นผลงานที่ไม่ได้ทำการคัดลอกจากผลงานของผู้อื่น ต้องไม่เคยเผยแพร่ในวารสารใดมาก่อน และไม่อยู่ระหว่างการพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารอื่น โดยทุกบทความต้องผ่านการบรรณาการตรวจสอบความถูกต้องทางวิชาการจากคณะผู้เชี่ยวชาญในแต่ละสาขาที่เกี่ยวข้อง

กำหนดการตีพิมพ์

2 ฉบับ/ปี ดังนี้ ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน

ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม

-บทความทุกเรื่องในวารสารฉบับนี้ ได้รับพิจารณาประเมินคุณภาพทางวิชาการก่อนการตีพิมพ์ โดยผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Review) ตามสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องจากภายใน หรือภายนอกมหาวิทยาลัย จำนวน 3 ท่านต่อ 1 บทความ

-บทความและแนวคิดใด ๆ ที่พิมพ์ใน PBRU Science Journal เป็นความรับผิดชอบของผู้แต่ง

-กองบรรณาธิการวารสารไม่สงวนสิทธิ์ ในการคัดลอกเพื่อการพัฒนาเชิงวิชาการ แต่ต้องได้รับการอ้างอิงอย่างถูกต้อง

-เรียกเก็บค่าธรรมเนียมการเผยแพร่บทความวารสาร PBRU Science Journal

บุคคลภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี 2,000 บาท

บุคคลภายนอกมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี 2,500 บาท

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งในการพัฒนาตู้เลี้ยงจิ้งหรีดอัตโนมัติ

Application of Internet of Things Technology in Developing an Automated Cricket Breeding Cabinet

เปรม อิงคเวชชากุล¹ กิตติคุณ บุญเกต² และ กรกช ศิลปกอบ^{*3}

Prem Enkvetchakul¹ Kittikoon Boonkate² and Korakoch Silpakob^{*3}

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

²สาขาวิชาสถิติและวิทยาการสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

³กลุ่มวิชาทดสอบ และวิจัยการศึกษา คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

¹ Department of Information Technology, Faculty of Science, Buriram Rajabhat University

² Department of Statistics and Information Science, Faculty of Science, Buriram Rajabhat University

³ Department of Educational Testing and Research, Faculty of Education, Buriram Rajabhat University

*Corresponding author; E-mail: korakoch.sk@bru.ac.th

Received: 24 November 2025 /Revised: 11 January 2026 /Accepted: 06 February 2026

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) สร้างองค์ความรู้เกี่ยวกับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ในการควบคุมสภาพแวดล้อมของการเลี้ยงจิ้งหรีด 2) ออกแบบและพัฒนาตู้เลี้ยงจิ้งหรีดอัตโนมัติที่สามารถควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นได้อย่างเหมาะสม 3) ถ่ายทอดเทคโนโลยีและองค์ความรู้ให้กับกลุ่มเกษตรกรในชุมชน และ 4) ประเมิน ประสิทธิภาพและความพึงพอใจต่อระบบที่พัฒนา การวิจัยเป็นแบบ วิจัยและพัฒนา (R&D) ใช้แนวทาง การวิจัยเชิง ปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม (PAR) ดำเนินการในพื้นที่ชุมชนบ้านหนองใหญ่ ตำบลหนองใหญ่ อำเภอสตึก จังหวัดบุรีรัมย์ โดยใช้บอร์ด NodeMCU ESP8266 เชื่อมต่อกับเซนเซอร์ DHT11 เพื่อวัดอุณหภูมิและความชื้นภายในตู้เลี้ยง พร้อม ควบคุมอุปกรณ์พัดลมและหลอดไฟอินฟราเรดผ่าน โมดูลรีเลย์ ระบบสามารถเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตและแสดงผลแบบ เรียลไทม์ผ่านแอปพลิเคชัน Blynk บนสมาร์ตโฟน ผลการดำเนินงานพบว่า ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถควบคุมอุณหภูมิและ ความชื้นให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม (25–35 องศาเซลเซียส) ได้อย่างอัตโนมัติ ลดภาระแรงงานและเวลาในการดูแลฟาร์ม จิ้งหรีดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน พบว่าระบบมีประสิทธิภาพโดยรวมอยู่ในระดับ ดี ($\bar{x} = 4.47$, S.D. = 0.54) ขณะที่เกษตรกรจำนวน 50 คนที่เข้าร่วมกิจกรรมถ่ายทอดเทคโนโลยีมีความพึงพอใจต่อระบบใน ระดับ ดี ($\bar{x} = 4.49$, S.D. = 0.49) โดยเฉพาะด้านประโยชน์ที่ได้รับ เช่น การลดเวลาในการดูแล การลดต้นทุน และการเพิ่ม คุณภาพผลผลิต ตลอดจนเห็นว่าระบบมีความสะดวกต่อการใช้งานและสามารถนำไปขยายผลในชุมชนได้จริง

คำสำคัญ: อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ตู้เลี้ยงจิ้งหรีดอัตโนมัติ ฟาร์มอัจฉริยะ

Abstract

This research aimed to 1) create knowledge on the application of Internet of Things (IoT) technology for controlling environmental conditions in cricket farming, 2) design and develop an automatic cricket farming cabinet capable of controlling temperature and humidity appropriately, 3) transfer the developed technology and knowledge to local farmers, and 4) evaluate the system's efficiency and user satisfaction. The study was conducted using a Research and Development (R&D) approach combined with Participatory Action Research (PAR) in Nong Kab Village, Nong Yai Subdistrict, Satuek District, Buriram Province. The system was developed using a NodeMCU ESP8266 microcontroller connected with a DHT11 sensor to measure temperature and humidity inside the cabinet. It controlled the fan and infrared lamp via a relay module and connected to the Internet for real-time monitoring through the Blynk application on smartphones. The results revealed that the developed system could automatically maintain temperature and humidity within the optimal range (25–35°C), effectively reducing labor and monitoring time. Evaluation by three experts showed that the system's overall efficiency was at a good level ($\bar{x} = 4.47$, S.D. = 0.54). Additionally, 50 farmers who participated in the technology transfer activity expressed an overall good level of satisfaction ($\bar{x} = 4.49$, S.D. = 0.49), particularly in terms of benefits such as time reduction, cost savings, and improved production quality. The farmers also agreed that the system was convenient, practical, and could be expanded for use within the wider community.

Keywords: Internet of Things, Automated Cricket Breeding, Smart Farm

บทนำ

อุตสาหกรรม 4.0 ปรากฏในแผนยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี (พ.ศ. 2560-2579) และแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 12 สอดคล้องกับยุทธศาสตร์ "ไทยแลนด์ 4.0" ที่มุ่งใช้นวัตกรรมเศรษฐกิจดิจิทัลและอุตสาหกรรมอัจฉริยะขับเคลื่อนเศรษฐกิจ โดยนำระบบเทคโนโลยีอัตโนมัติและเทคโนโลยีพื้นฐานมาประยุกต์ใช้ รวมถึงการเข้าสู่ยุคอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things: IoT)¹

IoT เป็นกรอบแนวคิดของระบบโครงข่ายที่รองรับการเชื่อมต่ออุปกรณ์หลากหลายชนิด ทำให้ระบบต่าง ๆ สามารถสื่อสารและทำงานร่วมกันได้อย่างอัตโนมัติ² เทคโนโลยีนี้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในภาคการเกษตรภายใต้แนวคิด "สมาร์ทฟาร์ม" เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต เช่น ระบบจัดการฟาร์มไก่ที่เพิ่มผลกำไร 880,000 บาทต่อ

โรงเรือนต่อปี³ และระบบฟาร์มเพาะเลี้ยงปลานิลที่ได้รับความพึงพอใจจากเกษตรกรในระดับสูง⁴

ปัจจุบันตลาดการบริโภคแมลงมีแนวโน้มเติบโตอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากเป็นแหล่งโปรตีนทางเลือกที่ช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม⁵ จิ้งหรีดเป็นแมลงที่เพาะเลี้ยงได้ง่าย มีคุณค่าทางโภชนาการสูง จึงมีผู้สนใจเพาะเลี้ยงเพื่อการค้าเพิ่มขึ้น⁶ กลุ่มเกษตรกรผู้เลี้ยงจิ้งหรีดชุมชนบ้านหนองใหญ่ ตำบลหนองใหญ่ อำเภอสตึก จังหวัดบุรีรัมย์ มีผู้เลี้ยงจิ้งหรีดครัวเรือนละ 6-12 ตัว เลี้ยงจิ้งหรีด 2 สายพันธุ์หลักคือ ทองดำและทองแดงลาย ต้นทุนหลักคืออาหารสำเร็จรูป 560 บาทต่อถุง ใช้ 1-1.5 ถุงต่อตัว ผลผลิตเฉลี่ย 10 กิโลกรัมต่อตัว (เป้าหมาย 200 กิโลกรัม) ราคาจำหน่าย 100-120 บาทต่อกิโลกรัม จากการสัมภาษณ์เชิงลึก พบปัญหาสำคัญ ได้แก่ ต้นทุนอาหารสูง การตายของจิ้งหรีด

ก่อนเก็บเกี่ยว และการควบคุมอุณหภูมิ-ความชื้นที่ไม่เหมาะสม ซึ่งส่งผลกระทบต่อระยะเวลาการเลี้ยงและอัตราการรอด สอดคล้องกับงานวิจัยของเกียรติสิน กาญจนวนิชกุล และคณะ (2563)⁷

การวิจัยนี้จึงนำเสนอการประยุกต์ใช้ IoT ในการพัฒนาตู้เลี้ยงจิ้งหรีดอัตโนมัติ โดยมีคุณสมบัติ 1) ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นอัตโนมัติด้วยเซนเซอร์และระบบควบคุมพัดลม-หลอดไฟ 2) ประหยัดเวลาและแรงงาน 3) ติดตามตรวจสอบข้อมูลแบบเรียลไทม์ผ่านแอปพลิเคชัน ระบบนี้คาดว่าจะช่วยลดระยะเวลาการเลี้ยง ลดต้นทุนอาหาร เพิ่มรายได้ และยกระดับคุณภาพชีวิตเกษตรกรอย่างยั่งยืน

วิธีดำเนินงานวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยและพัฒนา (Research and Development: R&D) โดยมีมุ่งพัฒนาตู้เลี้ยงจิ้งหรีดอัตโนมัติด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเลี้ยงจิ้งหรีดและยกระดับคุณภาพชีวิตเกษตรกร

1. พื้นที่และกลุ่มตัวอย่าง

พื้นที่วิจัยคือ ชุมชนบ้านหนองใหญ่ ตำบลหนองใหญ่ อำเภอสตึก จังหวัดบุรีรัมย์ กลุ่มตัวอย่างได้จากการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ 1) เกษตรกรผู้เลี้ยงจิ้งหรีดที่ใช้งานระบบต้นแบบจำนวน 1 ครอบครัว และ 2) ผู้เชี่ยวชาญด้านระบบและเทคโนโลยีสารสนเทศที่มีประสบการณ์อย่างน้อย 5 ปี เพื่อประเมินประสิทธิภาพระบบ

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

2.1. แบบประเมินความพึงพอใจของเกษตรกร ประเมิน 4 ด้าน คือ 1) การออกแบบตู้เลี้ยง 2) ความรวดเร็วของระบบ 3) ความถูกต้องของการทำงาน และ 4) ประโยชน์ที่ได้รับ ใช้มาตรวัดแบบ Rating Scale 5 ระดับ (5=ดีมาก, 4=ดี, 3=ปานกลาง, 2=น้อย, 1=น้อยที่สุด)

2.2. แบบประเมินประสิทธิภาพระบบโดยผู้เชี่ยวชาญ ประเมิน 3 ด้าน คือ 1) อินเทอร์เน็ตและการใช้งาน 2) ฟังก์ชันการทำงาน และ 3) อุปกรณ์ IoT และฮาร์ดแวร์ ใช้มาตรวัดแบบ Rating Scale 5 ระดับ เช่นเดียวกัน

2.3. เครื่องมือพัฒนาระบบ ได้แก่ Arduino IDE สำหรับเขียนโปรแกรมควบคุมอุปกรณ์ และ Blynk สำหรับสร้างแอปพลิเคชันควบคุมระยะไกล

3. การพัฒนาระบบ

ใช้วงจร System Development Life Cycle (SDLC) ประกอบด้วย 7 ขั้นตอนดังนี้

3.1. กำหนดปัญหา จากการศึกษาลักษณะปัญหา 3 ด้าน คือ ด้านบุคคล (ขาดความรู้ ใช้แรงงานมาก ไม่สามารถติดตามจากระยะไกล) ด้านเครื่องจักร (ไม่มีระบบควบคุมอัตโนมัติ ขาดระบบแจ้งเตือน) และด้านสิ่งแวดล้อม (อุณหภูมิและความชื้นผันผวน ขาดเครื่องมือควบคุม) จากปัญหาดังกล่าวสามารถสรุปให้อยู่ในรูปของผังแสดงปัญหา (Cause and Effect Diagram) เพื่อแสดงให้เห็นถึงปัญหา และสาเหตุที่ทำให้การทำงานของระบบที่ไม่มีประสิทธิภาพดังแสดงใน Figure 1

3.2. วิเคราะห์ความต้องการ เกษตรกรต้องการระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นอัตโนมัติ ลดภาระงาน มีการแจ้งเตือนเมื่อผิดปกติ และใช้งานง่ายไม่ซับซ้อน

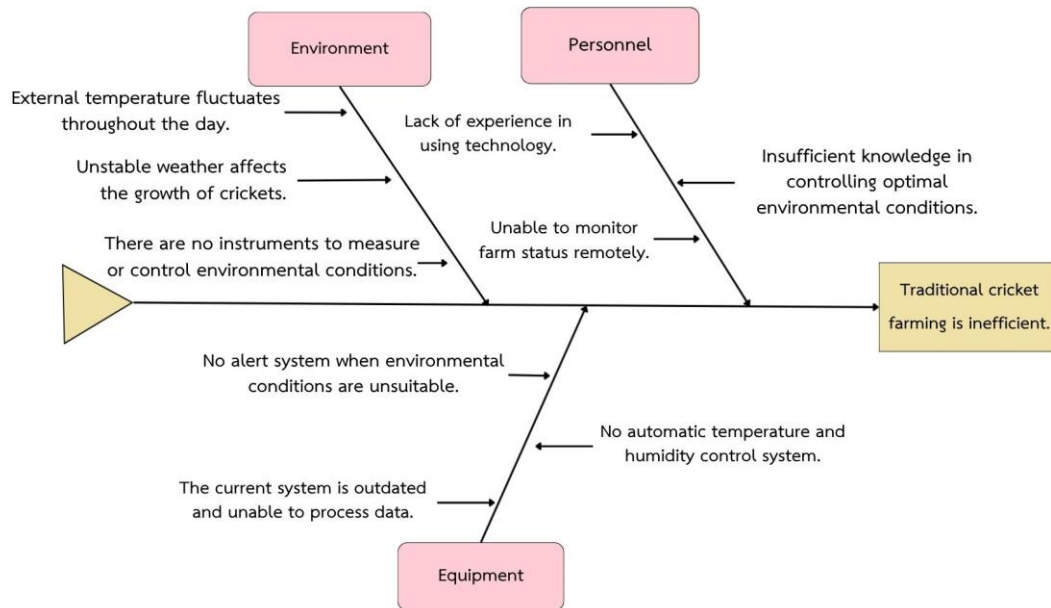


Figure 1. Cause and Effect Diagram.

3.3. ออกแบบระบบ แบ่งเป็น 4 ส่วน ได้แก่ 1) ระบบควบคุมอุณหภูมิโดยใช้ NodeMCU ESP8266 ประมวลผลข้อมูลจากเซนเซอร์ DHT11 และควบคุมหลอดไฟและพัดลม 2) ฟังก์ชันการควบคุมและแสดงผลผ่าน Blynk มีฟังก์ชันหลักคือ แสดงค่าอุณหภูมิ เลือกลงเลี้ยง (ตัวอ่อน/ตัวเต็มวัย) สวิตช์เปิด-ปิดอุปกรณ์ และกำหนดช่วงอุณหภูมิ แสดงใน Figure 2 3) ออกแบบตู้เลี้ยงจิ้งหรีด แสดงใน Figure 3 และ 4) การต่อระบบอุปกรณ์

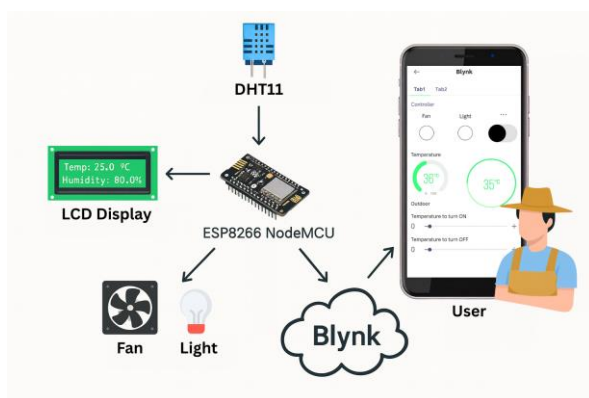


Figure 2. Overall components for developing an automatic cricket breeding cabinet.

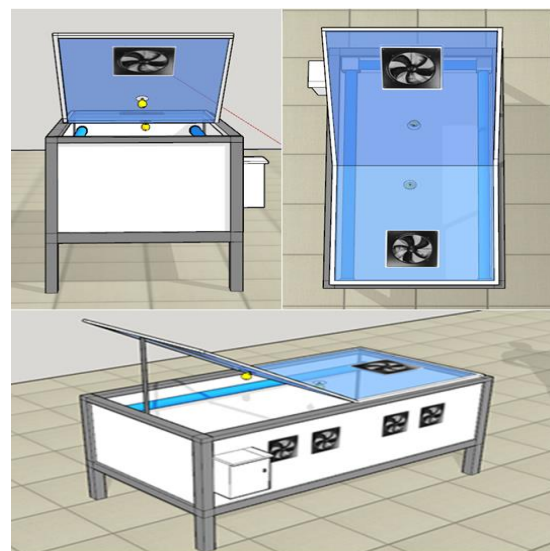


Figure 3. Design of the cricket breeding cabinet and IoT devices.

3.4. การพัฒนาระบบตู้เลี้ยงจิ้งหรีดอัตโนมัติ

การพัฒนาระบบตู้เลี้ยงจิ้งหรีดอัตโนมัติในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการออกแบบระบบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในตู้เลี้ยงได้อย่างเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจิ้งหรีด โดยอาศัยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งในการตรวจวัด ประมวลผล และควบคุมการทำงานของอุปกรณ์แบบอัตโนมัติ ระบบถูกออกแบบให้มีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน ใช้งานง่าย และสามารถนำไป

ประยุกต์ใช้ซ้ำได้จริงในระดับเกษตรกร โดยมีรายละเอียดการพัฒนาและหลักการทำงานของระบบดังหัวข้อย่อต่อไปนี้

3.4.1 หลักการทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

ระบบตู้เลี้ยงจิ้งหรีดอัตโนมัติถูกออกแบบให้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นโดยอาศัยข้อมูลจากเซนเซอร์ DHT11 จำนวน 2 ตัว ที่ติดตั้งภายในตู้เลี้ยง ซึ่งระบบจะอ่านค่าจากเซนเซอร์ทุก ๆ 5 วินาที และนำค่าที่ได้มาคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยเพื่อใช้ในการตัดสินใจควบคุมอุปกรณ์ภายใต้การประมวลผลของบอร์ด NodeMCU ESP8266 หากค่าอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่าช่วงที่กำหนด ระบบจะสั่งเปิดพัดลมระบายอากาศผ่านโมดูลรีเลย์เพื่อระบายความร้อน และหากอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่าค่าที่กำหนด ระบบจะสั่งเปิดหลอดไฟอินฟราเรดเพื่อเพิ่มอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิกลับเข้าสู่ช่วงที่เหมาะสม ระบบจะสั่งปิดอุปกรณ์โดยอัตโนมัติ ทั้งนี้การควบคุมทั้งหมดดำเนินการโดยไม่ต้องอาศัยการสั่งงานจากผู้ใช้ตลอดเวลา

3.4.2 การกำหนดช่วงอุณหภูมิสำหรับจิ้งหรีดแต่ละช่วงวัย

ระบบถูกออกแบบให้สามารถกำหนดช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเลี้ยงจิ้งหรีดในแต่ละช่วงวัย เพื่อให้สอดคล้องกับลักษณะการเจริญเติบโตของจิ้งหรีด โดยแบ่งเป็นตู้เลี้ยงจิ้งหรีดตัวอ่อน ซึ่งควบคุมอุณหภูมิในช่วง 27-32 องศาเซลเซียส และตู้เลี้ยงจิ้งหรีดตัวเต็มวัย ซึ่งควบคุมอุณหภูมิในช่วง 25-35 องศาเซลเซียส ผู้ใช้สามารถเลือกประเภทตู้เลี้ยงผ่านแอปพลิเคชัน Blynk ส่งผลให้ระบบปรับช่วงการควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสมโดยอัตโนมัติ โดยไม่จำเป็นต้องตั้งค่าซ้ำทุกครั้งที่ใช้งาน

3.4.3 โหมดการทำงานของระบบ

ระบบรองรับการทำงานสองโหมด ได้แก่ โหมดอัตโนมัติและโหมดควบคุมด้วยตนเอง โดยในโหมดอัตโนมัติ ระบบจะควบคุมการทำงานของพัดลมและหลอดไฟอินฟราเรดตามค่าที่ตรวจวัดได้จากเซนเซอร์ และเงื่อนไขที่ตั้งไว้ล่วงหน้า ขณะที่โหมดควบคุมด้วย

ตนเอง ผู้ใช้สามารถสั่งเปิดหรือปิดอุปกรณ์ผ่านแอปพลิเคชัน Blynk ได้โดยตรงในกรณีที่ต้องการควบคุมเป็นพิเศษ ซึ่งการออกแบบโหมดการทำงานทั้งสองรูปแบบช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นในการใช้งานระบบในสถานการณ์ที่แตกต่างกัน

3.4.4 การแสดงผลและการสื่อสารข้อมูล

ข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นที่ตรวจวัดได้จากเซนเซอร์จะถูกแสดงผลทั้งบนจอแสดงผล LCD ที่ติดตั้งด้านหน้าตู้เลี้ยง และผ่านแอปพลิเคชัน Blynk บนสมาร์ตโฟนและเว็บแอปพลิเคชัน โดยระบบมีการอัปเดตข้อมูลแบบเรียลไทม์ทุก 5 วินาที ผู้ใช้สามารถตรวจสอบค่าจากเซนเซอร์แต่ละตำแหน่ง รวมถึงค่าเฉลี่ยที่ใช้ในการควบคุมระบบ ซึ่งช่วยให้สามารถติดตามสภาพแวดล้อมภายในตู้เลี้ยงได้อย่างสะดวกและต่อเนื่อง

3.4.5 ภาพรวมและรายละเอียดของระบบที่พัฒนา

การพัฒนาตู้เลี้ยงจิ้งหรีดอัตโนมัติด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง เป็นการบูรณาการระบบควบคุมอุณหภูมิเพื่อสร้างสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม สำหรับการเพาะเลี้ยงจิ้งหรีด โดยคำนึงถึงความต้องการของเกษตรกรในชุมชนบ้านหนองใหญ่ ตำบลหนองใหญ่ อำเภอสตึก จังหวัดบุรีรัมย์ ระบบได้รับการออกแบบให้สามารถทำงานได้ 2 โหมด คือ โหมดอัตโนมัติที่ควบคุมสภาพแวดล้อมตามค่าที่กำหนดไว้ล่วงหน้า และโหมดควบคุมด้วยตนเองที่ผู้ใช้สามารถสั่งการผ่านแอปพลิเคชัน ระบบมีคุณสมบัติในการตรวจวัดและควบคุมอุณหภูมิในตู้เลี้ยงจิ้งหรีดแบบเรียลไทม์ โดยผู้ใช้สามารถตั้งค่าช่วงอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมสำหรับจิ้งหรีดในแต่ละช่วงวัย (ตัวอ่อนและตัวเต็มวัย)

3.4.6 ส่วนฮาร์ดแวร์ของระบบ

1) ตู้เลี้ยงจิ้งหรีด โครงสร้างตู้เป็นหลักรูปหนาที่มีความทนทานต่อการใช้งานในระยะยาวและรับน้ำหนักได้ดี ปิดรอบด้วยแผ่นยิบซัมที่ช่วยรักษาอุณหภูมิและความชื้น ภายในตู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตู้มีขนาดกว้าง 60 เซนติเมตร ยาว 120 เซนติเมตร สูง 60 เซนติเมตร ซึ่งเป็นขนาดที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงจิ้งหรีดในระดับครัวเรือน และยกสูงจากพื้น 30 เซนติเมตรเพื่อป้องกันความชื้น

จากพื้นและสัณฐานของ ภายใต้นี้มีการติดตั้งพัดลมระบายอากาศเพื่อควบคุมอุณหภูมิและความชื้น หลอดไฟให้ความร้อนสำหรับรักษาอุณหภูมิในช่วงที่เหมาะสม รวมถึงระบบน้ำและอาหารอัตโนมัติที่ช่วยให้จิ้งหรีดเข้าถึงอาหารและน้ำได้ตลอดเวลา ตู้ยังได้รับการออกแบบให้มีพื้นที่เพียงพอสำหรับการวางแผงไข่ไก่ซึ่งเป็นพื้นที่หลบซ่อนและขยายพันธุ์ของจิ้งหรีด ทั้งหมดนี้ควบคุมผ่านแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์ควบคุมต่าง ๆ ที่ติดตั้งในกล่องควบคุมด้านข้างตู้เพื่อให้ระบบสามารถทำงานและควบคุมสภาพแวดล้อมภายในตู้ได้โดยอัตโนมัติตามค่าที่กำหนด ดังแสดงใน Figure 4



Figure 4. Automated Cricket Breeding Cabinet

2) เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น DHT11 ระบบตู้เลี้ยงจิ้งหรีดอัตโนมัติใช้เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น DHT11 จำนวน 2 ตัว ติดตั้งในตำแหน่งที่แตกต่างกันภายในตู้เพื่อให้สามารถตรวจวัดค่าได้ครอบคลุมพื้นที่ เซนเซอร์ DHT11 ทำหน้าที่ตรวจวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศแบบเรียลไทม์ โดยข้อมูลที่ตรวจวัดได้จะถูกส่งไปยังหน่วยประมวลผลกลางคือบอร์ด NodeMCU ESP8266 เพื่อนำไปประมวลผลและใช้ในการควบคุมการทำงานของพัดลมและหลอดไฟอินฟราเรดให้เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนด

นอกจากนี้ ข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นยังถูกส่งต่อไปยังแอปพลิเคชัน Blynk บนสมาร์ตโฟน ทำให้เกษตรกรสามารถตรวจสอบค่าสภาพแวดล้อมภายในตู้ได้ทุกที่ทุกเวลา ช่วยให้การติดตามและควบคุมสภาพแวดล้อมในการเลี้ยงจิ้งหรีดเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ดังแสดงใน Figure 5

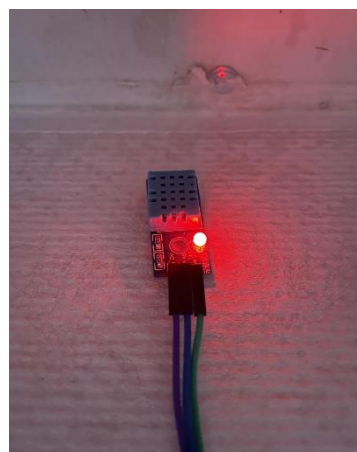


Figure 5. DHT11 temperature and humidity sensor

3) บอร์ด NodeMCU ESP8266 ทำหน้าที่เป็นหน่วยประมวลผลหลักและเป็นสมองของระบบตู้เลี้ยงจิ้งหรีดอัตโนมัติทั้งหมด บอร์ดนี้ประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266 ซึ่งมีโมดูล WiFi ในตัว ทำให้สามารถเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตได้โดยตรง บอร์ดทำหน้าที่รับข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นจากเซนเซอร์ DHT11 ทั้งสองตัวที่ติดตั้งในตำแหน่งที่แตกต่างกันภายในตู้ จากนั้นนำข้อมูลมาประมวลผลตามเงื่อนไขและอัลกอริทึมที่เขียนโปรแกรมไว้ เช่น หากอุณหภูมิสูงเกินค่าที่กำหนด จะสั่งการให้รีเลย์เปิดพัดลมเพื่อระบายความร้อน หรือหากอุณหภูมิต่ำเกินไป จะสั่งเปิดหลอดไฟอินฟราเรดเพื่อเพิ่มอุณหภูมิ นอกจากการควบคุมอุปกรณ์โดยตรงแล้ว NodeMCU ESP8266 ยังทำหน้าที่สำคัญในการเชื่อมต่อกับเครือข่าย WiFi เพื่อส่งข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นแบบเรียลไทม์ไปยัง Blynk Server เพื่อแสดงผลบนแอปพลิเคชัน Blynk บนสมาร์ตโฟนของเกษตรกร รวมถึงส่งการแจ้งเตือนเมื่อพบสภาวะผิดปกติ ดังแสดงใน Figure 6

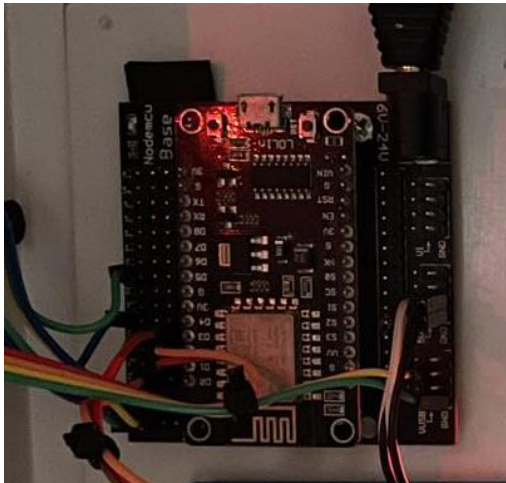


Figure 6. NodeMCU ESP8266 board

4) โมดูลรีเลย์ 4 ช่อง ทำหน้าที่เป็นสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ควบคุมการเปิด-ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าตามคำสั่งจากบอร์ด NodeMCU ESP8266 โดยรีเลย์ช่องที่ 1 และ 2 ใช้ควบคุมการทำงานของพัดลมระบายอากาศเพื่อปรับอุณหภูมิและความชื้นภายในตู้เลี้ยง ส่วนรีเลย์ช่องที่ 3 และ 4 ควบคุมการทำงานของหลอดไฟอินฟราเรดที่ให้ความร้อนเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ดังแสดงใน Figure 7

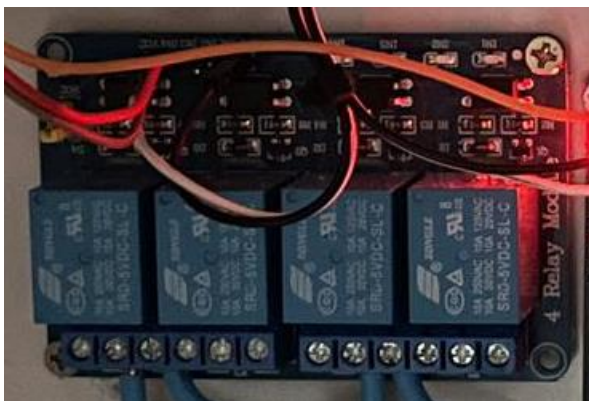


Figure 7. 4-channel relay module

5) จอแสดงผล LCD พร้อม I2C Interface ติดตั้งบริเวณด้านหน้าตู้เลี้ยงจิ้งหรีดเพื่อแสดงค่าอุณหภูมิและความชื้นภายในตู้แบบเรียลไทม์ จอ LCD ขนาด 16x2 ตัวอักษรนี้เชื่อมต่อกับบอร์ด NodeMCU ผ่าน I2C Interface ซึ่งช่วยลดจำนวนขาที่ใช้ในการเชื่อมต่อ ทำให้

การติดตั้งและการเดินสายไฟเป็นระเบียบมากขึ้น ดังแสดงใน Figure 8



Figure 8. LCD display showing temperature

6) Switching Power Supply อุปกรณ์แปลงกระแสไฟฟ้าจาก AC 220 โวลต์เป็น DC 12 โวลต์ เพื่อจ่ายพลังงานให้กับระบบควบคุมอัตโนมัติทั้งหมด ด้วยกำลังไฟสูงสุด 450 วัตต์ และกระแสไฟฟ้า 40 แอมป์ ทำให้สามารถรองรับการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมดในระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังแสดงใน Figure 9



Figure 9. AC 220V to DC 12V power adapter

7) พัดลมระบายความร้อน ระบบใช้พัดลมระบายอากาศขนาด 10 นิ้ว ทำหน้าที่ระบายความร้อนและควบคุมอุณหภูมิภายในตู้เลี้ยงจิ้งหรีด พัดลมจะทำงานโดย

อัตโนมัติเมื่ออุณหภูมิภายในตู้สูงเกินค่าที่กำหนดไว้แสดง
ใน Figure 10



Figure 10. Cooling fan

8) หลอดไฟอินฟราเรด ทำหน้าที่เป็นแหล่งให้ความ
ร้อนภายในตู้เลี้ยงจิ้งหรีด โดยจะทำงานอัตโนมัติเมื่อระบบ
ตรวจพบว่าอุณหภูมิภายในตู้ต่ำกว่าค่าที่กำหนด ดังแสดง
ใน Figure 11

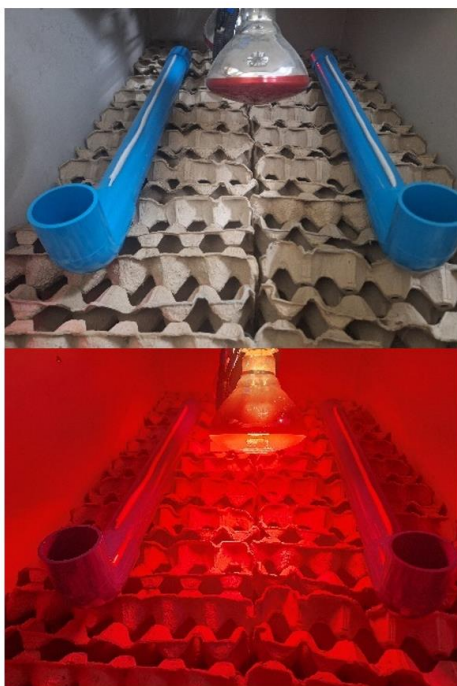


Figure 11. Infrared heat lamp

3.4.7. ส่วนซอฟต์แวร์ของระบบ

1) ระบบควบคุมผ่านแอปพลิเคชัน Blynk ระบบ
การเลี้ยงจิ้งหรีดโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง
ที่พัฒนาขึ้น ใช้แพลตฟอร์ม Blynk ในการสร้างส่วนติดต่อ
ผู้ใช้ที่ช่วยให้ผู้ใช้สามารถติดต่อและควบคุมตู้เลี้ยงจิ้งหรีด
ผ่านทางเว็บไซต์ ดังแสดงใน Figure 12 และแอปพลิเคชัน
บนสมาร์ตโฟน ดังแสดงใน Figure 13 การทำงานของ
ระบบแบ่งเป็นส่วนต่าง ๆ ดังนี้

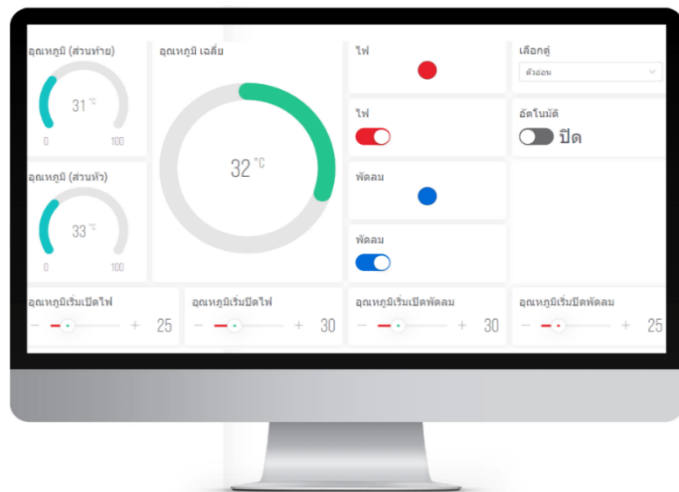


Figure 12. Web-based system control interface



Figure 13. Mobile application control interface

2) การควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ ระบบได้รับการออกแบบให้ควบคุมอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของจิ้งหรีดในแต่ละช่วงอายุ โดยแบ่งเป็น ตัวเลี้ยงจิ้งหรีดตัวอ่อน: ควบคุมอุณหภูมิที่ 27-32 องศาเซลเซียส และตัวเลี้ยงจิ้งหรีดตัวเต็มวัย: ควบคุมอุณหภูมิที่ 25-35 องศาเซลเซียส ผู้ใช้สามารถเลือกประเภทตัวเลี้ยงจิ้งหรีดได้ผ่านเมนูบนแอปพลิเคชัน ซึ่งจะส่งผลให้ระบบปรับเปลี่ยนช่วงอุณหภูมิการทำงานโดยอัตโนมัติ ดังแสดงใน Figure 14



Figure 14 . Cricket breeding cabinet type selection menu (larvae and adult)

3) การควบคุมอัตโนมัติได้รับการออกแบบให้มีความยืดหยุ่นและใช้งานง่าย โดยมีสวิตช์เปิด-ปิด ดังแสดงใน Figure 15. ที่ช่วยให้เกษตรกรสามารถเลือกโหมดการทำงานได้ตามความต้องการ เมื่อเปิดใช้งานโหมดอัตโนมัติ ระบบจะทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของพัดลมและหลอดไฟอินฟราเรดโดยอิงตามช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมของแต่ละประเภทตู้



Figure 15. Automatic mode on/off switch

4) การแสดงผลข้อมูลจากเซนเซอร์ การแสดงอุณหภูมิในระบบตู้เลี้ยงจิ้งหรีดอัตโนมัตินี้ได้รับการ

ออกแบบให้มีความละเอียดและครอบคลุม โดยระบบจะรับข้อมูลจากเซนเซอร์ DHT11 ที่ติดตั้งในสองตำแหน่งสำคัญคือส่วนหัวและส่วนท้ายของตู้ข้อมูลอุณหภูมิจากทั้งสองจุดจะถูกแสดงผลในรูปแบบตัวเลขของค่าเฉลี่ยที่ชัดเจนบนหน้าจอแอปพลิเคชัน Blynk ซึ่งมีการอัปเดตข้อมูลแบบเรียลไทม์ทุก 5 วินาที ดังแสดงใน Figure 16. นอกจากนี้ ระบบยังคำนวณและแสดงค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิจากทั้งสองเซนเซอร์ ซึ่งค่าเฉลี่ยนี้เป็นตัวแปรสำคัญที่ระบบใช้ในการตัดสินใจเปิด-ปิดอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น พัดลมและหลอดไฟอินฟราเรด เพื่อรักษาอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงจิ้งหรีด

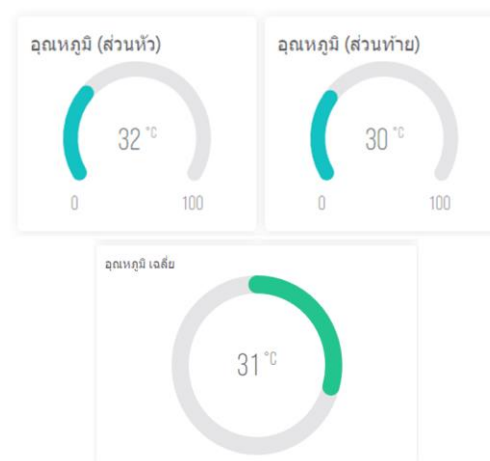


Figure 16 . Temperature display for front, rear, and average values

3.5. การทดสอบระบบ ผู้วิจัยดำเนินการทดสอบการทำงานของระบบการพัฒนาตู้เลี้ยงจิ้งหรีดอัตโนมัติโดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 5 ด้าน ดังนี้ 1) การทดสอบระบบควบคุมอุณหภูมิแบบอัตโนมัติ โดยทดสอบผ่านแอปพลิเคชัน Blynk ว่าระบบสามารถตรวจเช็คค่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้และดำเนินการตามเงื่อนไขในการเปิด-ปิดไฟและพัดลมได้ถูกต้องหรือไม่ 2) การทดสอบระบบการเปิด-ปิดไฟและพัดลม โดยทดสอบผ่านแอปพลิเคชัน Blynk ว่าสามารถสั่งงานได้ทันทีและทำงานถูกต้องตามคำสั่ง 3) การทดสอบการเลือกตู้เลี้ยงจิ้งหรีด โดยทดสอบระบบผ่านแอปพลิเคชัน Blynk ว่าทำงานถูกต้องตามเงื่อนไขที่กำหนดสำหรับตู้เลี้ยงจิ้งหรีดตัวอ่อนและตัวเต็มวัย 4) การทดสอบอุปกรณ์ที่

ใช้งานในระบบว่าสามารถทำงานได้ถูกต้องหรือไม่ เช่น เซนเซอร์ DHT11 บอร์ด NodeMCU โมดูลรีเลย์ และ อุปกรณ์อื่น ๆ ก่อนที่จะดำเนินการไปติดตั้งเพื่อใช้งานจริง และ 5) การทดสอบแบบจำลองสถานการณ์ โดยจำลองสถานการณ์การใช้งานต่าง ๆ เพื่อให้เกิดเหตุการณ์และมีการบันทึกข้อมูลการทำงาน ตรวจสอบว่าระบบสามารถตอบสนองและบันทึกข้อมูลได้ถูกต้องครบถ้วนก่อนนำไปติดตั้งใช้งานจริง

3.6. ติดตั้งระบบ นำชุดควบคุมและอุปกรณ์ระบบที่ผ่านการทดสอบแล้ว เขียนโปรแกรมและกำหนดเงื่อนไขการทำงานผ่าน Arduino IDE ไปติดตั้งกับตู้เลี้ยงจิ้งหรีดเพื่อใช้งานจริงในฟาร์มของเกษตรกร โดยมีการตั้งค่าระบบให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมในพื้นที่ และให้คำแนะนำการใช้งานแก่เกษตรกรผู้ใช้งานระบบ

3.7. บำรุงรักษา ตรวจสอบเช็คสภาพอุปกรณ์และโปรแกรมทุก ๆ 3 เดือน เพื่อให้มั่นใจว่าระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพอย่างต่อเนื่อง หมั่นดูแลความสะอาดของตู้เลี้ยงจิ้งหรีด ทำความสะอาดเซนเซอร์และอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อป้องกันการเสียหายของอุปกรณ์และป้องกันการเกิดความเสียหายต่อจิ้งหรีดที่อาจตามมาในภายหลัง รวมทั้งตรวจสอบการเชื่อมต่อของสายไฟและการทำงานของโมดูลรีเลย์เป็นระยะ เพื่อความปลอดภัย

ผลการวิจัย

การวิจัยเรื่องการพัฒนาตู้เลี้ยงจิ้งหรีดอัตโนมัติด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ดำเนินการในพื้นที่ชุมชนบ้านหนองใหญ่ ตำบลหนองใหญ่ อำเภอสตึก จังหวัดบุรีรัมย์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) สร้างองค์ความรู้เกี่ยวกับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งในการพัฒนาตู้เลี้ยงจิ้งหรีดอัตโนมัติ 2) ออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมสภาพแวดล้อมภายในตู้เลี้ยงจิ้งหรีด 3) ถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่กลุ่มเกษตรกรในชุมชน และ 4) ประเมินประสิทธิภาพและความพึงพอใจต่อระบบ โดยมีรายละเอียดผลการวิจัยดังนี้

1. ผลการสร้างองค์ความรู้เกี่ยวกับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งในการพัฒนาตู้เลี้ยงจิ้งหรีดอัตโนมัติ

จากการศึกษาวิจัย คณะผู้วิจัยได้สังเคราะห์องค์ความรู้เกี่ยวกับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งสำหรับการพัฒนาตู้เลี้ยงจิ้งหรีดอัตโนมัติ โดยพบว่าจิ้งหรีดต้องการสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิเหมาะสมอยู่ระหว่าง 25-35 องศาเซลเซียส โดยต้องควบคุมให้มีความสม่ำเสมอเพื่อการเจริญเติบโตที่ดีและอัตราการรอดชีวิตสูง สำหรับเทคโนโลยีที่ใช้ในการพัฒนาระบบ ได้แก่ เซนเซอร์ DHT11 ที่มีความแม่นยำเพียงพอ ($\pm 2^{\circ}\text{C}$ สำหรับอุณหภูมิและ $\pm 5\%$ สำหรับความชื้น) มีราคาไม่สูง และเชื่อมต่อได้ง่าย⁸⁻⁹ โดยใช้จำนวน 2 จุดเพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่ภายในตู้ บอร์ด NodeMCU ESP8266 ทำหน้าที่เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์หลักที่มีโมดูล WiFi ในตัว สามารถรับค่าจากเซนเซอร์ประมวลผล และควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้ อย่างมีประสิทธิภาพ¹⁰ โมดูลรีเลย์ใช้ควบคุมการเปิด-ปิดพัดลมระบายอากาศและหลอดไฟอินฟราเรดเพื่อรักษาอุณหภูมิและความชื้นให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม เทคโนโลยี IoT ทำให้สามารถส่งข้อมูลจากเซนเซอร์ไปยังแพลตฟอร์มออนไลน์ ทำให้เกษตรกรติดตามสภาพแวดล้อมภายในตู้ได้แบบเรียลไทม์และรับการแจ้งเตือนเมื่อมีค่าผิดปกติ¹¹ ทั้งนี้ แพลตฟอร์ม Blynk เป็นทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาส่วนติดต่อผู้ใช้ เนื่องจากใช้งานง่าย รองรับการแสดงผลแบบเรียลไทม์ และเกษตรกรสามารถเรียนรู้การใช้งานได้อย่างรวดเร็ว¹²

2. ผลการออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมสภาพแวดล้อมภายในตู้เลี้ยงจิ้งหรีดด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

ผลการออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมสภาพแวดล้อมภายในตู้เลี้ยงจิ้งหรีดด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง พบว่า ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในตู้เลี้ยงให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจิ้งหรีด โดยบูรณาการการทำงานของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น บอร์ดควบคุม และอุปกรณ์ควบคุมสภาพแวดล้อมเข้าด้วยกัน ระบบได้รับการ

ออกแบบให้รองรับการทำงานทั้งในโหมดอัตโนมัติและโหมดควบคุมด้วยตนเอง เพื่อให้สอดคล้องกับบริบทการใช้งานจริงของเกษตรกร

ระบบสามารถตรวจวัดและแสดงผลข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นแบบเรียลไทม์ผ่านอุปกรณ์แสดงผลและแอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟน ผู้ใช้สามารถกำหนดช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับจิ้งหรีดในแต่ละช่วงวัย รวมถึงติดตามและควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ภายในตู้เลี้ยงได้จากระยะไกล การออกแบบดังกล่าวช่วยให้ระบบมีความยืดหยุ่น ใช้งานง่าย และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ซ้ำได้จริงในระดับเกษตรกร

3. ผลของการถ่ายทอดเทคโนโลยีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ในการพัฒนาตู้เลี้ยงจิ้งหรีดอัตโนมัติสู่กลุ่มเกษตรกรในชุมชน

จากการดำเนินการถ่ายทอดการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ในการพัฒนาตู้เลี้ยงจิ้งหรีดอัตโนมัติ ให้กับกลุ่มเกษตรกรชุมชนบ้านหนองใหญ่ ตำบลหนองใหญ่ อำเภอเสตึก จังหวัดบุรีรัมย์ พบว่าได้รับความสนใจจากชาวบ้านเป็นอย่างมาก โดยผู้วิจัยได้จัดกิจกรรมถ่ายทอดความรู้ให้กับเกษตรกรผู้เลี้ยงจิ้งหรีดและผู้สนใจจากทั้ง 16 หมู่บ้านในตำบลหนองใหญ่ หมู่บ้านละ 2-4 คน รวมทั้งสิ้นกว่า 50 คน ภายในกิจกรรมมีการบรรยายให้ความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งและการประยุกต์ใช้ในการเกษตร สาธิตการทำงานของตู้เลี้ยงจิ้งหรีดอัตโนมัติ และการใช้แอปพลิเคชัน Blynk ให้ผู้เข้าร่วมได้ทดลองใช้งานจริง ดังแสดงใน Figure 17



Figure 17. Technology transfer of automated cricket breeding cabinet development to local farmers

จากการจัดกิจกรรมถ่ายทอดเทคโนโลยีและติดตั้งระบบต้นแบบในพื้นที่ฟาร์มของนางสาวราย โยงรัมย์ ประธานกลุ่มผู้เลี้ยงจิ้งหรีดบ้านหนองกับ พบว่าเกษตรกรมีทัศนคติในเชิงบวกต่อระบบที่พัฒนา และเห็นว่าระบบดังกล่าวช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเลี้ยงจิ้งหรีดได้อย่างชัดเจน ทั้งในด้านความสะดวก ความแม่นยำ และการลดต้นทุนแรงงาน โดยมีข้อค้นพบและความคิดเห็นของเกษตรกรดังนี้

เกษตรกรคนที่ 1: นางสาวราย โยงรัมย์ "ถ้าได้ระบบตู้เลี้ยงอัตโนมัตินี้มาใช้ รู้สึกว่าจะสะดวกขึ้นมาก ไม่ต้องคอยเปิดพัดลมหรือหลอดไฟเอง ระบบจะทำให้โดยอัตโนมัติ เวลาอุณหภูมิสูงเกินไปก็จะเปิดพัดลมเอง ถ้าหนาวก็เปิดหลอดไฟเอง เราสามารถดูค่าผ่านโทรศัพท์ได้ตลอดเวลา ทำให้ไม่ต้องเข้าออกฟาร์มบ่อย ๆ โดยเฉพาะกลางคืนที่อากาศเย็นมาก ๆ ช่วยให้จิ้งหรีดโตดีขึ้น ไม่ตายก่อนเวลาเก็บเกี่ยวเหมือนเมื่อก่อน"

เกษตรกรคนที่ 2: นางสาวราย กิ่งแก้ว "ชอบตรงที่มันมีระบบแจ้งเตือน เวลาความชื้นหรืออุณหภูมิในตู้ไม่ปกติ มันจะเตือนให้รู้เลยว่าต้องเข้าไปดู ไม่ต้องเฝ้าตลอด ทำให้มีเวลาทำอย่างอื่นได้ด้วย"

เกษตรกรคนที่ 3: นางสาวเพ็ญศรี ชีรัมย์ "ตอนแรกคิดว่ามันจะยุ่งยาก แต่พอได้ลองจริง ๆ ใช้งานง่ายมาก แค่เปิดดูในโทรศัพท์ก็เห็นค่าความชื้น อุณหภูมิเลย ถ้ามีปัญหา ก็จะมีแจ้งเตือนขึ้นมาทันที ระบบนี้ดีมากสำหรับผู้หญิง ยิ่งช่วงฝนตกแบบนี้ช่วยให้เลี้ยงได้ต่อเนื่องโดยไม่ต้องเข้าไปดูบ่อย ช่วยให้สะดวกและปลอดภัยมากขึ้นค่ะ"

การถ่ายทอดเทคโนโลยีในครั้งนี้ยังส่งผลเชิงบวกต่อชุมชนในด้านการเรียนรู้และการมีส่วนร่วม เกษตรกรเกิดความภาคภูมิใจที่ชุมชนของตนได้รับการพัฒนาเป็นพื้นที่ต้นแบบ และมีแนวโน้มที่จะขยายผลการใช้งานไปยังครัวเรือนอื่น ๆ ในหมู่บ้าน รวมถึงเป็นต้นแบบให้กับพื้นที่ใกล้เคียงในการพัฒนา "ฟาร์มจิ้งหรีดอัจฉริยะ" ต่อไป

4. ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบตู้เลี้ยงจิ้งหรีดอัตโนมัติโดยผู้เชี่ยวชาญ

จากการประเมินประสิทธิภาพของระบบตู้เลี้ยงจิ้งหรีดอัตโนมัติด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

โดยผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีสารสนเทศและระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง จำนวน 3 ท่าน ซึ่งมีประสบการณ์ในการพัฒนาระบบและเทคโนโลยีสารสนเทศอย่างน้อย 5 ปี ผลการประเมินโดยใช้แบบประเมินประสิทธิภาพระบบและ

นำมาวิเคราะห์ด้วยค่าสถิติพื้นฐาน (ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) เทียบกับเกณฑ์การประเมิน แสดงดัง Table 1

Table 1. Expert evaluation results of the automated cricket breeding cabinet system performance

Assessment Items	$\bar{X}$	SD	Level
User Interface and Usability	4.47	0.54	Good
1. Button size on the screen is appropriate	4.00	0.82	Good
2. Color and font size on the screen are clear and readable	4.67	0.47	Very Good
3. Text descriptions convey meaning effectively	4.67	0.47	Very Good
4. Icons or images help convey meaning effectively	4.33	0.47	Good
5. Layout of components on the screen is appropriate	4.67	0.47	Very Good
System Functionality	4.33	0.74	Good
1. System meets user requirements	4.67	0.47	Very Good
2. Functions work correctly and completely	4.33	0.94	Good
3. System processing and notifications are fast	4.00	0.82	Good
IoT Devices and Hardware	4.60	0.47	Very Good
1. Hardware selection is appropriate	4.67	0.47	Very Good
2. Devices are durable for long-term use	4.67	0.47	Very Good
3. Devices are easy to maintain	4.67	0.47	Very Good
4. System installation is convenient and simple	4.67	0.47	Very Good
5. System operates quickly and accurately	4.33	0.47	Good
6. Sensor data analysis is efficient	4.33	0.47	Good
7. Equipment is modern	4.00	0.82	Good
8. System is safe to use	4.33	0.47	Good
Overall Average	4.47	0.54	Good

จาก Table 1 แสดงผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบตู้เลี้ยงจิ้งหรีดอัตโนมัติโดยผู้เชี่ยวชาญ พบว่าระบบมีประสิทธิภาพโดยรวมอยู่ในระดับดี เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่าด้านอินเทอร์เน็ตเฟซและการใช้งาน มีประสิทธิภาพอยู่ในระดับดี โดยสีและขนาดของตัวอักษรอ่านง่ายชัดเจน ข้อความอธิบายการใช้งานสื่อความหมายได้ดี และการจัดวางองค์ประกอบหน้าจอก็มีความเหมาะสม ด้านฟังก์ชันการทำงานของระบบ มีประสิทธิภาพอยู่ใน

ระดับดี โดยระบบตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานฟังก์ชันการทำงานครบถ้วนถูกต้อง และระบบประมวลผลและแจ้งเตือนมีความรวดเร็ว ด้านอุปกรณ์ IoT และฮาร์ดแวร์ มีประสิทธิภาพอยู่ในระดับดีมาก ซึ่งเป็นด้านที่ได้คะแนนสูงสุด โดยเลือกใช้อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ได้เหมาะสม มีความทนทานในการใช้งานระยะยาว บำรุงรักษาได้ง่าย และติดตั้งระบบได้สะดวกไม่ซับซ้อน

สรุปได้ว่า ระบบตู้เลี้ยงจิ้งหรีดอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพอยู่ในระดับดี โดยเฉพาะด้านอุปกรณ์ IoT และฮาร์ดแวร์ที่ได้รับการประเมินว่ามีประสิทธิภาพอยู่ในระดับดีมาก แสดงให้เห็นว่าระบบที่พัฒนามีความเหมาะสม มีความทนทาน และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับเกษตรกรได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5. ผลการประเมินความพึงพอใจของเกษตรกรที่มีต่อระบบตู้เลี้ยงจิ้งหรีดอัตโนมัติ

จากการประเมินความพึงพอใจของเกษตรกรผู้เข้าร่วมกิจกรรมถ่ายทอดเทคโนโลยีและผู้สนใจระบบตู้เลี้ยงจิ้งหรีดอัตโนมัติ จำนวน 50 คน โดยใช้แบบประเมินความพึงพอใจของเกษตรกรผู้ใช้งานระบบ และนำมาวิเคราะห์ด้วยค่าสถิติพื้นฐาน (ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) เทียบกับเกณฑ์การประเมิน ผลการประเมินแสดงดัง Table 2

Table 2. Farmer satisfaction assessment of the automated cricket breeding cabinet system

Assessment Items	$\bar{X}$	SD	Level
Cabinet Design	4.52	0.48	Very Good
1. Cabinet size is appropriate for the space	4.56	0.50	Very Good
2. Cabinet design is convenient to use	4.48	0.54	Good
3. Equipment inside the cabinet is appropriate and easy to use	4.52	0.51	Very Good
4. Equipment layout is organized and easy to maintain	4.50	0.51	Good
System Speed	4.45	0.52	Good
1. System can quickly alert abnormalities	4.54	0.50	Very Good
2. Temperature/humidity adjustment responds in time	4.42	0.57	Good
3. Application displays data in real-time	4.46	0.50	Good
4. Commands through app (e.g., fan on/off) work immediately	4.38	0.57	Good
System Accuracy	4.41	0.51	Good
1. Sensor readings are accurate	4.52	0.51	Very Good
2. System works automatically according to set values correctly	4.48	0.51	Good
3. No errors or false alerts	4.26	0.62	Good
4. System installation is convenient and simple	4.36	0.56	Good
5. System can operate continuously without constant monitoring	4.44	0.50	Good
Benefits from the System	4.58	0.46	Very Good
1. System reduces time spent caring for cricket farm	4.64	0.48	Very Good
2. Reduces the need to monitor the cabinet constantly	4.62	0.49	Very Good
3. Crickets grow better with appropriate temperature control	4.56	0.50	Very Good
4. System helps reduce costs and increase income opportunities	4.50	0.51	Good
Overall Average	4.49	0.49	Good

จาก Table 2 แสดงผลการประเมินความพึงพอใจของเกษตรกรที่มีต่อระบบตู้เลี้ยงจิ้งหรีดอัตโนมัติ จำนวน

50 คน พบว่า เกษตรกรมีความพึงพอใจต่อระบบโดยรวมอยู่ในระดับดี เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า

ด้านการออกแบบระบบตู้เลี้ยงจิ้งหรีด มีความพึงพอใจอยู่ในระดับดีมาก โดยขนาดของตู้มีความเหมาะสมกับพื้นที่ใช้งาน การเลือกใช้อุปกรณ์เหมาะสมและใช้งานง่าย และการจัดวางอุปกรณ์เป็นระเบียบ แสดงให้เห็นว่าการออกแบบตู้ตอบสนองความต้องการของเกษตรกรเป็นอย่างดี ด้านความรวดเร็วของระบบ มีความพึงพอใจอยู่ในระดับดี โดยระบบสามารถแจ้งเตือนเหตุผิดปกติได้รวดเร็ว แอปพลิเคชันแสดงข้อมูลแบบเรียลไทม์ และการปรับอุณหภูมิ-ความชื้นตอบสนองได้ทันทั่วทั้งตู้ ด้านความถูกต้องของการทำงาน มีความพึงพอใจอยู่ในระดับดี โดยค่าที่แสดงจากเซนเซอร์มีความแม่นยำ ระบบทำงานอัตโนมัติตามค่าที่ตั้งไว้ได้ถูกต้อง และสามารถทำงานได้ต่อเนื่องโดยไม่ต้องควบคุมตลอดเวลา แสดงให้เห็นว่าระบบมีความเสถียรและความแม่นยำในการทำงาน ด้านประโยชน์ที่ได้รับจากระบบ มีความพึงพอใจอยู่ในระดับดีมาก ซึ่งเป็นด้านที่ได้คะแนนสูงสุด โดยระบบช่วยลดเวลาที่ใช้ในการดูแลฟาร์ม ลดความจำเป็นในการเฝ้าตู้ตลอดเวลา และทำให้จิ้งหรีดเจริญเติบโตขึ้นเมื่อควบคุมอุณหภูมิได้เหมาะสม แสดงให้เห็นว่าเกษตรกรได้รับประโยชน์จากระบบอย่างชัดเจน โดยเฉพาะในด้านการลดภาระการดูแลและการเพิ่มประสิทธิภาพการเลี้ยงจิ้งหรีด สรุปได้ว่า เกษตรกรมีความพึงพอใจต่อระบบตู้เลี้ยงจิ้งหรีดอัตโนมัติในทุกด้านอยู่ในระดับดีถึงดีมาก โดยเฉพาะด้านประโยชน์ที่ได้รับจากระบบซึ่งได้คะแนนสูงสุด แสดงให้เห็นว่าระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถตอบสนองความต้องการของเกษตรกร ช่วยลดภาระการทำงาน และเพิ่มประสิทธิภาพในการเลี้ยงจิ้งหรีดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ระบบนี้มีศักยภาพในการขยายผลไปยังเกษตรกรรายอื่น ๆ ในชุมชนและพื้นที่ใกล้เคียงได้

อภิปรายผล

การพัฒนาแบบตู้เลี้ยงจิ้งหรีดอัตโนมัติด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งได้ดำเนินการตามขั้นตอนการวิจัยอย่างครบถ้วน ตั้งแต่การศึกษาข้อมูล การออกแบบ การพัฒนาระบบ การทดสอบ การถ่ายทอดเทคโนโลยี การติดตั้ง และการประเมินประสิทธิภาพ ผล

การดำเนินงานสร้างสรรค์ขึ้นเป็นระบบที่สมบูรณ์และพร้อมใช้งานจริง โดยระบบมีความสามารถในการตั้งค่าและควบคุมอุณหภูมิและความชื้นอย่างอัตโนมัติหรือควบคุมด้วยตนเองได้ และสามารถแสดงผลบนอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือได้อย่างถูกต้อง แนวทางการออกแบบระบบดังกล่าวสอดคล้องกับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี IoT ในภาคการเกษตรอัจฉริยะ เช่น งานวิจัยของ อติภาพ มณีเต็ม และศิริวรรณ แดงขำ (2566)¹³ ที่พัฒนาระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อมผ่านอินเทอร์เน็ตในทุกสิ่งสำหรับแปลงผักยกโต๊ะ โดยแสดงให้เห็นว่าการตรวจวัดและแสดงผลข้อมูลแบบเรียลไทม์ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการสภาพแวดล้อมทางการเกษตร อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้แตกต่างในบริบทของการประยุกต์ใช้กับการเลี้ยงจิ้งหรีดซึ่งเป็นระบบปิดและต้องการการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นอย่างต่อเนื่องและแม่นยำผลการควบคุมสภาพแวดล้อมดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของเกียรติสิน กาญจนวนิชกุล และคณะ (2563)⁷ ที่พบว่า การควบคุมสภาพแวดล้อมโดยเฉพาะอุณหภูมิและความชื้นเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความสำเร็จในการเลี้ยงจิ้งหรีด ผลกระทบต่อชุมชนพบว่าเกษตรกรที่ไม่ได้เป็นเจ้าของแปลงทดลองแต่ได้เข้าร่วมกิจกรรมถ่ายทอดเทคโนโลยีมีความสนใจที่จะนำระบบมาใช้ในฟาร์มของตนเองเนื่องจากเห็นประโยชน์ในการควบคุมและปรับอุณหภูมิภายในตู้ให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของจิ้งหรีด โดยเฉพาะในช่วงฤดูหนาวที่อากาศหนาวเย็นมักทำให้จิ้งหรีดโตช้าและอัตราการรอดลดลง ระบบควบคุมอัตโนมัติช่วยรักษาอุณหภูมิให้คงที่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเติบโตได้ตลอดเวลา ส่งผลให้จิ้งหรีดโตเร็วขึ้น ใช้ระยะเวลาเลี้ยงสั้นลง และลดการสูญเสียจากอากาศเย็นได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังคำให้สัมภาษณ์ของเกษตรกรที่ว่า "ระบบนี้ดีตรงที่ไม่ต้องคอยเปิดไฟเพิ่มเองตอนอากาศเย็น มันจะเปิดเองอัตโนมัติ ทำให้ไม่ต้องเฝ้าทั้งวัน จิ้งหรีดก็แข็งแรง โตไวกว่าเดิมเยอะ" สอดคล้องกับบัณฑิต โพธิ์ทอง และคณะ (2562)¹⁴ ที่พบว่าเทคโนโลยี IoT ช่วยเพิ่มความสะดวกสบายและลดภาระให้กับเกษตรกร ซึ่งเกษตรกร

สามารถควบคุมการทำงานของระบบผ่านสมาร์ทโฟนได้
ทุกที่ทุกเวลา ในมุมมองเชิงเทคนิคด้านระบบ IoT
ประสิทธิภาพของระบบควบคุมสภาพแวดล้อมขึ้นอยู่กับ
ความเสถียรของการสื่อสารผ่านเครือข่ายไร้สายและความ
แม่นยำของอุปกรณ์ตรวจวัดที่ใช้ การออกแบบระบบให้
ทำงานในโหมดอัตโนมัติช่วยลดผลกระทบจากความล่าช้า
ในการสื่อสารผ่านเครือข่าย และทำให้ระบบสามารถ
ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นได้อย่างต่อเนื่อง แม้ในบาง
ช่วงที่การเชื่อมต่อเครือข่ายไม่เสถียร

อย่างไรก็ตาม ระบบที่พัฒนาขึ้นยังมีข้อจำกัดทาง
เทคนิคบางประการ เช่น ความแม่นยำของเซนเซอร์วัด
อุณหภูมิและความชื้นที่อาจได้รับผลกระทบจาก
สภาพแวดล้อมภายในตู้เลี้ยง รวมถึงข้อจำกัดของ
แพลตฟอร์มที่ใช้ในการจัดเก็บข้อมูล ซึ่งยังไม่ได้ออกแบบ
ให้รองรับการเก็บข้อมูลระยะยาวในปริมาณมาก ข้อจำกัด
ดังกล่าวอาจส่งผลต่อการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงลึกในระยะ
ยาว

สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัยพบว่า การสร้างองค์ความรู้ด้าน
อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งสำหรับการเลี้ยงจิ้งหรีดช่วยให้
เข้าใจปัจจัยด้านอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสม โดยใช้
อุปกรณ์เซนเซอร์ DHT11 ร่วมกับบอร์ดควบคุม
NodeMCU ESP8266 และระบบปริิเลย์ควบคุมพัดลมและ
หลอดไฟอินฟราเรด ส่วนการออกแบบระบบตู้เลี้ยงมีขนาด
60×120×60 เซนติเมตร สามารถควบคุมอุณหภูมิและ
ความชื้นได้ทั้งแบบอัตโนมัติและแบบควบคุมด้วยตนเอง
แสดงผลข้อมูลแบบเรียลไทม์ผ่านจอ LCD และแอปพลิเคชัน
Blynk การถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับเกษตรกรและผู้สนใจจากทั้ง 16 หมู่บ้านในตำบลหนองใหญ่ รวมกว่า 50
คน โดยสาธิตการใช้งานและติดตั้งระบบต้นแบบในฟาร์ม
พบว่าเกษตรกรมีทัศนคติที่ดี เห็นว่าระบบช่วยเพิ่ม
ประสิทธิภาพการเลี้ยงได้จริง และลดเวลาในการดูแลตู้ได้
ผลการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญและเกษตรกรพบว่าระบบมี
ประสิทธิภาพและความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับดี
โดยเฉพาะด้านอุปกรณ์ IoT ฮาร์ดแวร์ และประโยชน์ที่

ได้รับจากระบบ ซึ่งช่วยเพิ่มความสะดวก ลดแรงงาน และ
ส่งเสริมคุณภาพผลผลิต ทั้งนี้ผลการวิจัยสอดคล้องกับงาน
ของปฐมพงษ์ หอมศรี และสุรียนต์ ศรีมาตย์ (2566)³ ที่
พบว่าการใช้เทคโนโลยี IoT ช่วยเพิ่มผลผลิตและกำไรใน
ฟาร์มไก่ และงานของภัครพล อาจอาษา และคณะ
(2564)⁴ ที่พัฒนาเทคโนโลยีเกษตรอัจฉริยะสำหรับฟาร์ม
เพาะเลี้ยงปลานิลและได้รับความพึงพอใจในระดับสูงจาก
เกษตรกรเช่นเดียวกัน หากมีการพัฒนาระบบเพิ่มเติมให้
สามารถจัดเก็บข้อมูลจากเซนเซอร์ในฐานข้อมูลระยะยาว
จะสามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปวิเคราะห์พฤติกรรมของ
จิ้งหรีดและแนวโน้มของสภาพแวดล้อมได้อย่างละเอียด
มากขึ้น ซึ่งอาจนำไปสู่การค้นพบองค์ความรู้ใหม่และการ
ปรับปรุงประสิทธิภาพการเลี้ยงจิ้งหรีดในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

1. ภาณุเดช ทิพย์อักษร, อรรถพล วิเวก, อนุพงศ์
ไพโรจน์. การประยุกต์ใช้งานแอปพลิเคชัน
ปัญญาประดิษฐ์ร่วมกับอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งบน
คลาวด์ในอาคารอัจฉริยะ. วารสารวิศวกรรมศาสตร์:
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 2565;7:52-61.
2. ณรงค์ ทมเจริญ, ทศนีย์ สิริวิทยกุล, เพ็ญศรี บางบอน,
สุชาติ คำทางชล. ผลกระทบจากอุตสาหกรรม 4.0 ที่มี
ผลต่อโลจิสติกส์ 4.0. วารสารวิชาการสถาบัน
วิทยาการจัดการแห่งแปซิฟิก 2561;12:413-25.
3. ปฐมพงษ์ หอมศรี, สุรียนต์ ศรีมาตย์. เพิ่มผลกำไร
บริหารจัดการฟาร์มไก่อัจฉริยะ ด้วยอินเทอร์เน็ตออฟติงส์
ผ่านเว็บแอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟน กรณีศึกษาโรง
เลี้ยงไก่แห่งหนึ่งในจังหวัดนครราชสีมา.
วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี 2566;16:30-41.
4. ภัครพล อาจอาษา, วิโรจน์ อภินันท์ธนากร, ประมุข
ศรีชัยวงศ์, วิระพงศ์ จันทร์สนาม. การพัฒนา
เทคโนโลยีเกษตรอัจฉริยะสำหรับฟาร์มเพาะเลี้ยงปลา
นิล โดยใช้อินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งเป็นฐาน. วารสาร
มจร อุบลปริทรรศน์ 2564;6:531-44.

5. วันวิสาข์ มงคล, บุษกรณ์ ลีเจียรระ. องค์ประกอบของการยอมรับโปรตีนจีเอ็มโอใน ออสเตรเลีย. J Mod Learn Dev 2564;6:209-21.
6. ณัฐเสฏฐ์ ทรัพย์ทองดี, นภาพร นิลาภรณ์กุล. ต้นทุนและผลตอบแทนในการเพาะเลี้ยง จีเอ็มโอเชิงพาณิชย์. วารสารวิทยาลัยบัณฑิตศึกษาการจัดการ มข 2562;12:165-86.
7. เกียรติสิน กาญจนวนิชกุล, จุมพล แก้วสีหะวงศ์, วุฒิยา อุตตราชา, สุพรรณ ยางอยู่. การทำฟาร์มจีเอ็มโออัจฉริยะโดยใช้อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง. วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ 2563;6:98-112.
8. Haller M. DHT11 Sensor: A comprehensive study on temperature and humidity sensor. Int J Sci Res Eng Manag [Internet]. 2024 [cited 2025 Nov 14];08:1-11. Available from: <https://doi.org/10.55041/ijserem29310>
9. Hashim NSH. Arduino-based temperature and humidity monitoring for smart agriculture. Open Access Res J Sci Technol [Internet]. 2025 [cited 2025 Nov 14];14:172-4. Available from: <https://doi.org/10.53022/oarjst.2025.14.2.0109>
10. Mahindrakar A, Kalal R, Ravdive A, Chougule A, Jagdale V. IoT-Based smart home Automation System using NodeMCU. Int J Multidiscip Res [Internet]. 2024 [cited 2025 Nov 14];6. Available from: <https://doi.org/10.36948/ijfmr.2024.v06i06.30217>
11. Saraswathi P, Anandhika S, Hannah Nissi M, Prabha M, Poornima Srinithi A, Dhiyanesh B. Precision Farming: A Temperature and Humidity Monitoring Approach. In: 2024 5th International Conference on Image Processing and Capsule Networks (ICIPCN); 2024 Jul 3-4; Dhulikhel: Nepal; 2024. p. 698-702.
12. Serikul P, Nakpong N, Nakjuatong N. Smart Farm Monitoring via the Blynk IoT Platform: Case Study: Humidity Monitoring and Data Recording. In: 2018 16th International Conference on ICT and Knowledge Engineering (ICT&KE); 2018 Nov 21-23; Bangkok: Thailand; 2018. p. 1-6.
13. อติภาพ มณีเต็ม, ศิริวรรณ แดงจำ. การพัฒนาชุดต้นแบบระบบตรวจวัดแสง อุณหภูมิ และความชื้นด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ผ่านอินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง (IoT) สำหรับแปลงผักกาดได้. PBRU Science Journal 2566;20:1-18.
14. ธิติศักดิ์ โพธิ์ทอง, ประสิทธิ์ เมฆอรุณ, สิทธิชัย ชูสำโรง. การพัฒนาระบบฟาร์มอัจฉริยะสำหรับเกษตรกรยุคใหม่ด้วยซอฟต์แวร์รหัสเปิด และอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง. วารสารเกษตรนเรศวร 2562;16:10-7.

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสถิติทดสอบที่อิงวิธีการสุ่มตัวอย่างซ้ำสำหรับแผนแบบบล็อกสมบูรณ์เชิงสุ่มภายใต้ข้อมูลที่มีการแจกแจงล็อกนอร์มัล

A Comparison of the Efficiency of Resampling-Based Test Statistics for Randomized Complete Block Designs under Log-Normal Distributed Data

ธนพร เพ็งรักษ์ และ บำรุงศักดิ์ เผื่อนอารีย์*

Thanaporn Pengrak and Bumrungsak Phuenaree*

ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

Department of Mathematics, Faculty of Science, Burapha University

*Corresponding author; E-mail: bumrungsak@buu.ac.th

Received: 04 December 2025 /Revised: 07 January 2026 /Accepted: 09 February 2026

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของสถิติทดสอบที่อิงวิธีการสุ่มตัวอย่างซ้ำสำหรับแผนแบบบล็อกสมบูรณ์เชิงสุ่ม ได้แก่ สถิติทดสอบเอฟแบบบูตสแตรป์ และสถิติทดสอบเอฟแบบการเรียงสับเปลี่ยน โดยเปรียบเทียบกับวิธีพื้นฐานอีกสองวิธี ได้แก่ สถิติทดสอบเอฟ และ สถิติทดสอบฟรายด์แมน ทำการศึกษาภายใต้ข้อมูลที่มีการแจกแจงล็อกนอร์มัล กำหนดจำนวนทรีตเมนต์ที่ทำการศึกษา คือ 3 ทรีตเมนต์ จำนวนบล็อกที่ทำการศึกษา คือ 3, 5, 7 และ 10 บล็อก ระดับนัยสำคัญในการทดสอบเท่ากับ 0.05 ผลการศึกษาพบว่า สถิติทดสอบเอฟ สถิติทดสอบฟรายด์แมน และสถิติทดสอบเอฟแบบการเรียงสับเปลี่ยนสามารถควบคุมความผิดพลาดแบบที่ 1 ได้ทุกกรณีที่ทำการศึกษา แต่สถิติทดสอบเอฟแบบบูตสแตรป์สามารถควบคุมความผิดพลาดแบบที่ 1 ได้เมื่อ จำนวนบล็อกตั้งแต่ 5 ขึ้นไป เมื่อพิจารณากำลังการทดสอบพบว่า สถิติทดสอบเอฟมีกำลังการทดสอบสูง เมื่อจำนวนบล็อกเท่ากับ 3 แต่เมื่อจำนวนบล็อกเพิ่มมากขึ้น สถิติทดสอบเอฟแบบบูตสแตรป์ มีกำลังการทดสอบสูงที่สุดเกือบทุกกรณี

คำสำคัญ: การจำลองแบบมอนติคาร์โล แผนการทดลองแบบบล็อกสมบูรณ์เชิงสุ่ม การควบคุมความผิดพลาดแบบที่หนึ่ง กำลังการทดสอบ

Abstract

This study aimed to evaluate the performance of resampling-based test statistics for the randomized complete block design. The tests considered were the bootstrap F-test and the permutation F-test, and they were compared with two traditional methods: the F-test and the Friedman test. The experiments were conducted under log-normal distributed data. The design included three treatments, and the numbers of blocks considered were 3, 5, 7, and 10. The significance level was set at 0.05. The results showed that the F-test, the Friedman test, and the permutation F-test controlled the Type I error in all scenarios, while the bootstrap F-test controlled the Type I error only when there were at least five blocks. For statistical power, the F-test had the highest power when there were three blocks. However, when the number of blocks increased, the bootstrap F-test provided the highest power in most cases.

Keywords: Monte Carlo simulation, Randomized complete block designs, Type I error control, Power of the test.

บทนำ

ในการวิจัยเชิงปริมาณ การเลือกใช้สถิติทดสอบให้เหมาะสมกับลักษณะข้อมูลเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากจะส่งผลโดยตรงต่อความถูกต้อง และความน่าเชื่อถือของผลการวิจัย การทดสอบสมมติฐานสำหรับการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประชากรมากกว่าสองกลุ่ม มักนิยมใช้วิธีการทางสถิติที่เรียกว่า การวิเคราะห์ความแปรปรวน ด้วยสถิติทดสอบเอฟ ซึ่งเป็นการทดสอบแบบอิงพารามิเตอร์ที่มีหนึ่งในข้อสมมุติเบื้องต้นที่สำคัญคือ ข้อมูลต้องมีการแจกแจงปกติ อย่างไรก็ตาม ในงานวิจัยบางเรื่อง ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์อาจไม่ได้เป็นไปตามข้อสมมุติเบื้องต้นดังกล่าว

การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์เชิงสุ่ม (Randomized complete block design: RCBD) ซึ่งเป็นแผนการทดลองที่นิยมใช้เมื่อมีความแตกต่างของหน่วยทดลอง โดยออกแบบให้หน่วยทดลองที่คล้ายคลึงกันถูกจัดรวมเป็นบล็อก อย่างไรก็ตาม แม้แผนการทดลองจะถูกออกแบบอย่างเหมาะสม ข้อมูลที่ได้ก็อาจไม่สอดคล้องกับข้อสมมุติเบื้องต้นในเรื่องของการแจกแจงปกติของข้อมูลที่ได้ ตัวอย่างเช่น ในงานวิจัยของ Nedelkov et al.¹ ได้ศึกษาพฤติกรรมการกินอาหารของสัตว์ และใช้แผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์เชิงสุ่ม โดยที่ตัวแปรตามบางตัวมีการแจกแจงแบบล็อกนอร์มัล ได้แก่ ข้อมูลปริมาณอาหารที่สัตว์กิน (กรัม) อัตราการกิน (กรัม/นาทีก) เป็นต้น นอกจากนี้ ยังมีข้อมูลที่ไม่ได้เกิดจากการทดลองแต่เป็นข้อมูลที่มีความสำคัญ ซึ่งเมื่อนำมาศึกษาแล้วพบว่า ไม่มีการแจกแจงปกติ ตัวอย่างเช่น ข้อมูลเกี่ยวกับมลพิษทางอากาศ ได้แก่ ฝุ่นละอองขนาดเล็ก (Particulate matter) PM_{2.5}, PM₁₀ เป็นต้น โดยข้อมูลดังกล่าวสำหรับในบางพื้นที่มีการแจกแจงล็อกนอร์มัล²⁻⁴ ซึ่งเป็นตัวอย่างของข้อมูลที่ทำให้การใช้สถิติอิงพารามิเตอร์ไม่ใช่วิธีการที่เหมาะสม

จากปัญหาดังกล่าว ทำให้เกิดความสนใจในการใช้สถิติแบบไม่อิงพารามิเตอร์มากขึ้น เนื่องจากไม่มีข้อสมมุติเบื้องต้นเกี่ยวกับการแจกแจงของข้อมูล สำหรับการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่ากลางมากกว่า 2 กลุ่มใน

กรณีนี้ วิธีการทดสอบที่ใช้แพร่หลาย คือ การทดสอบฟรายด์แมน (Friedman test) ซึ่งใช้สำหรับกรณีที่ตัวอย่างไม่เป็นอิสระต่อกันและอยู่ในมาตราอันดับ นอกจากการทดสอบฟรายด์แมนยังมีงานวิจัยของ O'Shaughnessy et al.⁵ ได้ประยุกต์ใช้วิธีบูตสแตรป์ร่วมกับสถิติทดสอบเอฟ ซึ่งวิธีบูตสแตรป์นี้ช่วยให้สามารถประมาณการค่าสถิติ เช่น ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน หรือค่าพี (P-value) ที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน ของประชากรจากข้อมูลตัวอย่างได้โดยไม่ต้องอ้างอิงถึงรูปแบบการแจกแจงของประชากร นอกจากนั้น บารุงศักดิ์ เฝื่อนอารีย์ และ โชคศรัณย์ สิริลิพันธุ์⁶ ได้ใช้สถิติทดสอบการเรียงสับเปลี่ยนสำหรับทดสอบความแตกต่างระหว่างค่ากลางมากกว่า 2 ประชากร ซึ่งเป็นอีกหนึ่งวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติในกรณีที่ข้อมูลไม่มีการแจกแจงปกติ การใช้วิธีบูตสแตรป์ และการเรียงสับเปลี่ยนนี้ช่วยให้นักวิจัยสามารถทำการทดสอบสมมติฐานและวิเคราะห์ข้อมูลได้อย่างยืดหยุ่นโดยไม่ต้องคำนึงถึงการแจกแจงที่เฉพาะเจาะจง ซึ่งเป็นเหตุผลที่วิธีเหล่านี้ได้รับความนิยมในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยเฉพาะในกรณีที่ข้อมูลไม่ตรงตามสมมติฐานเบื้องต้น และจากงานวิจัยของ วณิดา พงษ์ศักดิ์ชาติ และ นพรัตน์ แป้นงาม⁷ ได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทดสอบความเท่ากันของค่ากลางของประชากรมากกว่า 2 กลุ่ม เมื่อข้อมูลอยู่ในมาตราอันดับและมีความสัมพันธ์กัน พบว่าการทดสอบเอฟเป็นวิธีทดสอบที่มีความสามารถในการควบคุมความผิดพลาดแบบที่ 1 ได้ดีกว่าวิธีการทดสอบฟรายด์แมนเมื่อกลุ่มตัวอย่างมีขนาดเล็ก แต่เมื่อตัวอย่างมีขนาดใหญ่ขึ้นพบว่าการทดสอบเอฟ และการทดสอบฟรายด์แมนมีความสามารถในการควบคุมความผิดพลาดแบบที่ 1 ใกล้เคียงกันในการแจกแจงที่ต่างกัน และงานวิจัยของ จิรภา โคมเดือน และ อัชฌา อระวีพร⁸ พบว่าวิธีบูตสแตรป์เป็นวิธีที่สามารถควบคุมความผิดพลาดแบบที่ 1 ได้ดีเมื่อขนาดตัวอย่างใกล้เคียง 30

ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาการเปรียบเทียบความสามารถในการควบคุมความผิดพลาดแบบที่ 1 และกำลังการทดสอบของการทดสอบเอฟ การทดสอบ

ฟรายด์แมน การทดสอบเอฟแบบบูตสทราป และการทดสอบเอฟแบบเรียงสับเปลี่ยนภายใต้แผนแบบบล็อก สมบูรณ์เชิงสุ่ม เมื่อข้อมูลมีการแจกแจงลอการิทึมที่มีขนาดตัวอย่างต่าง ๆ ซึ่งงานวิจัยในครั้งนี้ได้ศึกษาโดยใช้เทคนิคมอนติคาร์โลในการจำลองข้อมูล

เอกสารที่เกี่ยวข้อง

1. ตัวแบบเชิงสถิติ

ตัวแบบเชิงสถิติสำหรับค่าสังเกตที่ได้จากการทดลองที่ใช้แผนแบบบล็อกสมบูรณ์เชิงสุ่ม คือ

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}; \\ i = 1, 2, \dots, t; j = 1, 2, \dots, b$$

โดยที่

y_{ij} คือค่าสังเกตที่ได้จากหน่วยทดลองในบล็อกที่ j ที่ได้รับทรีตเมนต์ที่ i

μ คือค่าเฉลี่ยรวมของประชากร

τ_i คือ อิทธิพลของทรีตเมนต์ที่ i

β_j คือ อิทธิพลบล็อกที่ j

ε_{ij} คือ ความคลาดเคลื่อนจากการทดลอง โดย
มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1 และ

3

t คือ จำนวนทรีตเมนต์

b คือ จำนวนบล็อก

สำหรับงานวิจัยนี้จะกำหนดให้ปัจจัยที่สนใจศึกษาและปัจจัยรบกวนเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลตรึง (Fixed effect)

โดยการพิจารณา

$$\sum_{i=1}^t \tau_i = 0 \text{ และ } \sum_{j=1}^b \beta_j = 0 \text{ ซึ่งกำหนดระดับ}$$

ความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของทรีตเมนต์และอิทธิพลของบล็อก

โดยกำหนดให้

$$\Phi_\tau = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^t \tau_i^2}}{\sigma} \text{ และ } \Phi_\beta = \frac{\sqrt{\sum_{j=1}^b \beta_j^2}}{\sigma}$$

เมื่อ Φ_τ, Φ_β คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเบี่ยงเบนของอิทธิพลทรีตเมนต์และอิทธิพลบล็อก ตามลำดับ และ σ คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล โดยกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ความเบี่ยงเบนระหว่างอิทธิพลบล็อกเท่ากับ 7 เพื่อให้แต่ละบล็อกแตกต่างกันอย่างชัดเจน และสามารถกำหนดค่าอิทธิพลบล็อกได้ดัง Table 1

สำหรับการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ความเบี่ยงเบนของ ทรีต เม นต์ จะ แบ่ง ออก เป็น 3 ระดับ คือ 1, 2 และ 3 แทนระดับความแตกต่างน้อย ปานกลาง และมาก ตามลำดับ และสามารถกำหนดค่าอิทธิพลของทรีตเมนต์ได้ดัง Table 2-3 โดยแบ่งเป็น 2 กรณีคือ ทรีตเมนต์แตกต่างกันหนึ่งกลุ่มและทรีตเมนต์แตกต่างกันทุกกลุ่ม โดยทั้งสองกรณีจะใช้จำลองข้อมูลเพื่อศึกษากำลังการทดสอบของสถิติทดสอบ

Table 1. Block effect

β_j	Number of blocks			
	3	5	7	10
β_1	-9.8995	-8.8544	-7.9373	-6.9361
β_2	0	4.4272	-5.2915	-5.3947
β_3	9.8995	0	-2.6458	-3.8534
β_4	-	4.4272	0	-2.3120
β_5	-	8.8544	2.6458	-0.7707
β_6	-	-	5.2915	0.7707
β_7	-	-	7.9373	2.3120
β_8	-	-	-	3.8534
β_9	-	-	-	5.3947
β_{10}	-	-	-	6.9361

Table 2. Treatment effect (one-group difference)

σ	Φ_r	τ_1	τ_2	τ_3
1	1	-0.8165	0.4082	0.4082
	2	-1.6330	0.8165	0.8165
	3	-2.4495	1.2247	1.2247
3	1	-2.4495	1.2247	1.2247
	2	-4.8990	2.4495	2.4495
	3	-7.3485	3.6742	3.6742

Table 3. Treatment effect (across all groups)

σ	Φ_r	τ_1	τ_2	τ_3
1	1	-0.7071	0	0.7071
	2	-1.4142	0	1.4142
	3	-2.1213	0	2.1213
3	1	-2.1213	0	2.1213
	2	-4.2426	0	4.2426
	3	-6.3640	0	6.3640

2. สถิติทดสอบที่ศึกษามีรายละเอียดดังนี้

2.1 สถิติทดสอบเอฟ

$$F = \frac{\left[\frac{1}{b} \sum_{i=1}^t y_{i.}^2 - \frac{y_{..}^2}{tb} \right] / (t-1)}{\left[\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^b y_{ij}^2 - \frac{1}{b} \sum_{i=1}^t y_{i.}^2 - \frac{1}{t} \sum_{j=1}^b y_{.j}^2 + \frac{y_{..}^2}{tb} \right] / (t-1)(b-1)} \quad (1)$$

โดยที่ t คือ จำนวนทรีตเมนต์,

b คือ จำนวนบล็อก,

y_{ij} คือ ค่าสังเกตที่ได้จากหน่วยทดลองในบล็อกที่ j ที่ได้รับทรีตเมนต์ที่ i ,

$y_{i.}$ คือ ผลรวมของค่าสังเกตในทรีตเมนต์ที่ i ,

$y_{.j}$ คือ ผลรวมของค่าสังเกตในบล็อกที่ j และ

$y_{..}$ คือผลรวมของค่าสังเกตทั้งหมด

2.2 สถิติทดสอบฟรายด์แมน

$$Q = \left[\frac{12}{bt(t+1)} \sum_{i=1}^t R_i^2 \right] - 3b(t+1) \quad (2)$$

โดยที่ t คือ จำนวนทรีตเมนต์,

b คือ จำนวนบล็อก,

R_i คือ ผลรวมของลำดับที่ของทรีตเมนต์ที่ i

2.3 สถิติทดสอบเอฟแบบการเรียงสับเปลี่ยน

วิธีการเรียงสับเปลี่ยนถูกนำเสนอโดย Fisher⁹ มีหลักการคือ สมมุติตัวอย่างประกอบด้วย b บล็อก และ t ทรีตเมนต์ ดังนั้นข้อมูลที่ได้จะแทนด้วย y_{ij} ซึ่งเป็นค่าตอบสนองของทรีตเมนต์ที่ i ในบล็อกที่ j โดยที่ในแต่ละบล็อกจะทำการสุ่มตัวอย่างข้อมูลจากแต่ละทรีตเมนต์ภายในบล็อกนั้น ๆ แบบไม่ใส่คืน ทำซ้ำจนครบทุกบล็อกเพื่อสร้างชุดข้อมูลจำลองที่มีขนาดเท่ากับชุดข้อมูลเดิม หลังจากได้ข้อมูลตัวอย่างชุดใหม่แล้ว จะคำนวณค่าสถิติทดสอบ F_p ตามสมการที่ (1) และคำนวณ ค่าพี (p-value) โดยใช้สัดส่วนของค่าสถิติทดสอบในแต่ละครั้งที่มากกว่าค่าสถิติทดสอบของข้อมูลตั้งต้น สรุปเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

2.3.1 จำลองข้อมูลตามสถานการณ์ที่กำหนดและคำนวณสถิติทดสอบตั้งต้น F

2.3.2 เริ่มจากบล็อกที่ 1 สุ่มตัวอย่างซ้ำแบบไม่ใส่คืน ภายในบล็อกจนครบทุกทรีตเมนต์

2.3.3 ในบล็อกถัดมาสุ่มตัวอย่างซ้ำแบบไม่ใส่คืน ภายในบล็อกจนครบทุกทรีตเมนต์เช่นเดียวกัน ทำไปเรื่อย ๆ จนครบทุกบล็อกตามสถานการณ์ที่ศึกษา จะได้ข้อมูลการเรียงสับเปลี่ยนชุดที่ 1

2.3.4 คำนวณสถิติทดสอบจากข้อมูลชุดใหม่ได้เป็น F_p^1

2.3.5 ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 2.3.2 – 2.3.4 จำนวน 500 ครั้ง จะได้ค่าสถิติทดสอบ $F_p^1, F_p^2, \dots, F_p^{500}$

2.3.6 คำนวณค่าพีโดยใช้สัดส่วนของ $F_p > F$

2.4 สถิติทดสอบเอฟแบบบูตสแตรป์

วิธีบูตสแตรป์ถูกพัฒนาขึ้นโดย Efron¹⁰ ซึ่งเป็นวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบใส่คืน (Resampling with replacement) การประยุกต์ใช้สำหรับแผนแบบบล็อกสมบูรณ์เชิงสุ่มนั้น สมมุติตัวอย่างที่ประกอบด้วย b บล็อก และ t ทรีตเมนต์ ดังนั้นข้อมูลที่ได้จะแทนด้วย y_{ij} ซึ่งเป็นค่าตอบสนองของทรีตเมนต์ที่ i ในบล็อกที่ j โดยที่ในแต่ละบล็อกจะทำการสุ่มตัวอย่างข้อมูลจากแต่ละทรีตเมนต์ภายในบล็อกนั้น ๆ แบบใส่คืน ทำซ้ำจนครบทุกบล็อกเพื่อสร้างชุดข้อมูลจำลองที่มีขนาดเท่ากับชุดข้อมูลเดิม หลังจากได้ข้อมูลตัวอย่างชุดใหม่แล้ว จะคำนวณค่าสถิติทดสอบ F_p^1 ตามสมการที่ (1) และคำนวณค่าพีโดยใช้สัดส่วนของค่าสถิติทดสอบในแต่ละครั้งที่มากกว่าค่าสถิติทดสอบของข้อมูลตั้งต้น สรุปเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

2.4.1 จำลองข้อมูลตามสถานการณ์ที่กำหนดและคำนวณสถิติทดสอบตั้งต้น F

2.4.2 เริ่มจากบล็อกที่ 1 สุ่มตัวอย่างซ้ำแบบใส่คืน ภายในบล็อกจนครบทุกทรีตเมนต์

2.4.3 ในบล็อกล็อกถัดมาสุ่มตัวอย่างซ้ำแบบใส่คืนภายในบล็อกล็อกจนครบทุกทรีตเมนต์ เช่นเดียวกันทำไปเรื่อยๆจนครบทุกบล็อกล็อกตามสถานการณ์ที่ศึกษา จะได้ข้อมูลบุดสแตร็ปชุดที่ 1

2.5 การแจกแจงของค่าคลาดเคลื่อนที่ศึกษา

การแจกแจงล็อกนอร์มัล (Lognormal distribution) มีฟังก์ชันความน่าจะเป็นของการแจกแจงล็อกนอร์มัล

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\log x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right); x \geq 0, -\infty < \mu < \infty, \sigma > 0 \quad (3)$$

โดยที่ μ คือ พารามิเตอร์บ่งตำแหน่ง และ σ^2 คือ พารามิเตอร์บ่งขนาด สำหรับในงานวิจัยนี้ กำหนดให้พารามิเตอร์ (μ, σ^2) มีค่าเท่ากับ $(1, 0.1139)$ และ $(1, 0.5374)$ และปรับข้อมูลที่ได้ให้มีความเฉลี่ยเท่ากับ 0 ตามคุณสมบัติของค่าคลาดเคลื่อน อย่างไรก็ตามเมื่อใช้วิธีนี้ในการจำลอง ค่าคลาดเคลื่อนที่ได้ยังคงมีการแจกแจงล็อกนอร์มัล เพียงแต่เป็นการเปลี่ยนตำแหน่งพารามิเตอร์ของการแจกแจง (Shifted parameter) เพื่อให้เป็นไปตามคุณสมบัติของค่าคลาดเคลื่อนเท่านั้น ซึ่งการจำลองข้อมูลลักษณะนี้เพื่อต้องการให้ข้อมูลที่ได้สอดคล้องกับข้อมูลจริงที่เกิดขึ้นในทางปฏิบัติมากที่สุด

2.6 เกณฑ์ในการพิจารณา

2.6.1 ความสามารถในการควบคุมความผิดพลาดแบบที่ 1 พิจารณาจากค่าประมาณความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 ซึ่งคำนวณจาก สัดส่วนของการปฏิเสธสมมติฐานหลักเมื่อสมมติฐานหลักเป็นจริง ($\hat{\alpha}$) และนำมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ของ Bradley¹¹ หาก $\hat{\alpha} \in [0.025, 0.075]$ แสดงว่าสถิติทดสอบดังกล่าวสามารถควบคุมความผิดพลาดแบบที่ 1 ได้

2.6.2 กำลังการทดสอบ คำนวณจาก สัดส่วนของการปฏิเสธสมมติฐานหลักเมื่อสมมติฐานหลักเป็นเท็จ ซึ่งจะพิจารณาเฉพาะสถิติทดสอบที่สามารถควบคุมความผิดพลาดแบบที่ 1 ได้เท่านั้น โดยที่สถิติทดสอบที่มีค่ากำลังการทดสอบสูงที่สุดจะถือว่ามีประสิทธิภาพมากที่สุด

2.4.4 คำนวณสถิติทดสอบจากข้อมูลชุดใหม่ได้

เป็น F_B^1

2.4.5 ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 2.4.2 - 2.4.4 จำนวน 500 ครั้ง จะได้ค่าสถิติทดสอบ $F_B^1, F_B^2, \dots, F_B^{500}$

2.4.6 คำนวณค่าพีโดยใช้สัดส่วนของ $F_B > F$

วิธีดำเนินการวิจัย

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสถิติทดสอบที่อิงวิธีการสุ่มตัวอย่างซ้ำสองวิธี ได้แก่ สถิติทดสอบเอฟแบบการเรียงสับเปลี่ยนและสถิติทดสอบเอฟแบบบุดสแตร็ป โดยเปรียบเทียบกับวิธีพื้นฐานอีกสองวิธี ได้แก่ สถิติทดสอบเอฟ สถิติทดสอบฟรายด์แมน ซึ่งใช้ทดสอบค่ากลางสำหรับแผนแบบบล็อกสมบูรณ์เชิงสุ่มภายใต้ข้อมูลที่มีการแจกแจงล็อกนอร์มัล กำหนดค่าเฉลี่ยรวมของประชากร (μ) เท่ากับ 10 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร เท่ากับ 1 และ 3 ตามลำดับ โดยใช้ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 ทำซ้ำด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล 5,000 รอบ โดยกำหนดจำนวนรอบบุดสแตร็ปและรอบการเรียงสับเปลี่ยนอย่างละ 500 รอบ ในการศึกษาที่กำหนดจำนวนทรีตเมนต์เท่ากับ 3 ทรีตเมนต์ จำนวนบล็อกเท่ากับ 3, 5, 7 และ 10 จำลองข้อมูลโดยให้ไม่มีความแตกต่างกันของข้อมูลระหว่างทรีตเมนต์ แล้วคำนวณค่าประมาณความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 สำหรับการคำนวณค่าประมาณกำลังการทดสอบจะต้องจำลองข้อมูลให้มีความแตกต่างกันระหว่างทรีตเมนต์ ตาม Table 2 - 3 เพื่อให้ครอบคลุมสถานการณ์ที่เป็นไปได้ทุกรูปแบบ จากนั้นพิจารณาประสิทธิภาพของสถิติทดสอบจากความสามารถในการควบคุมความผิดพลาดแบบที่ 1 และกำลังการทดสอบสำหรับขั้นตอนการจำลองข้อมูลมีดังนี้

1. สร้างความคลาดเคลื่อน (ε_{ij}) ให้มีการแจกแจงล็อกนอร์มัลตามที่กำหนด

2. สร้างอิทธิพลของทรีตเมนต์ (τ_i) ตามสมมุติฐานหลักซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กรณีย่อย ได้แก่

2.1 การประมาณค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 จะสร้างอิทธิพลของทรีตเมนต์ตามสมมุติฐานหลัก นั่นคือ ค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์ไม่มีความแตกต่างกัน ซึ่งในงานวิจัยนี้กำหนดให้ τ_1, τ_2, τ_3 มีค่าเท่ากับ 0

2.2 การประมาณค่ากำลังการทดสอบ จะสร้างอิทธิพลของทรีตเมนต์ตามสมมุติฐานทางเลือก กล่าวคือค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์แตกต่างกัน โดยกำหนดค่า τ_1, τ_2, τ_3 ตาม Table 2 - 3

3. สร้างอิทธิพลของบล็อก (β_j) ให้แตกต่างกัน โดยกำหนดค่า β_j ตาม Table 1

4. สร้างข้อมูลตามแผนการทดลองบล็อกสมบูรณ์เชิงสุ่ม

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij};$$

$$i = 1, 2, \dots, t; j = 1, 2, \dots, b$$

5. คำนวณค่าพีจากสถิติทดสอบที่ศึกษาทุกวิธี

6. เปรียบเทียบค่าพีที่ได้กับระดับนัยสำคัญที่กำหนด หากค่าพีน้อยกว่า 0.05 จะปฏิเสธสมมุติฐานหลัก

7. ทำซ้ำขั้นตอนที่ 1 – 3 จำนวน 5,000 ครั้ง

8. คำนวณค่าประมาณความน่าจะเป็นของการเกิดความผิดพลาดแบบที่ 1 หรือค่าประมาณกำลังการทดสอบแล้วแต่กรณีนี้ที่จำลองข้อมูลในข้อ 2.1 - 2.2

ผลการวิจัย

ค่าประมาณความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 และ ค่าประมาณกำลังการทดสอบ แสดงใน Table 4-6 โดยกำหนดสัญลักษณ์ของสถิติทดสอบแต่ละวิธีคือ สถิติทดสอบเอฟ (F-test: F) สถิติทดสอบฟรายด์แมน (Friedman test: FM) สถิติทดสอบเอฟแบบบูตสแตรป์ (Bootstrap F-test: FB) และ สถิติทดสอบเอฟแบบการเรียงสับเปลี่ยน (Permutation F-test: FP) ตามลำดับ

จากการศึกษาความสามารถในการควบคุมความผิดพลาดแบบที่ 1 ของสถิติทดสอบ แสดงใน Table 4 พบว่า สถิติทดสอบเอฟ สถิติทดสอบฟรายด์แมน และสถิติทดสอบเอฟแบบการเรียงสับเปลี่ยน สามารถควบคุมความผิดพลาดแบบที่ 1 ได้ตามเกณฑ์ของ Bradley ทุกกรณี ในขณะที่สถิติทดสอบเอฟแบบบูตสแตรป์สามารถควบคุมความผิดพลาดแบบที่ 1 ได้เฉพาะกรณีที่จำนวนบล็อกไม่น้อยกว่า 5 เท่านั้น

Table 4. Type I error rates

σ	Number of blocks	Test statistics			
		F	FM	FB	FP
1	3	0.0478	0.0256	0.0992**	0.0478
	5	0.0462	0.0390	0.0740	0.0510
	7	0.0522	0.0556	0.0624	0.0516
	10	0.0498	0.0484	0.0598	0.0524
3	3	0.0376	0.0282	0.0906**	0.0308
	5	0.0332	0.0374	0.0720	0.0496
	7	0.0368	0.0462	0.0640	0.0506
	10	0.0372	0.0448	0.0562	0.0480

** indicates failure to control the type I error rate under Bradley's criterion

สำหรับการศึกษาประสิทธิภาพของการทดสอบ
ด้วยกำลังการทดสอบ กรณีข้อมูลแตกต่างกันหนึ่งกลุ่ม
แสดงใน Table 5 และ Figure 1 – 2 สถิติทดสอบเอฟจะมี
กำลังการทดสอบสูงที่สุดเมื่อจำนวนบล็อกมีขนาดเล็ก
($b = 3$) แต่เมื่อจำนวนบล็อกเพิ่มมากขึ้น ($b \geq 5$)
สถานการณ์ส่วนใหญ่สถิติทดสอบเอฟแบบบูตสแตรป์

มีกำลังการทดสอบสูงที่สุด อย่างไรก็ตามเมื่ออิทธิพลของ
บล็อกมีขนาดเพิ่มขึ้นสถิติทดสอบเอฟทั้งสามวิธีคือ สถิติ
ทดสอบเอฟ สถิติทดสอบเอฟแบบเรียงสับเปลี่ยน และสถิติ
ทดสอบเอฟแบบบูตสแตรป์ มีกำลังการทดสอบสูง
ใกล้เคียงกัน

Table 5. Estimated power of the test for one-group difference

σ	Φ_r	Number of blocks	Test statistics			
			F	FM	FB	FP
1	1	3	0.1918*	0.1102	-	0.1676
		5	0.3864	0.3030	0.4718*	0.3880
		7	0.5632	0.4692	0.6112*	0.5692
		10	0.7452	0.6308	0.7674*	0.7480
	2	3	0.5724*	0.2136	-	0.3334
		5	0.9030	0.7740	0.9330*	0.8974
		7	0.9830	0.9010	0.9860*	0.9824
		10	0.9972	0.9784	0.9978*	0.9974
	3	3	0.8578*	0.2456	-	0.4068
		5	0.9936	0.9522	0.9962*	0.9920
		7	0.9990*	0.9838	0.9988	0.9990*
		10	1.0000*	0.9994	0.9998	1.0000*
3	1	3	0.2862*	0.1518	-	0.2268
		5	0.5078	0.4652	0.5952*	0.5410
		7	0.6466	0.6056	0.6988*	0.6676
		10	0.7830	0.7840	0.8098*	0.7996
	2	3	0.8028*	0.6776	-	0.3614
		5	0.8952	0.8054	0.9200*	0.9004
		7	0.9564	0.8924	0.9626*	0.9586
		10	0.9882	0.9794	0.9886	0.9888*
	3	3	0.9390*	0.8762	-	0.4056
		5	0.9770	0.9266	0.9830*	0.9780
		7	0.9904	0.9624	0.9910*	0.9898
		10	0.9982	0.9976	0.9986*	0.9986*

* indicates the highest estimated power of the test

- indicates failure to control the type I error

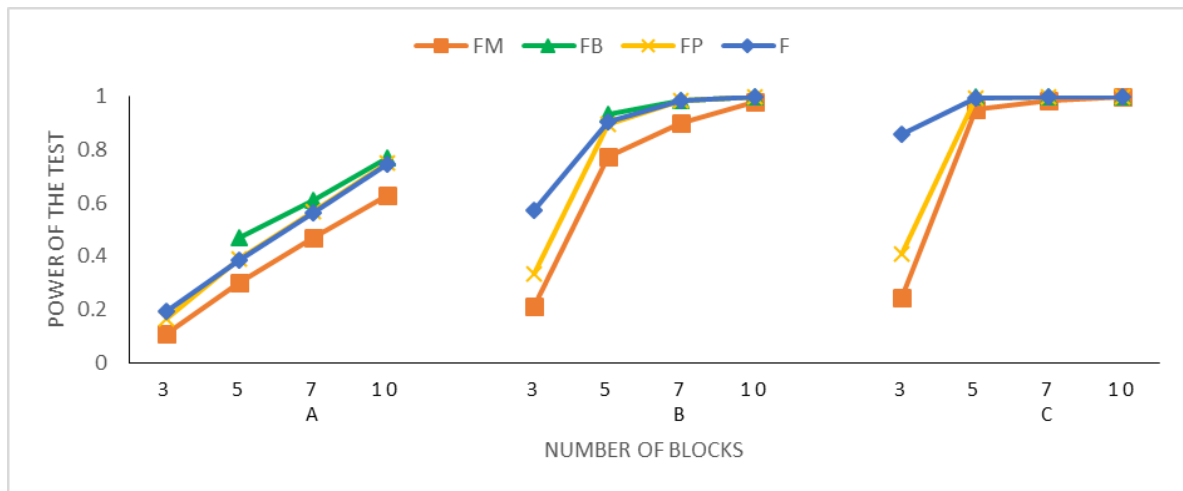


Figure 1. Estimated power of the test for single-group difference under $\sigma = 1$ for the treatment effect

Coefficient: A : $\Phi_\tau = 1$, B : $\Phi_\tau = 2$, C : $\Phi_\tau = 3$

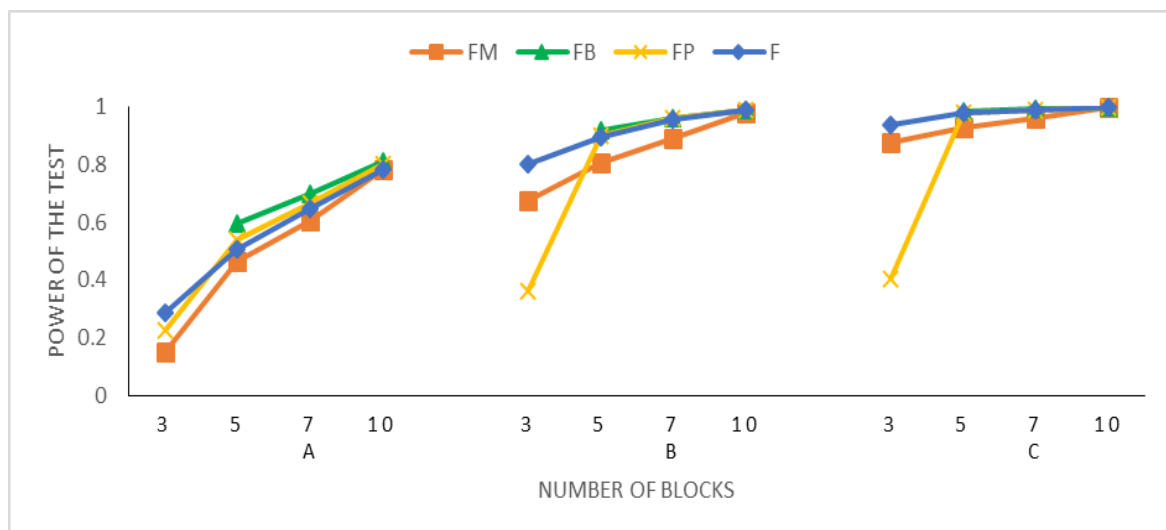


Figure 2. Estimated power of the test for single-group difference under $\sigma = 3$ for the treatment effect

Coefficient: A : $\Phi_\tau = 1$, B : $\Phi_\tau = 2$, C : $\Phi_\tau = 3$

Table 6. Estimated power of the test for across all groups

σ	Φ_r	Number of blocks	Test statistics			
			F	FM	FB	FP
1	1	3	0.1972*	0.1116	-	0.1666
		5	0.3924	0.3018	0.4716*	0.3958
		7	0.5644	0.4918	0.6084*	0.5636
		10	0.7470	0.6554	0.7644*	0.7492
	2	3	0.5832*	0.3710	-	0.4944
		5	0.9002	0.7936	0.9260*	0.8910
		7	0.9804	0.9532	0.9842*	0.9800
		10	0.9984*	0.9942	0.9982	0.9984*
	3	3	0.8708*	0.6764	-	0.7914
		5	0.9958	0.9664	0.9966*	0.9932
		7	0.9994*	0.9992	0.9994*	0.9984
		10	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*
3	1	3	0.2838*	0.1940	-	0.2694
		5	0.4988	0.4700	0.5820*	0.5204
		7	0.5078	0.4750	0.5898*	0.5276
		10	0.7888	0.8502*	0.8130	0.7970
	2	3	0.6764*	0.5088	-	0.6266
		5	0.9024	0.8446	0.9224*	0.9002
		7	0.9002	0.8360	0.9138*	0.9100
		10	0.9882	0.9968*	0.9898	0.9888
	3	3	0.8832*	0.7304	-	0.8338
		5	0.9774	0.9530	0.9800*	0.9754
		7	0.9800	0.9510	0.9824*	0.9764
		10	0.9996	1.0000*	0.9998	0.9994

* indicates the highest estimated power of the test

- indicates failure to control the type I error

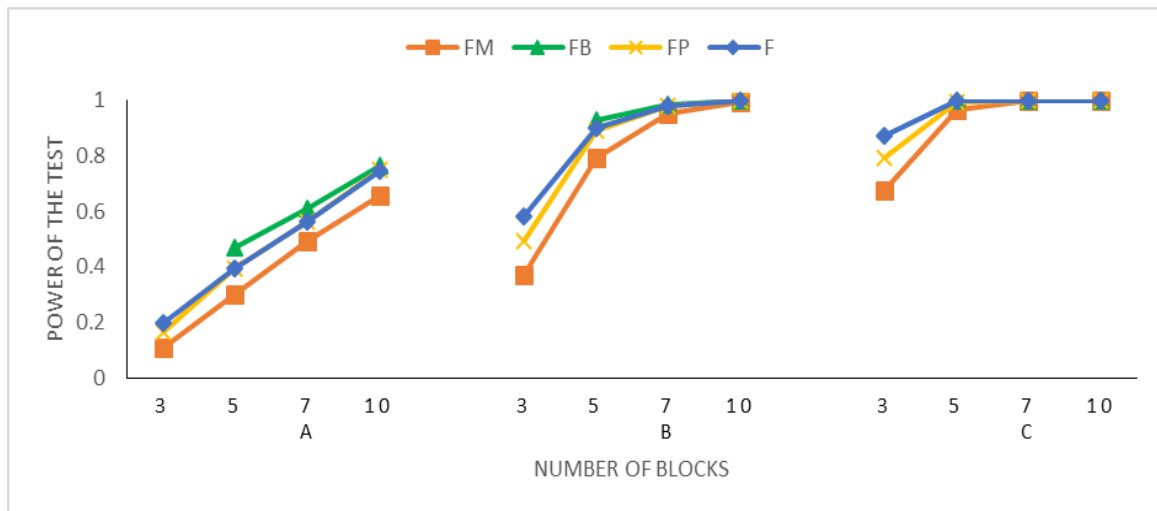


Figure 3. Estimated power of the test for across all groups under $\sigma = 1$ for the treatment effect Coefficient:

A : $\Phi_\tau = 1$, B : $\Phi_\tau = 2$, C : $\Phi_\tau = 3$

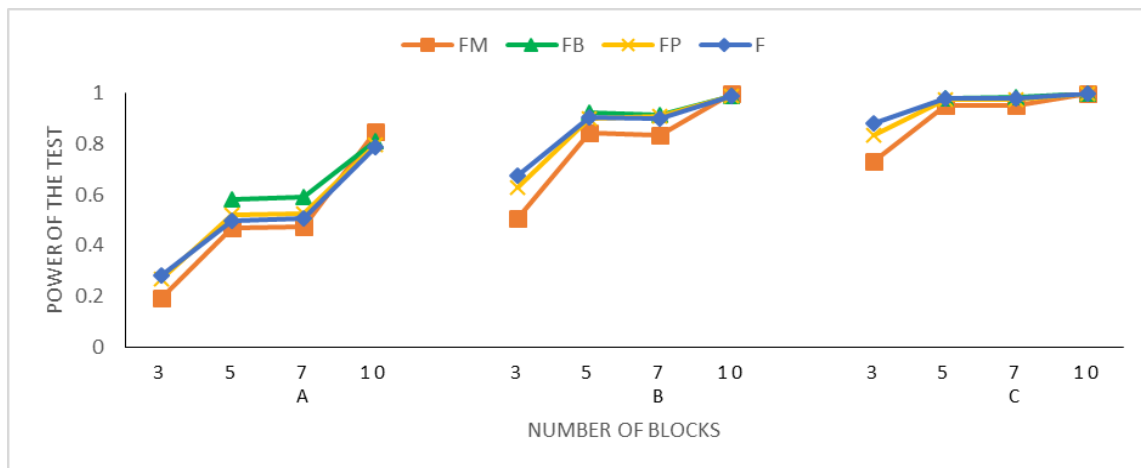


Figure 4. Estimated power of the test for across all groups under $\sigma = 3$ for the treatment effect Coefficient:

A : $\Phi_\tau = 1$, B : $\Phi_\tau = 2$, C : $\Phi_\tau = 3$

ในส่วนของการนี้ข้อมูลแตกต่างกันทุกกลุ่มแสดงใน Table 6 และ Figure 3 - 4 แบ่งการสรุปผลเป็น 2 ส่วน คือ ในส่วนแรกข้อมูลมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1 พบว่าสถิติทดสอบเอฟจะมีกำลังการทดสอบสูงที่สุดเมื่อ จำนวนบล็อกมีขนาดเล็ก ($b = 3$) แต่เมื่อจำนวนบล็อก เพิ่มขึ้น ($b \geq 5$) สถานการณ์ส่วนใหญ่สถิติทดสอบ เอฟแบบนุตสแตรป์มีกำลังการทดสอบสูงที่สุด อย่างไรก็ตามเมื่ออิทธิพลของบล็อกมีขนาดเพิ่มขึ้น สถิติทดสอบเอฟ ทั้งสามวิธีคือ สถิติทดสอบเอฟ สถิติทดสอบเอฟแบบเรียง สับเปลี่ยน และสถิติทดสอบเอฟแบบนุตสแตรป์ มีกำลัง การทดสอบสูงใกล้เคียงกัน

สำหรับส่วนที่สองข้อมูลค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 3 พบว่าสถิติทดสอบเอฟจะมีกำลังการทดสอบสูง ที่สุดเมื่อจำนวนบล็อกมีขนาดเล็ก ($b = 3$) ในขณะที่สถิติ ทดสอบเอฟแบบนุตสแตรป์มีกำลังการทดสอบสูงที่สุด เมื่อ จำนวนบล็อกเท่ากับ 5 และ 7 นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อ จำนวนบล็อกเท่ากับ 10 สถิติทดสอบสถิติทดสอบฟรายด์ แมนจะมีกำลังการทดสอบสูงที่สุด อย่างไรก็ตามเมื่อ อิทธิพลของบล็อกมีขนาดเพิ่มขึ้น สถิติทดสอบทุกวิธีมี กำลังการทดสอบใกล้เคียงกัน

สรุปผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

จากผลการศึกษาพบว่าสถิติทดสอบเอฟ สถิติทดสอบฟรายด์แมน และสถิติทดสอบเอฟแบบการเรียงสับเปลี่ยน สามารถควบคุมความผิดพลาดแบบที่ 1 ได้ตามเกณฑ์ของ Bradley ทุกกรณี ในขณะที่สถิติทดสอบเอฟแบบบูตสแตรป์ สามารถควบคุมความผิดพลาดแบบที่ 1 ได้เฉพาะกรณีที่จำนวนบล็อกไม่น้อยกว่า 5 เนื่องจากวิธีดังกล่าวเป็นการสุ่มตัวอย่างซ้ำแบบใส่คืน ซึ่งหากข้อมูลมีขนาดเล็กเกินไป (จำนวนบล็อกน้อย) จะทำให้ได้ตัวอย่างซ้ำแบบเดิม ๆ ไม่หลากหลาย จึงทำให้ไม่สามารถควบคุมความผิดพลาดแบบที่ 1 ได้ โดยผลจากการทดลองที่ได้แสดงถึงการปฏิเสธสมมติฐานหลัก (ตัดสินใจผิดพลาด) มากเกินกว่าที่กำหนดไว้ในงานวิจัย ส่งผลให้เกิดข้อสรุปที่คลาดเคลื่อนและความน่าเชื่อถือลดลง ดังนั้น สถิติทดสอบเอฟแบบบูตสแตรป์จึงไม่มีประสิทธิภาพในกรณีที่กล่าวมา

ผลการพิจารณากำลังการทดสอบ พบว่า เมื่อจำนวนบล็อกมีขนาดเล็ก สถิติทดสอบเอฟมีกำลังการทดสอบสูงที่สุดทุกกรณี และเมื่อจำนวนบล็อกขนาดใหญ่ขึ้น สถานการณ์ส่วนใหญ่สถิติทดสอบเอฟแบบบูตสแตรป์จะมีกำลังการทดสอบสูงที่สุด อย่างไรก็ตามเมื่ออิทธิพลของบล็อกมีขนาดเพิ่มขึ้นสถิติทดสอบเอฟทั้งสามวิธีคือ สถิติทดสอบเอฟ สถิติทดสอบเอฟแบบเรียงสับเปลี่ยน และสถิติทดสอบเอฟแบบบูตสแตรป์ มีกำลังการทดสอบสูงใกล้เคียงกัน สำหรับสถิติทดสอบฟรายด์แมนจะมีกำลังการทดสอบสูงที่สุดเมื่อข้อมูลมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมากและจำนวนบล็อกมีขนาดใหญ่เท่านั้น

นอกจากนี้ยังพบว่าค่ากำลังการทดสอบแปรผันตามจำนวนบล็อก อิทธิพลของบล็อก และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล กล่าวคือ เมื่อจำนวนบล็อก อิทธิพลของบล็อก และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล มีค่ามากขึ้น กำลังการทดสอบของทุกวิธีการจะเพิ่มขึ้นด้วย

สำหรับการนำไปใช้ในทางปฏิบัติ หากการทดลองมีจำนวนบล็อกน้อย สามารถใช้สถิติทดสอบเอฟได้ถึงแม้ว่าข้อมูลจะไม่ได้มีการแจกแจงปกติซึ่งในงานวิจัยนี้คือข้อมูลมีการแจกแจงล็อกนอร์มัล เนื่องจากผลการทดสอบข้างต้นเห็นได้ว่าสถิติทดสอบเอฟมีความแกร่งและมีกำลัง

การทดสอบสูงที่สุด แต่ในกรณีที่จำนวนบล็อกขนาดปานกลาง สามารถใช้สถิติทดสอบเอฟแบบบูตสแตรป์ ได้ดี และหากจำนวนบล็อกมีขนาดใหญ่ สามารถเลือกใช้สถิติทดสอบได้ทุกวิธีเนื่องจากมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน

ผลการทดลองที่ได้สามารถใช้เป็นแนวทางในการศึกษาเพิ่มเติมได้ กล่าวคือ อาจศึกษาข้อมูลที่มีการแจกแจงอื่น ๆ เพิ่มเติม เช่น การแจกแจงแกมมา การแจกแจงไวบูล เป็นต้น อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ศึกษาเฉพาะกรณีที่ทรีตเมนต์เท่ากับ 3 กลุ่ม ดังนั้น อาจศึกษาเพิ่มเติมในกรณีที่จำนวนทรีตเมนต์มากกว่า 3 กลุ่ม เพื่อให้ผลการทดลองที่ได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับข้อมูลจริงอย่างครอบคลุมมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

1. Nedelkov K, Harper MT, Melgar A, Chen X, Räisänen S, Martin CMMR, et al. Acceptance of flavored concentrate premixes by young ruminants following a short-term exposure. J Dairy Sci 2019;102:388-94.
2. Tharu NK, Baidhya S. Modeling PM_{2.5} and TSP concentrations: a comparison of Weibull, lognormal, and gamma distributions. Patan Prospect J 2024;4:69-78.
3. Hamid HA, Yahaya AS, Ramli NA, UI-Saufie AZ. Finding the best statistical distribution model in PM₁₀ concentration modeling by using lognormal distribution. J Appl Sci 2013;13:294-300.
4. Pongsakchat V, Kidpholjaroen P. The statistical distributions of PM_{2.5} in Rayong and Chonburi provinces, Thailand. Asian J Appl Sci 2020;8:172-7.
5. O'Shaughnessy PY, Hui FKC, Müller S, Welsh AH. Bootstrapping F test for testing random effects in linear mixed models. [Internet]. 2018 [cited 2024 Oct 5]. Available from:

- <https://www.researchgate.net/publication/329568773>.
6. บำรุงศักดิ์ เฝื่อนอารีย์, โชคศรีบุญญ์ สิริสัมพันธ์. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสถิติทดสอบสำหรับค่าเฉลี่ยประชากรมากกว่า 2 กลุ่ม ภายใต้การแจกแจงแบบสมมาตร. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา 2561;23:510-9.
 7. วณิดา พงษ์ศักดิ์ชาติ, นพรัตน์ แป้นงาม. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทดสอบความเท่ากันของค่ากลางเมื่อข้อมูลอยู่ในมาตราอันดับและมีความสัมพันธ์กัน. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา 2561;23:1070-83.
 8. จิรภา โคมเดื่อน, อัสฉณา อระวีพร. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวสถิติที่ใช้ทดสอบค่าเฉลี่ยของ 3 ประชากรในกรณีที่มีความแปรปรวนไม่เท่ากัน. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 2560;25:918-28.
 9. Fisher RA. The design of experiments. New York: Hafner Publishing Company; 1971.
 10. Efron B, Tibshirani RJ. An introduction to the bootstrap. New York: Chapman & Hall; 1993.
 11. Bradley JV. Robustness? Br J Math Stat Psychol 1978;31:144–52.

การพัฒนาระบบติดตามเครื่องมือผ่าตัดด้วยเทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อสนับสนุนการบริหารจัดการในแผนกผ่าตัดเล็ก กรณีศึกษาโรงพยาบาลรัฐแห่งหนึ่งในจังหวัดกาญจนบุรี

Development of a Surgical Instrument Tracking System Using Digital Technology to Support Management in the Minor Operating Department: A Case Study of a Public Hospital in Kanchanaburi Province

ธามนิธิศ ปรางทอง, วียาดา พลชัย, นิรุต์ จอมเจริญ*, มาลินี คำเครือ, พิศาล คงเอียด และณรงค์ พันธุ์คง

Tamnithit Prangthong, Wiyada Pollachai, Nirut Jomcharoen*, Malinee Kumkruea, Pisan Khongaed and Narong Punkong

สาขาวิชาเทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อธุรกิจ คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี

Program in Digital Technology for Business, Faculty of Management Science, Kanchanaburi Rajabhat University

*Corresponding author; Email: Jomcharoen@kru.ac.th

Received: 22 January 2026 /Revised: 10 March 2026 /Accepted: 16 March 2026

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาระบบติดตามเครื่องมือผ่าตัดด้วยเทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อสนับสนุนการบริหารจัดการในแผนกผ่าตัดเล็ก 2) เพื่อประเมินคุณภาพพัฒนาระบบติดตามเครื่องมือผ่าตัดด้วยเทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อสนับสนุนการบริหารจัดการในแผนกผ่าตัดเล็ก 3) เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานพัฒนาระบบติดตามเครื่องมือผ่าตัดด้วยเทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อสนับสนุนการบริหารจัดการในแผนกผ่าตัดเล็ก ผู้วิจัยพัฒนาและออกแบบโดยใช้ทฤษฎีวงจรการพัฒนาระบบสารสนเทศ (System Development Life Cycle: SDLC) ประเมินคุณภาพด้วยทฤษฎีกล่องดำ (Black Box Testing) และประเมินความพึงพอใจด้วยทฤษฎี DeLone & McLean Information System Success Model (D&M IS Success Model) เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ โปรแกรม Canva Google GoogleSheet visual studio code ภาษาที่ใช้ ได้แก่ HTML CSS ผู้วิจัยใช้แบบประเมินคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 คน และแบบประเมินความพึงพอใจจากผู้ใช้งาน จำนวน 30 คน ด้วยวิธีการคัดเลือกแบบบังเอิญ (Accidental Selection) วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิจัยพบว่า 1) ระบบสามารถเข้าใช้งานจาก <https://surgical-instrument-tracking.my.canva.site/> สามารถเข้าใช้งานผ่านระบบออนไลน์ โดยผู้ใช้งานสามารถเข้าสู่ระบบผ่านหน้าเว็บไซต์เพื่อดูสถานะของชุดเครื่องมือ เช่น “รับแล้ว”, “กำลังทำความสะอาด”, “ทำเชื้อเสร็จแล้ว” หรือ “ส่งคืนเรียบร้อยแล้ว” เป็นต้น ระบบสามารถเรียกดูประวัติในการใช้งานย้อนหลังได้เพื่อความโปร่งใสและตรวจสอบได้ง่าย 2) ผลการประเมินคุณภาพของระบบจากผู้เชี่ยวชาญ อยู่ในระดับมาก 3) ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน อยู่ในระดับมากที่สุด

คำสำคัญ: ระบบติดตาม เครื่องมือผ่าตัด แผนกผ่าตัดเล็ก การบริหารจัดการ เทคโนโลยีดิจิทัล

Abstract

This research aims to: 1) develop a surgical instrument tracking system using digital technology to support management in the minor operating department; 2) evaluate the quality of the developed surgical instrument tracking system using digital technology to support management in the minor operating department; and 3) assess the user satisfaction of the developed surgical instrument tracking system using digital technology to support management in the minor operating department. The researcher designed and developed the system using the System Development Life Cycle (SDLC) theory, evaluated system quality using the Black Box Testing theory, and assessed user satisfaction using the DeLone & McLean Information System Success Model (D&M IS Success Model). The research tools included Canva, GoogleSheet, and Visual Studio Code, with programming languages HTML and CSS. The researcher used a quality assessment form evaluated by three experts and a user satisfaction assessment form evaluated by 30 users, selected through Accidental Sampling. The data were analyzed using descriptive statistics, including percentage, mean, and standard deviation. The research results revealed that: 1) The system can be accessed via <https://surgical-instrument-tracking.my.canva.site/> and operated online. Users can log in through the website to view the status of surgical instrument sets, such as "Received," "Being Cleaned," "Sterilized," or "Returned." The system can also display usage history for transparency and easy verification. 2) The quality evaluation of the system by experts was at a high level. 3) The user satisfaction evaluation was at the highest level.

Keywords: Tracking System, Surgical Instruments, Minor Operating Department, Management, Digital Technology

บทนำ

เทคโนโลยีดิจิทัลมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อการยกระดับการบริหารจัดการในโรงพยาบาล ซึ่งป็นองค์กรที่ต้องดำเนินงานภายใต้ข้อมูลจำนวนมาก กระบวนการซับซ้อน และความจำเป็นในการตัดสินใจที่แม่นยำในเวลาจำกัด การนำเทคโนโลยีดิจิทัลเข้ามาช่วยบริหารจัดการ ช่วยให้เพิ่มประสิทธิภาพการไหลเวียนของข้อมูล ลดความผิดพลาดจากการทำงานด้วยเอกสาร และส่งเสริมการตัดสินใจเชิงนโยบายอย่างมีข้อมูลรองรับ ทั้งยังช่วยสนับสนุนการบริหารทรัพยากรและบุคลากรให้เกิดความคุ้มค่าและโปร่งใส โดยเฉพาะในยุคที่โรงพยาบาลยังต้องเผชิญหน้ากับข้อจำกัดด้านงบประมาณและความต้องการบริการที่เพิ่มสูงขึ้น

อย่างมาก การเปลี่ยนผ่านสู่ระบบดิจิทัลจึงถือเป็นยุทธศาสตร์หลักที่ช่วยให้องค์กรสาธารณสุข สามารถดำเนินงานอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืนในระยะยาว ในกระบวนการให้บริการทางการแพทย์โดยเฉพาะการผ่าตัด เครื่องมือผ่าตัดนับเป็นอุปกรณ์สำคัญที่ต้องผ่านขั้นตอนการทำความสะอาดและฆ่าเชื้ออย่างเคร่งครัดก่อนนำกลับมาใช้งานในแต่ละครั้ง โดยทั่วไปโรงพยาบาลหรือสถานพยาบาลจะมีหน่วยงานเฉพาะที่เรียกว่า หน่วยเวชภัณฑ์ปราศจากเชื้อ (Central Sterile Supply Department: CSSD) ซึ่งทำหน้าที่รับเครื่องมือที่ใช้แล้วจากห้องผ่าตัดมาทำความสะอาด ฆ่าเชื้อ และจัดส่งกลับไปให้หน่วยงานที่ร้องขอ เพื่อให้สามารถนำกลับไปใช้งานได้

อย่างปลอดภัย¹ กระบวนการนี้มีความต่อเนื่องและเกี่ยวข้องกับหลายฝ่าย เช่น ห้องผ่าตัด แผนกพยาบาล และเจ้าหน้าที่ CSSD ซึ่งต้องมีการรับ - ส่ง จัดเก็บ และตรวจนับรายการเครื่องมือในแต่ละรอบงาน โดยอาศัยการจัดทำเอกสารหรือการจดบันทึกประกอบในขั้นตอนต่าง ๆ เพื่อให้สามารถควบคุมการทำงานให้เป็นไปตามมาตรฐานของโรงพยาบาลและหลักสูตรอนามัยอย่างเคร่งครัด² การศึกษาและเก็บข้อมูลภายในห้องผ่าตัดเล็ก (OR เล็ก) ของโรงพยาบาลรัฐแห่งหนึ่งในจังหวัดกาญจนบุรี พบว่ายังมีข้อจำกัดหลายประการในกระบวนการรับ - ส่งเครื่องมือผ่าตัดระหว่างหน่วยงานและหน่วยเวชภัณฑ์ปราศจากเชื้อ (CSSD) โดยเฉพาะการบันทึกรายการเครื่องมือที่ส่งไปฆ่าเชื้อและการตรวจสอบเมื่อรับคืน ซึ่งส่วนใหญ่ อาศัยการจดบันทึกด้วยลายมือหรือใช้เอกสารกระดาษ ส่งผลให้เกิดปัญหา เช่น การลืมบันทึกรายการ การสื่อสารคลาดเคลื่อนระหว่างแผนก หรือการตรวจนับไม่ครบถ้วน³ เมื่อมีเครื่องมือสูญหายหรือขาดหาย มักไม่สามารถติดตามย้อนหลังได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังทำให้เจ้าหน้าที่ต้องเสียเวลาในการตรวจสอบและจัดเตรียมเครื่องมือในแต่ละรอบงานมากกว่าที่ควรจะเป็น ด้วยเหตุนี้ จึงมีศักยภาพและโอกาสที่ดีในการนำระบบเทคโนโลยีสารสนเทศเข้ามาช่วยสนับสนุนการบริหารจัดการงาน เช่น ระบบ Website หรือ QR - code เพื่อช่วยในการตรวจสอบแบบเรียลไทม์ ซึ่งจะช่วยยกระดับประสิทธิภาพการทำงาน ลดความผิดพลาด และเพิ่มความปลอดภัยในการให้บริการแก่ผู้ป่วยในห้องผ่าตัดเล็กของโรงพยาบาลได้อย่างเป็นรูปธรรม⁴

เทคโนโลยีดิจิทัลมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาการบริหารจัดการของโรงพยาบาล ซึ่งเป็นองค์กรที่ต้องจัดการข้อมูลจำนวนมากและกระบวนการที่ซับซ้อน การนำระบบดิจิทัลมาช่วยบริหารข้อมูลช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและลดความผิดพลาด โดยเฉพาะในกระบวนการทำงานที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือผ่าตัด

ซึ่งต้องผ่านขั้นตอนการทำความสะอาดและฆ่าเชื้อโดยหน่วยเวชภัณฑ์ปราศจากเชื้อ (CSSD) ก่อนนำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งในกระบวนการดังกล่าวเกี่ยวข้องกับหลายฝ่ายและอาศัยการบันทึกเอกสารจำนวนมาก ซึ่งยังคงใช้การจดด้วยมือในหลายโรงพยาบาล ส่งผลให้เกิดความล่าช้า ความคลาดเคลื่อน และยากต่อการตรวจสอบย้อนหลัง ดังนั้น การพัฒนาและประยุกต์ใช้เทคโนโลยีดิจิทัล เช่น ระบบเว็บไซต์หรือรหัส QR ในการติดตามเครื่องมือผ่าตัด จึงเป็นแนวทางที่มีศักยภาพในการเพิ่มประสิทธิภาพ ลดข้อผิดพลาด และยกระดับความปลอดภัยของบริการทางการแพทย์ในโรงพยาบาล

จากการสำรวจการดำเนินงานด้านการติดตามชุดเครื่องมือผ่าตัด พบว่าการบันทึกข้อมูลและการติดตามสถานะเครื่องมือยังคงดำเนินการในรูปแบบเอกสารกระดาษและการจดบันทึกด้วยลายมือส่งผลให้เกิดความล่าช้าและความคลาดเคลื่อนของข้อมูล โดยจากการเก็บข้อมูลย้อนหลังในช่วงระยะเวลา 3 เดือน พบว่า การค้นหาสถานะชุดเครื่องมือผ่าตัดใช้เวลาเฉลี่ยประมาณ 5 – 10 นาทีต่อครั้ง และมีข้อผิดพลาดในการบันทึกข้อมูลสถานะเครื่องมือประมาณ 8 – 12% ของรายการทั้งหมด นอกจากนี้ยังพบปัญหาการติดตามเครื่องมือที่ล่าช้าหรือไม่สามารถตรวจสอบสถานะได้ทันทีจำนวน 6 – 10 ครั้งต่อเดือน ปัญหาดังกล่าวอาจเพิ่มความเสี่ยงต่อการใช้เครื่องมือที่ยังไม่ผ่านกระบวนการทำให้ปราศจากเชื้อ และอาจส่งผลต่อความปลอดภัยของผู้ป่วย ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพการดำเนินงานของบุคลากรและความพร้อมของเครื่องมือในการผ่าตัด

วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาระบบติดตามเครื่องมือผ่าตัดด้วยเทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อสนับสนุนการบริหารจัดการในแผนกผ่าตัดเล็ก

2. เพื่อประเมินคุณภาพระบบติดตามเครื่องมือผ่าตัดด้วยเทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อสนับสนุนการบริหารจัดการในแผนกผ่าตัดเล็ก

3. เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบติดตามเครื่องมือผ่าตัดด้วยเทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อสนับสนุนการบริหารจัดการในแผนกผ่าตัดเล็ก

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เอกสารที่เกี่ยวข้อง

1. วงจรการพัฒนากระบวนงานสารสนเทศ (System Development Life Cycle: SDLC)

แนวทางการพัฒนาระบบสารสนเทศที่ได้รับการยอมรับและใช้มายาวนาน เรียกว่า SDLC ซึ่งประกอบด้วย 7 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การค้นหาปัญหาขององค์กร 2) การศึกษาความเหมาะสม 3) การวิเคราะห์ 4) การออกแบบ 5) การพัฒนาและทดสอบระบบ 6) การติดตั้ง 7) การซ่อมบำรุงระบบ⁵ ถึงแม้ขั้นตอนต่าง ๆ จะมีชื่อเรียกองค์ประกอบบางประการที่ต่างกันไปตามยุคสมัย อย่างไรก็ตาม หลักการสำคัญของกระบวนการยังคงมีความมั่นคงและเชื่อถือได้ การนำกระบวนการ 7 ขั้นตอนมาประยุกต์ใช้จะช่วยให้สามารถระบุซอฟต์แวร์ที่เหมาะสมมาใช้งานได้จริงตามบริบทขององค์กร อีกทั้งยังสะท้อนให้เห็นถึงบทเรียนที่เป็นประโยชน์สำหรับการพัฒนา การวิจัย และการเรียนการสอนด้านเทคโนโลยีสารสนเทศในอนาคต⁶

2. การออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้ด้วยเครื่องมือ Canva AI

การออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้ (User Interface: UI) เป็นองค์ประกอบสำคัญของระบบสารสนเทศที่มีผลโดยตรงกับประสบการณ์ของผู้ใช้ (User Experience: UX) แคนวา เอไอ (Canva AI) เป็นเครื่องมือยุคใหม่สำหรับนักออกแบบและพัฒนาซอฟต์แวร์ โดยสามารถสร้างแม่แบบ โครงร่าง และองค์ประกอบต่าง ๆ อีกทั้งยัง

สามารถใช้งานร่วมกับระบบปัญญาประดิษฐ์ (AI-Generated Design) ในการสร้างโค้ดเพื่อพัฒนาระบบได้อย่างรวดเร็ว และยังคงความสวยงาม สอดคล้องกับมาตรฐานการออกแบบขององค์กร⁷

3. ภาษา HTML

HTML เป็นภาษาหลักในการพัฒนาเว็บไซต์ ทำหน้าที่กำหนดโครงสร้างข้อมูลในหน้าเว็บ นอกจากนี้ยังเป็นรากฐานสำคัญในการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน ที่ช่วยให้นักพัฒนาสามารถออกแบบระบบให้สามารถรองรับการทำงานร่วมกับเทคโนโลยีอื่น เช่น CSS และ JavaScript ได้อย่างมีประสิทธิภาพ⁸ ในการพัฒนาระบบติดตามเครื่องมือผ่าตัด HTML ถูกใช้ในการสร้างโครงสร้างหน้าเว็บ เช่น แบบฟอร์มบันทึกข้อมูลเครื่องมือ รายการตรวจนับ หรือหน้ารายงานผลการติดตาม เพื่อให้เจ้าหน้าที่สามารถเข้าถึงและกรอกข้อมูลได้สะดวกจากทุกอุปกรณ์ โดยไม่ต้องติดตั้งโปรแกรมเพิ่มเติม HTML เป็นเทคโนโลยีหลักที่จำเป็นสำหรับการพัฒนาเว็บไซต์ทุกประเภท เนื่องจากมีความยืดหยุ่นสูง และรองรับมาตรฐานสากลของเว็บเบราว์เซอร์ทุกระบบ

4. ภาษา CSS

CSS (Cascading Style Sheets) เป็นภาษาที่ใช้ควบคุมลักษณะการแสดงผลของหน้าเว็บ เช่น สีพื้นหลัง ฟอนต์ ขนาดข้อความ ระยะห่าง และการจัดตำแหน่งขององค์ประกอบต่าง ๆ CSS ทำให้การพัฒนาและการปรับปรุงเว็บไซต์มีความยืดหยุ่น การออกแบบเป็นระเบียบและสวยงาม⁹ ในงานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ใช้ CSS จัดรูปแบบอินเทอร์เฟซของหน้าเว็บให้เหมาะสมกับลักษณะการใช้งานของเจ้าหน้าที่ เช่น การเน้นสีแถบสถานะเครื่องมือ การจัดเรียงข้อมูลให้อ่านง่าย และการออกแบบหน้าเว็บให้รองรับทั้งหน้าจอคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์พกพา (responsive design) ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสืบค้นและตรวจสอบข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว

5. Google Sheets เพื่อจัดการฐานข้อมูลในระบบสารสนเทศ

Google Sheets เป็นโปรแกรมตารางงานแบบออนไลน์ สามารถใช้งานร่วมกับเทคโนโลยีอื่นได้ เช่น Google App Script, Google Form และ Google Drive ฯลฯ การเชื่อมต่อกับเว็บไซต์ผ่าน Google Sheets API เพื่อให้เว็บไซต์สามารถอ่านและเขียนข้อมูลได้แบบเรียลไทม์ มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นฐานข้อมูลขนาดเล็ก Google Sheets API ช่วยให้ผู้พัฒนาสามารถสร้างระบบจัดการข้อมูลผ่านเว็บไซต์ได้โดยไม่ต้องพึ่งฐานข้อมูลแบบ SQL ช่วยให้เรามีฐานข้อมูลแบบประหยัดงบประมาณ และสามารถปรับเปลี่ยนได้ง่าย⁹

6. การทดสอบแบบกล่องดำ (Black Box Testing)

Black Box Testing เป็นการทดสอบซอฟต์แวร์ที่ผู้ทดสอบจะพิจารณาเฉพาะฟังก์ชันการทำงานโดยไม่ได้สนใจการตรวจสอบโครงสร้างภายในหรือโค้ดที่เขียน ผู้ทดสอบระบบด้วยวิธีการนี้จะตรวจสอบว่าข้อมูลที่ป้อนเข้าไปในระบบจะได้ผลลัพธ์ถูกต้องตามที่กำหนดไว้หรือไม่¹⁰ การทดสอบด้วยวิธีแบบกล่องดำมุ่งทดสอบระบบจากผู้ใช้งานปลายทาง (End-User Perspective) ตรวจสอบฟังก์ชันระบบที่ได้พัฒนาขึ้นมา นั้นว่าตอบสนองถูกต้อง ครบถ้วน ตามที่ต้องการหรือไม่ โดยมีเนื้อหาครอบคลุมประเด็น 1) ด้านการทำงานตามความต้องการของผู้ใช้ (User Requirement Fulfillment) 2) ด้านการใช้งานระบบ (System Usability) 3) ด้านการออกแบบง่ายต่อการใช้งาน (Ease of Use and Design) และ 4) ด้านความปลอดภัยของระบบ (System Security)¹¹

7. DeLone & McLean Information System Success Model (D&M IS Success Model)

DeLone & McLean Information System Success Model (D&M IS Success Model) ได้รับการพัฒนาโดย DeLone และ McLean เพื่อใช้ในการประเมินความสำเร็จของระบบสารสนเทศ โดยพิจารณา

จากองค์ประกอบหลัก 6 ด้าน ได้แก่ 1) คุณภาพของระบบ (System Quality) 2) คุณภาพของข้อมูล (Information Quality) 3) คุณภาพของบริการ (Service Quality) 4) การใช้ระบบ (System Use) 5) ความพึงพอใจของผู้ใช้ (User Satisfaction) และ 6) ผลลัพธ์สุทธิ (Net Benefits) ต่อมาได้มีการปรับปรุงรูปแบบให้เหมาะสมกับระบบยุคใหม่ที่มีการเชื่อมต่อและการให้บริการผ่านเว็บไซต์มากขึ้น โดยเพิ่มมิติของ Service Quality และขยายขอบเขตของ Net Benefits ให้ครอบคลุมผลลัพธ์ต่อทั้งผู้ใช้และองค์กร¹²

8. สถาปัตยกรรมระบบ (System Architecture)

สถาปัตยกรรมระบบ เป็นโครงสร้างภาพรวมของระบบสารสนเทศ ซึ่งประกอบด้วยวิธีการทำงานที่เชื่อมโยงองค์ประกอบต่าง ๆ ให้สามารถทำงานได้อย่างเป็นระบบ อีกทั้งยังช่วยให้สามารถระบบสามารถรองรับการทำงานในอนาคต สถาปัตยกรรมจึงถือว่าเป็นแนวคิดสำคัญในการพัฒนาระบบสารสนเทศในยุคปัจจุบัน¹³ งานวิจัยนี้เลือกใช้สถาปัตยกรรมแบบสามชั้น (Three-Tier Architecture) ซึ่งประกอบด้วย

1. Presentation Layer ได้แก่ ส่วนแสดงผลที่พัฒนาด้วย HTML และ CSS
2. Application Layer สำหรับประมวลผล เช่น การอัปเดตสถานะและจัดการข้อมูลการรับ-ส่งเครื่องมือ
3. Data Layer ซึ่งใช้ Google Sheets เป็นฐานข้อมูลกลางระหว่างแผนกผ่าตัดเล็กและหน่วย CSSD

แนวคิดนี้ได้รับการยอมรับว่าช่วยให้ระบบแยกหน้าที่อย่างชัดเจน ลดความผิดพลาด และทำให้การบำรุงรักษาเป็นไปได้ง่ายขึ้น¹⁴ นอกจากนั้น ระบบยังใช้แนวคิด Client-Server Architecture โดยผู้ใช้เข้าถึงระบบผ่านเว็บเบราว์เซอร์ (Client) แล้วเชื่อมต่อกับฐานข้อมูล Google Sheets ผ่าน API ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะของระบบสมัยใหม่ที่ต้องการความยืดหยุ่นและการเข้าถึงข้อมูลจากหลายอุปกรณ์¹⁵ ระบบยังใช้แนวคิด

API-Based Architecture เพื่อเชื่อมต่อข้อมูลระหว่างส่วนของแอปพลิเคชันกับฐานข้อมูล Google Sheets ช่วยให้ข้อมูลมีความถูกต้องแบบเรียลไทม์ และรองรับผู้ใช้หลายฝ่ายพร้อมกัน ซึ่งเป็นแนวคิดที่ถูกต้องใช้อย่างกว้างขวางในการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันยุคใหม่

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการเครื่องมือผ่าตัด: กรณีศึกษาห้องผ่าตัดโรงพยาบาลปทุมธานี จากมหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช ประเด็นสำคัญของงานวิจัย คือ ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถตอบสนองต่อการใช้งานได้จริง เมื่อถูกนำไปใช้งานจริงสามารถเก็บข้อมูลได้ครบถ้วน ถูกต้อง และค้นหาได้สะดวกรวดเร็ว รวมถึงสามารถจัดทำรายงานการเบิกจ่ายและการตรวจสอบเครื่องมือได้อย่างมีประสิทธิภาพ¹⁶

2. การจัดการข้อมูลเครื่องมือแพทย์โดยใช้รหัสคิวอาร์ (QR Code) งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงลักษณะของเทคโนโลยีคิวอาร์โค้ด (Quick Response: QR Code) โดยประยุกต์ใช้ในการพัฒนาระบบจัดการเครื่องมือแพทย์ ที่มุ่งเน้นการถอดรหัสคิวอาร์ที่มีความน่าเชื่อถือสูงในกระบวนการบริหารจัดการเครื่องมือแพทย์ ผลจากการนำระบบคิวอาร์ไปใช้พบว่า ระบบสามารถติดตามข้อมูลเครื่องมือแพทย์ได้แบบเรียลไทม์ ช่วยให้เกิดการบริหารจัดการเครื่องมือแพทย์ที่มีประสิทธิภาพ ระบบที่พัฒนาขึ้นมีลักษณะเด่นด้านความเป็นไปได้ในการใช้งาน ความสะดวก และความน่าเชื่อถือสูง สามารถรองรับการจัดการข้อมูลของเครื่องมือแพทย์ได้อย่างครบถ้วนตลอดกระบวนการ¹⁷

วิธีการวิจัย

ผู้วิจัยพัฒนาและออกแบบโดยใช้ทฤษฎีวงจรการพัฒนาระบบ (System Development Life Cycle: SDLC) ซึ่งประกอบด้วย 7 ขั้นตอนดังต่อไปนี้⁵

ขั้นตอนที่ 1 การค้นหาปัญหาขององค์กร (Problem Recognition)

ผู้วิจัยค้นหาปัญหาด้วยวิธีการสัมภาษณ์และสังเกตการทำงานจริงจากเจ้าหน้าที่ห้องผ่าตัดเล็กซึ่งยังพบว่าปัจจุบันมีขั้นตอนการจัดการเครื่องมือผ่าตัดดังนี้

1.1) เจ้าหน้าที่ยังคงบันทึกและตรวจนับเครื่องมือผ่าตัดด้วยกระดาษ

1.2) เจ้าหน้าที่ยังต้องตรวจสอบจำนวนเครื่องมือและสถานะของเครื่องมือแต่ละชิ้นด้วยตัวเอง

1.3) การติดตามสถานะของเครื่องมือ เช่น การคืนหรือการฆ่าเชื้อ ต้องใช้เวลานานและอาศัยกระดาษและอาจทำงานผิดพลาดหรือทำงานล่าช้าได้

จากการสังเกตและสัมภาษณ์พบปัญหาหลัก ๆ คือ 1) การใช้เอกสารกระดาษทำให้การเก็บข้อมูลโดยทั่วไปไม่เป็นระบบ และมีความเสี่ยงต่อการสูญหายหรือบันทึกข้อมูลผิดพลาดอย่างมาก 2) การตรวจนับด้วยตนเองทำให้เกิดความล่าช้าและโอกาสผิดพลาดสูง โดยเฉพาะในช่วงที่มีจำนวนเครื่องมือจำนวนมากหรือผ่าตัดหลายรอบต่อวัน 3) อาจทำให้เครื่องมือส่งคืนล่าช้า การฆ่าเชื้อไม่ตรงเวลาหรือเกิดความสับสนในข้อมูลสถานะของเครื่องมือผ่าตัด

ขั้นตอนที่ 2 การศึกษาความเหมาะสม (Feasibility Study)

2.1) ความเป็นไปได้ในทางเทคนิค สำหรับผู้เชี่ยวชาญด้านเทคนิคขององค์กร พบว่า 1) มีเจ้าหน้าที่ที่มีความรู้ในการพัฒนาระบบ 2) มีผู้เชี่ยวชาญที่มีความชำนาญในด้านโปรแกรมที่จะนำมาพัฒนาระบบ และ 3) ผู้ใช้โปรแกรมมีความเชี่ยวชาญในระดับหนึ่งที่จะสามารถใช้โปรแกรมได้

2.2) ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ การพัฒนาระบบใช้โปรแกรมและภาษาได้แก่ Canva, HTML, CSS, QR Code Generator, Visual Studio Code และฐานข้อมูล MySQL ซึ่งนำมาใช้เพื่อในการพัฒนาระบบเว็บไซต์โดยไม่เสียค่าใช้จ่ายในการจัดหาโปรแกรม ทำให้สามารถลดต้นทุนในการหาซอฟต์แวร์ลงไปได้

2.3) ความเป็นไปได้ในการปฏิบัติงาน การพัฒนาระบบติดตามและตรวจสอบเครื่องมือผ่าตัดจนเสร็จ

สมบูรณ์ จะช่วยให้เจ้าหน้าที่สามารถติดตามสถานะเครื่องมือผ่าตัดได้สะดวกและรวดเร็วโดยไม่ต้องอาศัยกระดาษ ทำให้ลดความล่าช้าและลดความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากการทำงานด้วยมือ นอกจากนี้ระบบช่วยให้สามารถติดตามสถานะการใช้งานได้อย่างเป็นระบบ

ขั้นตอนที่ 3 การวิเคราะห์ (Analysis)

ผู้วิจัยได้รวบรวมปัญหาและความต้องการของผู้ใช้งานโดยการวิเคราะห์จากการศึกษารูปแบบการทำงานเดิมภายในหน่วยผ่าตัดเล็กของโรงพยาบาลรัฐแห่งหนึ่งในจังหวัดกาญจนบุรี พบว่ากระบวนการบันทึกและติดตามเครื่องมือผ่าตัดยังคงใช้การจดบันทึกลงบนเอกสารกระดาษ ซึ่งทำให้เกิดความล่าช้าในการดำเนินงาน เสี่ยงต่อการเกิดความผิดพลาดของข้อมูล และยากต่อการตรวจสอบย้อนหลังเมื่อเกิดกรณีเครื่องมือสูญหายหรือขาดหาย ผู้วิจัยจึงได้รวบรวมข้อมูลเชิงลึกจากเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานจริงผ่านการสัมภาษณ์และการสังเกตกระบวนการทำงาน เพื่อระบุปัญหาและความต้องการของผู้ใช้งานอย่างเป็นระบบ ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาระบบสำหรับติดตามและจัดการเครื่องมือผ่าตัด เพื่อช่วยให้เจ้าหน้าที่สามารถทำงานได้อย่างและเพิ่มความถูกต้องแม่นยำของข้อมูล โดยใช้เทคโนโลยีเว็บแอปพลิเคชัน (Web Application) เป็นหลักในการพัฒนาโดยลักษณะการทำงานของระบบแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนผู้ใช้งาน (User Interface) ส่วน

ผู้ดูแลระบบ (Administration) ในการพัฒนาระบบติดตามเครื่องมือผ่าตัด ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้วงจรการพัฒนาระบบ (SDLC) โดยในขั้นตอนการวิเคราะห์และออกแบบระบบ (Analysis and Design Phase) ผู้วิจัยเลือกใช้ แผนภาพกระแสข้อมูล (Data Flow Diagram: DFD) เป็นเครื่องมือในการจำลองแบบจำลองเชิงตรรกะ (Logical Model) ของระบบ¹⁸ แผนภาพ DFD จะแสดงภาพรวมของเส้นทางการไหลของข้อมูลภายในระบบ ตั้งแต่ข้อมูลนำเข้า (Input) ผ่านกระบวนการประมวลผล (Process) ไปจนถึงการจัดเก็บ (Data Store) และผลลัพธ์ (Output) ซึ่งเป็นมาตรฐานสากลที่ช่วยให้ผู้วิจัยและผู้ใช้งานระบบสามารถทำความเข้าใจกระบวนการทำงานที่ซับซ้อนให้เป็นรูปธรรมและเข้าใจตรงกัน¹⁹ เพื่อให้เห็นขอบเขตภาพรวมของระบบติดตามเครื่องมือผ่าตัดฯ ผู้วิจัยได้จัดทำแผนภาพบริบท (Context Diagram) ดังแสดงใน Figure 1 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการหลักของระบบกับหน่วยงานภายนอก (External Entities)²⁰ โดยระบบได้ถูกออกแบบให้สอดคล้องกับมาตรฐานงานจ่ายกลาง (CSSD) ที่จำเป็นต้องมีการตรวจสอบย้อนกลับ (Traceability) ในทุกขั้นตอนการฆ่าเชื้อ²¹ โดยมีความสัมพันธ์กับผู้ใช้งาน 2 ส่วนหลัก



Figure 1. Context Diagram illustrating the operational scope of the Surgical Instrument Tracking System

จากแผนภาพบริบทที่ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ออกมา
เป็นแผนภาพกระแสข้อมูลระดับที่ 1 (DFD Level 1)
เพื่อแสดงกระบวนการและแหล่งจัดเก็บข้อมูล (Data
Stores) ที่เกิดขึ้นจริงภายในระบบ ดังแสดงใน Figure 2
ประกอบด้วย 4 กระบวนการหลัก

- Process 1.0 บันทึกการรับเครื่องมือ รับข้อมูลเครื่องมือปนเปื้อนและตรวจสอบความถูกต้องของรายการ

- Process 2.0 ดำเนินการฆ่าเชื้อ บันทึกลงและปรับปรุงสถานะตามขั้นตอนการล้าง บรรจุหีบห่อ และอบฆ่าเชื้อ เพื่อการติดตามแบบ Real-time

- **Process 3.0 จัดการคลังและจ่ายออก**

ตรวจสอบสถานะคงคลังและประมวลผลการตัดสต็อก

เมื่อมีการจ่ายเครื่องมือคืน

- Process 4.0 การแสดงผลและรายงาน ดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลเพื่อแสดงผลผ่าน Dashboard สำหรับสนับสนุนการตัดสินใจ

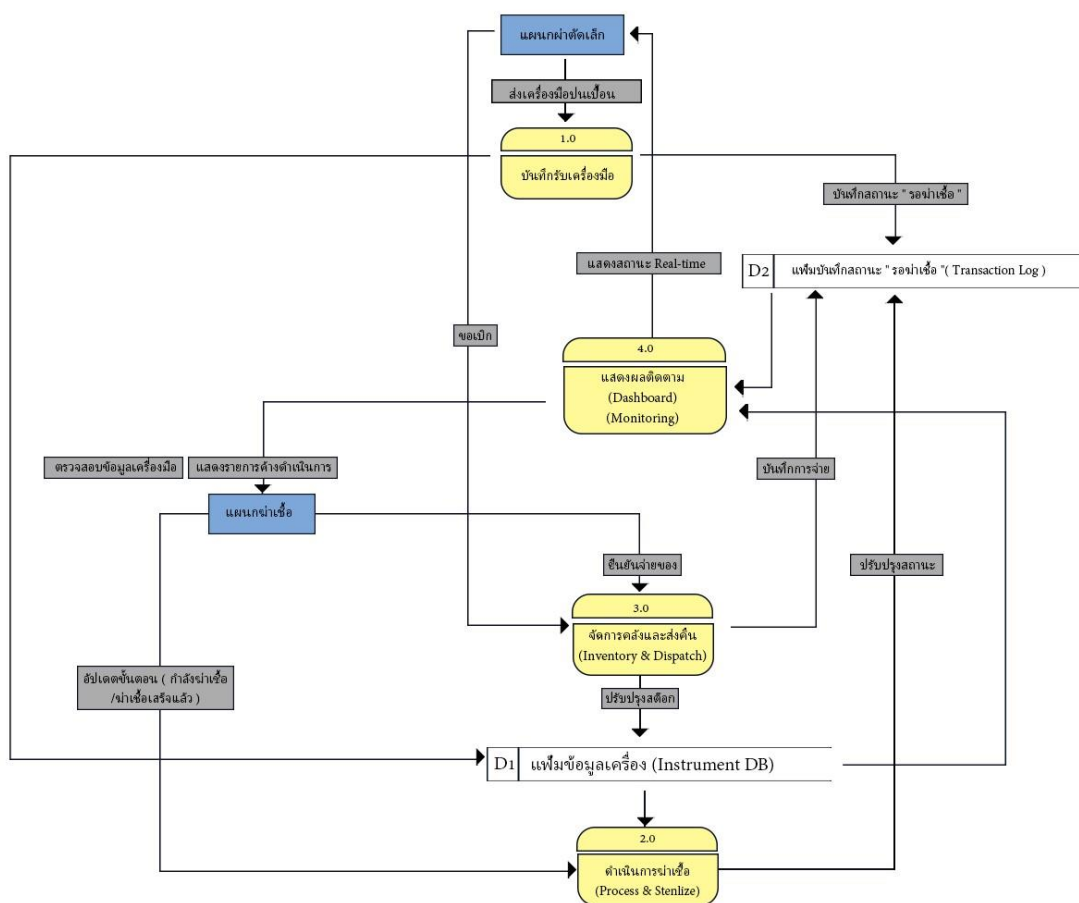


Figure 2. Data Flow Diagram Level 1 (DFD Level 1) illustrating the main internal processes of the system

ขั้นตอนที่ 4 การออกแบบ (Design) นำผลการวิเคราะห์มาออกแบบแนวคิดเป็น (Logical Design) เพื่อแก้ไขปัญหา โดยในส่วนนี้ยังไม่ได้มีการระบุถึงรายละเอียดและคุณลักษณะอุปกรณ์มากนัก

เน้นการออกแบบโครงร่างบนกระดาษ แล้วส่งให้ผู้ออกแบบระบบนำไปออกแบบ (System Design) โดยการออกแบบหน้าจอแสดงดัง Figure 3-7

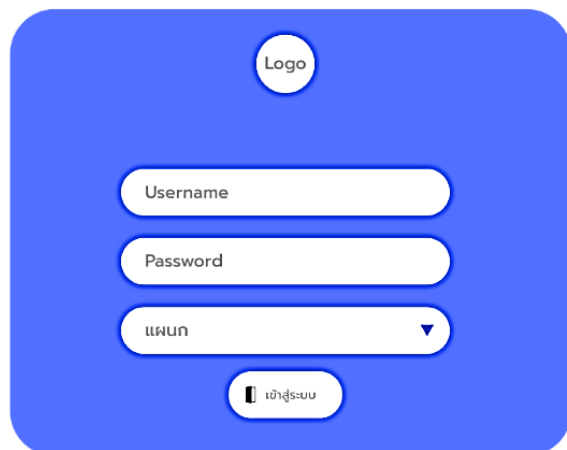


Figure 3. login window layout



Figure 4. medical device registration menu layout

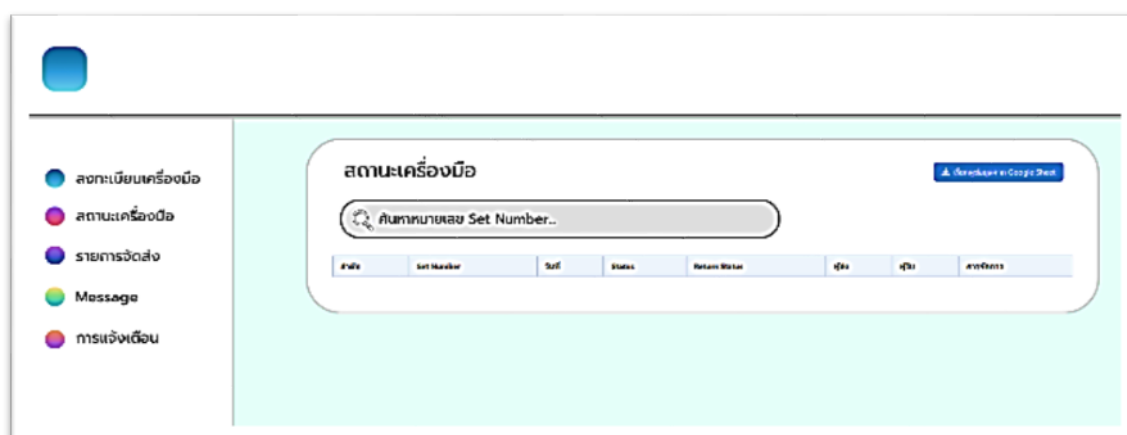


Figure 5. Instrument Status Window (OR Department) menu layout

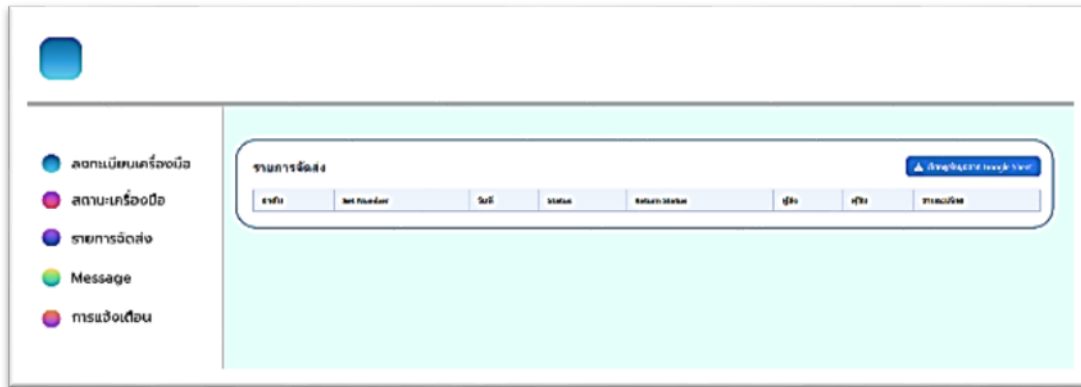


Figure 6. OR Department Delivery List menu layout

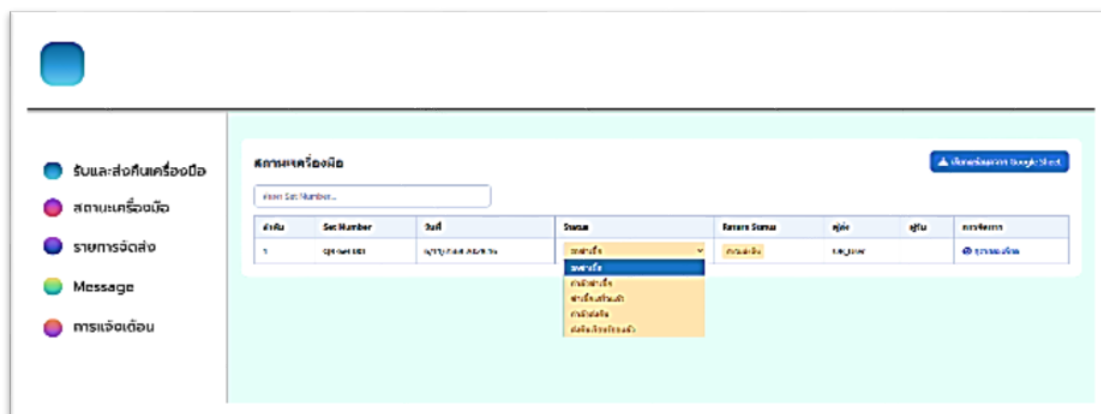


Figure 7. CSSD Instrument Status Window menu layout

ขั้นตอนที่ 5 การพัฒนาและทดสอบระบบ (Development & Test)

ผู้วิจัยพัฒนาระบบด้วยโปรแกรมและภาษา ได้แก่ Canva, HTML, QR Code Generator และฐานข้อมูล Google Sheet จากนั้นทำการทดสอบหาข้อผิดพลาด (Testing) ด้วยมีผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่านเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง จนมั่นใจว่าถูกต้องและตรงตามความต้องการ หากพบว่ามีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นจากการทำงานของระบบจะปรับแก้ไขให้เรียบร้อยพร้อมใช้งานก่อนนำไปเผยแพร่ใช้จริง

ขั้นตอนที่ 6 การติดตั้ง (Implementation)

ระบบที่ผ่านการประเมินทดสอบและแก้ไขตามข้อเสนอแนะของผู้นำของผู้เชี่ยวชาญแล้วเมื่อทดสอบแล้วจะขึ้นเป็นลิงค์เพื่อใช้งานกับกลุ่มตัวอย่างที่เข้าใช้งานและประเมินความพึงพอใจตามระยะเวลาที่กำหนดและนำ

คะแนนผลการประเมินจากการตอบแบบประเมินของผู้เข้าใช้งานมาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ขั้นตอนที่ 7 การซ่อมบำรุงระบบ (System Maintenance)

ระบบที่ผ่านการทดสอบแล้วนำไปใช้งานจริงอาจเกิดปัญหาขึ้นได้ภายหลังจึงวางแผนเตรียมการรองรับการแก้ไขปัญหาในการใช้งาน โดยผู้วิจัยได้ทำหน้าที่ดูแลระบบด้วยตนเอง

เครื่องมือที่ใช้

1. โปรแกรมที่ใช้ ได้แก่ Canva, HTML, QR Code Generator และฐานข้อมูล Google Sheet ภาษาที่ใช้ ได้แก่ HTML, CSS

2. แบบประเมิน ประกอบด้วย 2 ชุด ได้แก่

2.1 แบบประเมินคุณภาพสำหรับผู้เชี่ยวชาญ มีลักษณะของแบบสอบถามแบบมาตราส่วนค่า (Rating

Scale) ของ Likert ซึ่งมี 5 ระดับ ซึ่งแบบประเมินนี้สร้างขึ้นด้วยทฤษฎีกล่องดำ (Black Box Testing) มีเนื้อหาครอบคลุมประเด็น 4 ด้าน ดังนี้ 1) ด้านความเหมาะสมในหน้าที่การทำงานของโปรแกรม 2) ด้านการทดสอบการทำงานของระบบ 3) ด้านความสะดวก และความง่ายต่อการใช้งาน และ 4) ด้านการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลในระบบ

2.2 แบบประเมินความพึงพอใจสำหรับผู้ใช้งาน มีลักษณะของแบบสอบถามแบบมาตราส่วนค่า (Rating Scale) ของ Likert ซึ่งมี 5 ระดับ ซึ่งแบบประเมินนี้สร้างขึ้นด้วยแบบจำลองความสำเร็จของระบบสารสนเทศ (Information Systems Success Model) โดย ผู้วิจัยปรับปรุงเนื้อหาให้สอดคล้องกับกลุ่มตัวอย่างมีเนื้อหาครอบคลุมประเด็น 5 ด้าน ดังนี้ 1) ความถูกต้องและความครบถ้วนของข้อมูล 2) ความสะดวกในการใช้งาน 3) ความรวดเร็วและประสิทธิภาพ 4) ความน่าเชื่อถือและความปลอดภัย และ 5) ด้านการออกแบบและการแสดงผล

โดยแบบประเมินผ่านการตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 3 ท่าน โดยขอค่าถามมีค่า IOC มากกว่า 0.50 ทุกข้อ และการหาค่าความตรงตามเนื้อหา (Content Validity) มีค่าความเชื่อมั่น เท่ากับ 0.94

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1. ประชากรที่ใช้ในการวิจัย คือ ผู้ให้บริการเจ้าหน้าที่แผนกผ่าตัดเล็กและแผนกอื่นที่เกี่ยวข้องโรงพยาบาลรัฐแห่งหนึ่งในจังหวัดกาญจนบุรี

2. กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ผู้ให้บริการเจ้าหน้าที่แผนกผ่าตัดเล็ก และ แผนกอื่นที่เกี่ยวข้องโรงพยาบาลรัฐแห่งหนึ่งในจังหวัดกาญจนบุรีโดยให้ข้อมูลในการใช้งานในช่วงเดือนสิงหาคม-กันยายน 2568 จำนวน 30 คน ผู้วิจัยสุ่มตัวอย่างโดยไม่ใช้ความน่าจะเป็น (Non-probability Sampling) ด้วยวิธีการคัดเลือกแบบบังเอิญ

(Accidental Selection) เนื่องจากเป็นกลุ่มตัวอย่างผู้ใช้งานขนาดเล็ก และเป็นไปตามเงื่อนไขที่ผู้วิจัยกำหนด

สถิติที่ใช้และการวิเคราะห์ข้อมูล

การประเมินคุณภาพและความพึงพอใจของผู้ใช้งาน วิเคราะห์ข้อมูลการประเมินคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน และการประเมินความพึงพอใจจากผู้ใช้งาน จำนวน 30 คน โดยแบบประเมินที่สร้างขึ้นนี้เป็นแบบมาตราส่วนค่า (Rating Scale) ของ Likert ซึ่งมี 5 ระดับ และผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) ได้แก่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยมีการแปลความหมายใช้เกณฑ์ประเมินผลโดยอิงเกณฑ์หาค่าเฉลี่ยเมื่อทำการวิเคราะห์แปลผลและกำหนดระดับความคิดเห็น 5 ระดับ ซึ่งมีช่วงกว้างเท่า ๆ กัน และสามารถคำนวณได้ดังนี้²²

$$\text{ความกว้างของอันตรภาคชั้น} = \frac{(\text{คะแนนสูงสุด} - \text{คะแนนต่ำสุด})}{\text{จำนวนชั้น}}$$

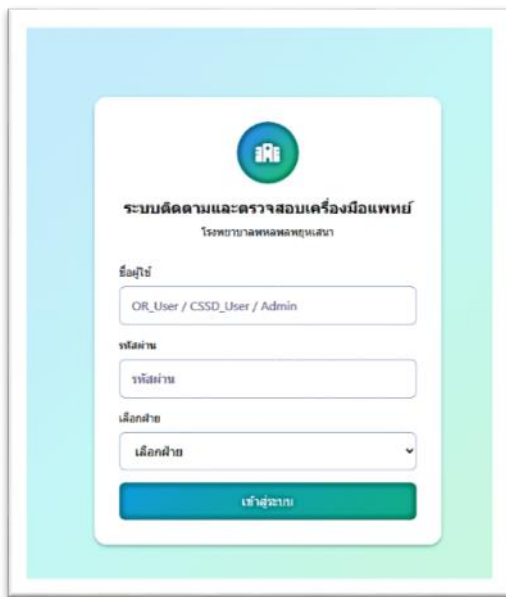
$$0.8 = \frac{5-1}{5}$$

ค่าเฉลี่ย 4.21–5.00 = มากที่สุด, ค่าเฉลี่ย 3.41–4.20 = มาก, ค่าเฉลี่ย 2.61–3.40 = ปานกลาง, ค่าเฉลี่ย 1.81–2.60 = น้อย, ค่าเฉลี่ย 1.00–1.80 = น้อยที่สุด

ผลการวิจัย

1. ผลการพัฒนาระบบติดตามเครื่องมือผ่าตัดด้วยเทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อสนับสนุนการบริหารจัดการในแผนกผ่าตัดเล็ก

ระบบสามารถเข้าใช้งานจาก <https://surgical-instrument-tracking.my.canva.site/> สามารถเข้าใช้งานผ่านระบบออนไลน์โดยผู้ใช้งานสามารถเข้าสู่ระบบผ่านหน้าเว็บไซต์เพื่อดูสถานะของชุดเครื่องมือ เช่น “รับแล้ว”, “กำลังทำความสะอาด”, “ทำเชื้อเสร็จแล้ว” หรือ “ส่งคืนเรียบร้อยแล้ว” เป็นต้น ระบบสามารถเรียกดูประวัติในการใช้งานย้อนหลังได้เพื่อความโปร่งใสและตรวจสอบได้ง่าย โดยมีรายละเอียดแสดงดัง Figure 8-12



ระบบติดตามและตรวจสอบเครื่องมือแพทย์
โรงพยาบาลพหลพลพยุหเสนา

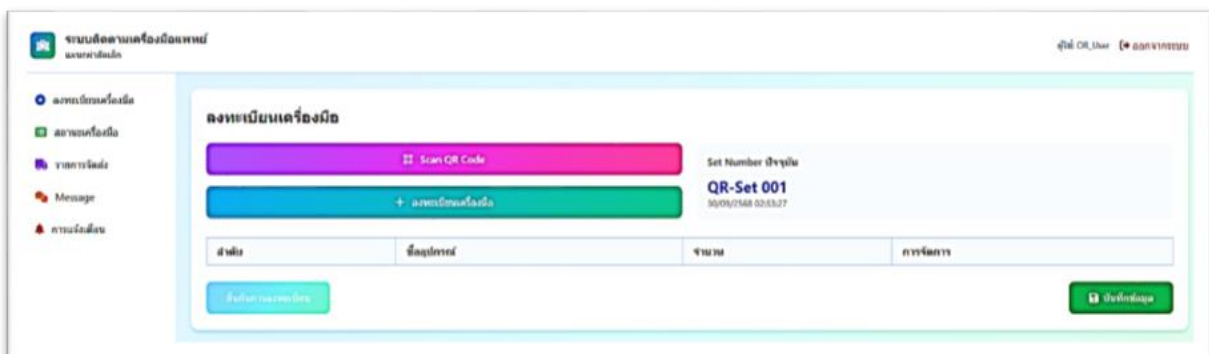
ชื่อผู้ใช้
OR_User / CSSD_User / Admin

รหัสผ่าน
รหัสผ่าน

เลือกสาย
เลือกสาย

เข้าสู่ระบบ

Figure 8. Login page of the Surgical Instrument Tracking and Monitoring System for Pre- and Post-Sterilization in the Minor Operating Room



ระบบติดตามเครื่องมือแพทย์
นางสาวปิ่นนิก

ผู้ใช้งาน: OR_User | ออกจากระบบ

ลงทะเบียนเครื่องมือ

Scan QR Code

Set Number ปัจจุบัน
QR-Set 001
30/9/2568 02:53:27

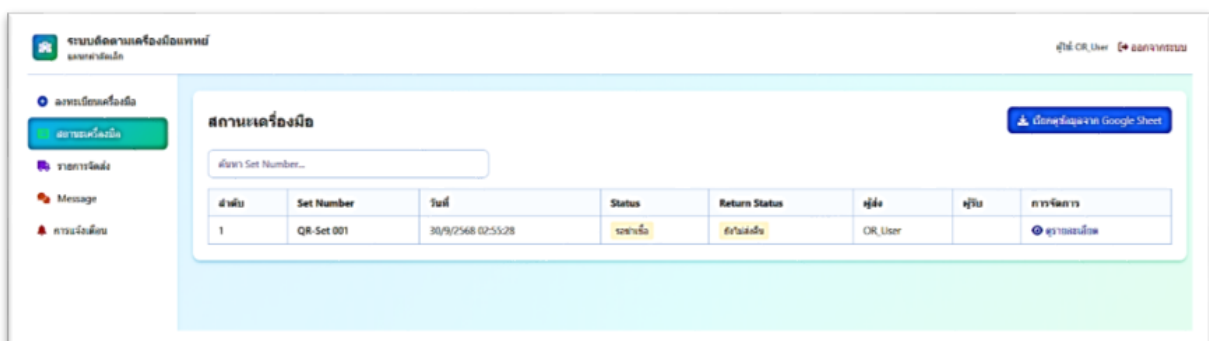
+ ลงทะเบียนเครื่องมือ

สำเนา | ชื่ออุปกรณ์ | จำนวน | การจัดการ

บันทึกการลงทะเบียน

บันทึกข้อมูล

Figure 9. Instrument Registration page of the Surgical Instrument Tracking and Monitoring System



ระบบติดตามเครื่องมือแพทย์
นางสาวปิ่นนิก

ผู้ใช้งาน: OR_User | ออกจากระบบ

สถานะเครื่องมือ

ค้นหา Set Number...

ดูข้อมูลจาก Google Sheet

สำเนา	Set Number	วันที่	Status	Return Status	ผู้ส่ง	ผู้รับ	การจัดการ
1	QR-Set 001	30/9/2568 02:53:28	รอเข้าเครื่อง	ตัวส่งเสร็จ	OR_User		ดูรายละเอียด

Figure 10. Instrument Status page of the Surgical Instrument Tracking and Monitoring System

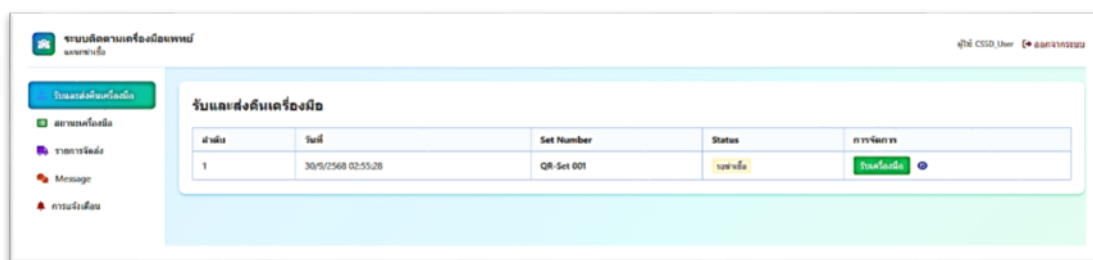


Figure 11. Instrument Check-in and Check-out page of the Surgical Instrument Tracking and Monitoring System in the Central Sterile Supply Department (CSSD)

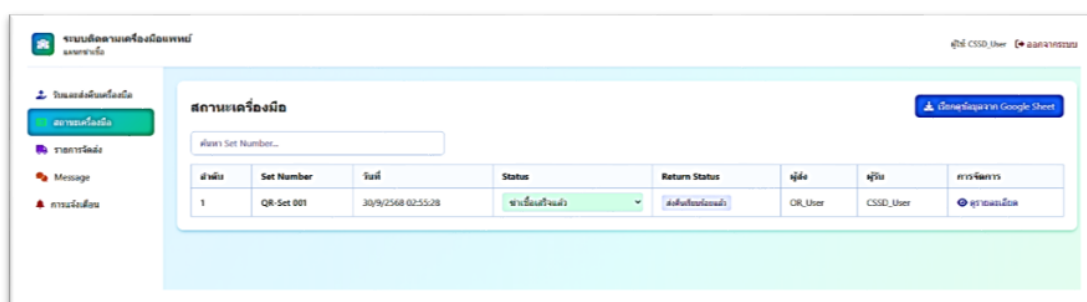


Figure 12. Instrument Status page of the Surgical Instrument Tracking and Monitoring System

2. ผลการประเมินคุณภาพระบบติดตามเครื่องมือผ่าตัดด้วยเทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อสนับสนุนการบริหารจัดการในแผนกผ่าตัดเล็ก รายละเอียดแสดงดัง Table 1.

Table 1. The Results of Quality Evaluation by Experts (N= 3)

Items	μ	σ	Acceptance Level
1. Functional Requirement Test	4.67	0.58	Highest
2. Functional Test	4.89	0.58	Highest
3. Usability Test	4.67	0.58	Highest
4. Security Test	4.67	0.58	Highest
Total	4.72	0.58	Highest

จาก Table 1. พบว่า คุณภาพมีค่าเฉลี่ยรวมทุกด้านอยู่ในระดับมากที่สุด ($\mu=4.72$, $\sigma=0.26$) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า ด้านการทดสอบการทำงาน of ระบบ อยู่ในระดับมากที่สุด ($\mu=4.98$,

$\sigma=0.58$) ด้านความเหมาะสมในหน้าที่การทำงานของโปรแกรม ด้านความสะดวก และความง่ายต่อการใช้งาน และ ด้านการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลในระบบอยู่ในระดับมากที่สุด ($\mu= 4.67$, $\sigma=0.58$)

3. ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบติดตามเครื่องมือผ่าตัดด้วยเทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อสนับสนุนการบริหารจัดการในแผนกผ่าตัดเล็ก

ผู้ตอบแบบสอบถามเป็นเพศชายและเพศหญิงจำนวน 15 คน คิดเป็นร้อยละ 50.00 อายุ 30 – 39 ปี จำนวน 16 คน คิดเป็นร้อยละ 53.30 รองลงมา อายุ 40 – 49 ปี จำนวน 8 คน คิดเป็นร้อยละ 26.67 และอายุ 20 – 29 ปี จำนวน 6 คน คิดเป็นร้อยละ 20.00 ตามลำดับ

พบว่า ผู้ตอบแบบประเมินส่วนใหญ่มีตำแหน่ง เจ้าหน้าที่หน่วยอื่นที่เกี่ยวข้อง จำนวน 9 คน คิดเป็นร้อยละ 30.00 รองลงมา ตำแหน่ง แพทย์และพยาบาลจำนวน 8 คน คิดเป็นร้อยละ 26.67 และ ตำแหน่ง เจ้าหน้าที่ห้องผ่าตัดจำนวน 5 คน คิดเป็นร้อยละ 16.66 ตามลำดับ สำหรับผลการประเมินความพึงพอใจผู้ใช้งาน แสดงดัง Table 2

Table 2. The results of acceptance evaluation by user (n=30)

Items	$\bar{X}$	S.D.	Acceptance Level
1.Accuracy and Completeness of Data	4.74	0.45	Highest
2.Ease of Use	4.72	0.44	Highest
3.Speed and Efficiency	4.82	0.40	Highest
4.Reliability and Security	4.83	0.38	Highest
5.Design and Presentation Aspects	4.78	0.42	Highest
Total	4.72	0.42	Highest

จาก Table 2. พบว่า ความพึงพอใจมีค่าเฉลี่ยรวมทุกด้านอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.72, S.D.=0.42) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า ความน่าเชื่อถือและความปลอดภัย และ ความน่าเชื่อถือและความปลอดภัย อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.83, S.D.=0.38) ความรวดเร็วและประสิทธิภาพ อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.82, S.D.=0.40) ความถูกต้องและความครบถ้วนของข้อมูล อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.74, S.D.=0.45) และ ความสะดวกในการใช้งาน อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.72, S.D.=0.44) ตามลำดับ

สรุปและอภิปรายผล

สรุปผล

ผู้วิจัยพัฒนาและออกแบบโดยใช้ทฤษฎีวงจรการพัฒนากระบวนการ (System Development Life Cycle: SDLC) ประเมินคุณภาพด้วยทฤษฎีกล่องดำ (Black Box Testing) และประเมินความพึงพอใจด้วย

ทฤษฎี DeLone & McLean Information System Success Model (D&M IS Success Model) เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ โปรแกรม Canva Google GoogleSheet visual studio code ภาษาที่ใช้ ได้แก่ HTML CSS ผู้วิจัยใช้แบบประเมินคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 คน และแบบประเมินความพึงพอใจจากผู้ใช้งานจำนวน 30 คน

ระบบสามารถเข้าใช้งานจาก <https://surgical-instrument-tracking.my.canva.site/> สามารถเข้าใช้งานผ่านระบบออนไลน์โดยผู้ใช้งานสามารถเข้าสู่ระบบผ่านหน้าเว็บไซต์เพื่อดูสถานะของชุดเครื่องมือ เช่น “รับแล้ว”, “กำลังทำความสะอาด”, “ทำเชื้อเสร็จแล้ว” หรือ “ส่งคืนเรียบร้อยแล้ว” เป็นต้น ระบบสามารถเรียกดูประวัติในการใช้งานย้อนหลังได้เพื่อความโปร่งใสและตรวจสอบได้ง่าย ผลการประเมินคุณภาพของระบบจากผู้เชี่ยวชาญ อยู่ในระดับมาก และผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานอยู่ในระดับมากที่สุด

อภิปรายผล

1. การพัฒนาระบบติดตามเครื่องมือผ่าตัดด้วยเทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อสนับสนุนการบริหารจัดการในแผนกผ่าตัดเล็ก กรณีศึกษาโรงพยาบาลรัฐแห่งหนึ่งในจังหวัดกาญจนบุรีได้ดำเนินการตามแบบแผนพัฒนาซอฟต์แวร์ตามวงจรการพัฒนาระบบ SDLC: Software Development Lifecycle⁵ จำนวน 7 ขั้นตอน โดยเริ่มจากการกำหนดปัญหาและศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคนิค เศรษฐศาสตร์ และการปฏิบัติงาน ไปสู่ขั้นตอนการวิเคราะห์ระบบและการออกแบบเว็บไซต์สำหรับใช้งานจริง หลังจากนั้นจึงเข้าสู่การพัฒนาเว็บไซต์ โดยมีการเชื่อมต่อบริบทฐานข้อมูลโดยใช้ GoogleSheets เป็นฐานข้อมูลเพื่อความสะดวกในการจัดการข้อมูลเครื่องมือทางการแพทย์ เมื่อตัวระบบพัฒนาเสร็จสิ้นได้มีการตรวจสอบและทดสอบการใช้งานโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน เพื่อประเมินคุณภาพการทำงาน ความถูกต้อง และความเสถียรของระบบ ก่อนจะเข้าสู่การเผยแพร่และบำรุงรักษา ในขั้นต่อไปเว็บไซต์ที่พัฒนาขึ้นนี้ถูกออกแบบให้มีความสามารถรองรับการใช้งานผ่านอุปกรณ์ที่หลากหลาย ทำให้บุคลากรที่เกี่ยวข้องเข้าถึงข้อมูลได้ง่าย สอดคล้องกับความต้องการในยุคดิจิทัลที่ความสะดวก รวดเร็ว และความถูกต้องของข้อมูลมีความสำคัญต่อการทำงานทางการแพทย์ ผลจากการพัฒนาเว็บไซต์ทำให้สามารถแสดงข้อมูลและติดตามสถานะการรับ-ส่งเครื่องมือแพทย์ก่อนและหลังการมาเชื้อได้อย่างเป็นระบบ พร้อมทั้งบันทึกข้อมูลเข้าสู่ฐานข้อมูลเพื่อให้บุคลากรทางการแพทย์ตรวจสอบย้อนหลังได้อย่างสะดวก เว็บไซต์รองรับการใช้งาน และสามารถเข้าใช้งานได้ที่ <https://surgical-instrument-tracking.my.canva.site/> แม้ว่าระบบที่พัฒนาขึ้นอาจยังคงใช้เครื่องมือพื้นฐานและรูปแบบที่ไม่ซับซ้อนมากนัก แต่ประสิทธิภาพของเว็บไซต์ขึ้นอยู่กับการออกแบบที่เหมาะสมต่อกระบวนการทำงานของโรงพยาบาล ซึ่งช่วยลดความผิดพลาดในการจัดการเครื่องมือแพทย์ และเพิ่มความน่าเชื่อถือในกระบวนการทำงานของบุคลากรทางการแพทย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. ผลการประเมินคุณภาพระบบติดตามและตรวจสอบเครื่องมือแพทย์ โดยใช้วิธี Black Box Testing¹¹ และใช้เครื่องมือประเมินมาตรฐาน (Rating Scale) ของ Likert Scale 5 ระดับ พบว่าผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ให้ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบในภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ซึ่งสะท้อนว่าระบบสามารถทำงานได้ตรงตามความต้องการ มีความถูกต้องในการประมวลผล และแสดงผลข้อมูลได้อย่างชัดเจน ผลการพัฒนานี้ เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น พบว่า สอดคล้องกับงานวิจัยเรื่อง การใช้ QR Code สำหรับการจัดการอุปกรณ์ทางการแพทย์ภายในโรงพยาบาลโดยเฉพาะ เช่น จัดเก็บข้อมูลและติดตามอุปกรณ์ผ่าน QR Code Information Management of Medical Equipments Based on QR Code" ใน ยุค ที่ ก า ร จัดการเครื่องมือแพทย์ในโรงพยาบาลต้องการความแม่นยำและความโปร่งใสมากขึ้น แนวทางการจัดการข้อมูลเครื่องมือแพทย์โดยใช้ QR Code เพื่อให้การติดตามสถานะและการตรวจสอบสามารถทำได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากกว่าเดิม บทนำของงานวิจัยชี้ว่าในโรงพยาบาลจำนวนมากนั้น การบันทึกข้อมูลเครื่องมือแพทย์ยังคงใช้วิธีดั้งเดิม เช่น การจดบันทึกบนเอกสาร การตรวจนับด้วยมือ ซึ่งสามารถเกิดความผิดพลาดทั้งในเรื่องการสูญหาย การเปลี่ยนแปลงสถานะที่ไม่อัปเดต หรือการไม่สามารถตรวจสอบย้อนกลับได้อย่างรวดเร็ว เพื่อแก้ปัญหาเหล่านี้ งานวิจัยได้เสนอการใช้ QR Code ร่วมกับระบบสารสนเทศที่จัดเก็บข้อมูลเครื่องมือแพทย์ไว้ในฐานข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ เมื่อผู้ใช้ทำการสแกน QR Code ที่ติดกับเครื่องมือ จะสามารถเรียกดูข้อมูลเครื่องมือได้โดยทันที เช่น วันที่ใช้งานครั้งล่าสุด สถานะการใช้งาน และประวัติการบำรุงรักษา งานวิจัยระบุว่าแนวทางนี้สามารถลดเวลาในการค้นหาข้อมูล ลดข้อผิดพลาดจากการบันทึกมือ และเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการเครื่องมือแพทย์ภายในโรงพยาบาลได้อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) เพื่อออกแบบระบบสารสนเทศที่ใช้ QR Code สำหรับการจัดการข้อมูลเครื่องมือแพทย์ภายในโรงพยาบาล (2) เพื่อปรับปรุงกระบวนการตรวจสอบ

และติดตามสถานะเครื่องมือแพทย์ให้เป็นไปอย่างรวดเร็ว และแม่นยำยิ่งขึ้น (3) เพื่อลดความผิดพลาดจากการบันทึกข้อมูลด้วยมือ และเพื่อให้สามารถตรวจสอบย้อนกลับข้อมูลได้เมื่อจำเป็น¹⁴

3. ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน จากกลุ่มผู้ใช้งานจำนวน 30 คน ที่ได้ทดลองใช้งานระบบติดตามและตรวจสอบเครื่องมือแพทย์ พบว่าความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับ มากที่สุด ผลการประเมินความพึงพอใจอยู่ในระดับสูง ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ DeLone และ McLean ที่ระบุว่าคุณภาพของระบบและคุณภาพของข้อมูลมีผลต่อความพึงพอใจของผู้ใช้งานและความสำเร็จของระบบสารสนเทศ เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นพบว่าแตกต่างกับงานวิจัยเรื่อง การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการเครื่องมือผ่าตัด แตกต่างกับงานวิจัยเรื่อง การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการเครื่องมือผ่าตัด การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการเครื่องมือผ่าตัดของห้องผ่าตัดโรงพยาบาลปทุมธานี ครอบคลุมการทำงานใน 3 ส่วนหลัก คือ การจัดเก็บ การค้นหา และการรายงาน การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงพัฒนา วิธีการในการพัฒนาระบบสารสนเทศนี้ ใช้หลักการของวงจรการพัฒนาระบบสารสนเทศ โดยเริ่มจากการศึกษาปัญหาและความเป็นไปได้ของระบบ โดยการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ของห้องผ่าตัดโรงพยาบาลปทุมธานี จำนวน 11 คน จากนั้นวิเคราะห์ออกแบบและพัฒนาระบบโดยใช้โปรแกรม Microsoft Access 2003 ภายใต้ระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows XP และประเมินระบบที่พัฒนาแล้วโดยให้เจ้าหน้าที่ห้องผ่าตัดที่ใช้ระบบตอบ แบบสอบถามจำนวน 11 คน¹³

ปัญหาและข้อจำกัด

งานวิจัยนี้มีข้อจำกัดบางประการ ได้แก่ ขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการประเมินระบบมีจำนวนจำกัด และเป็นบุคลากรในหน่วยงานเดียว ทำให้ผลการประเมินอาจไม่สามารถสะท้อนความคิดเห็นของผู้ใช้งานในบริบท

อื่นได้ นอกจากนี้การประเมินผลส่วนใหญ่เน้นไปที่ความพึงพอใจของผู้ใช้งาน ซึ่งยังไม่ได้ประเมินผลเชิงประสิทธิภาพของระบบในระยะยาว

ข้อเสนอแนะ

1. เพิ่มขนาดกลุ่มตัวอย่าง เลือกใช้วิธีสุ่มที่เหมาะสม และการประเมินที่หลากหลาย ทดลองใช้งานระบบกับกลุ่มผู้ใช้จริง เพื่อประเมินประสิทธิภาพ การยอมรับของผู้ใช้ และผลลัพธ์ของการนำระบบไปใช้ในสภาพแวดล้อมจริงต่อไปเพื่อยืนยันประสิทธิผลเชิงเหตุผลได้ชัดเจน

2. การต่อยอดและการพัฒนาระบบที่เชื่อมโยงกับความปลอดภัยของผู้ป่วย สารสนเทศสุขภาพ (health informatics) และความปลอดภัยของผู้ป่วย (patient safety) เชื่อมต่อกับระบบสารสนเทศโรงพยาบาล หรือการใช้เทคโนโลยีใหม่อื่น ๆ เพื่อยกระดับจากงานประยุกต์ใช้ในโรงพยาบาลต่อไป

3. การวิจัยครั้งต่อไปที่มีการทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่างหรือผู้เข้าร่วมวิจัยในอนาคต ควรดำเนินการยื่นขอรับการพิจารณารับรองจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ เพื่อให้การดำเนินงานเป็นไปตามหลักจริยธรรมและมาตรฐานทางวิชาการ

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อธุรกิจ มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี ที่อนุเคราะห์สถานที่ ห้องปฏิบัติการและเครื่องมือในการทำวิจัยครั้งนี้จนเสร็จสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

1. World Health Organization. Global strategy on digital health 2020–2025. Geneva: WHO; 2021.
2. ScanCARE. The definitive guide to surgical instrument tracking. Perth (Australia): ScanCARE Pty Ltd; 2024.

3. เจ้าหน้าที่ห้องผ่าตัดเล็ก โรงพยาบาลรัฐแห่งหนึ่งในจังหวัดกาญจนบุรี. สัมภาษณ์โดย [ธามนิธิศ ปรางทอง]; 12 สิงหาคม 2568.
4. Whitacre Martonicz T. Enhancing patient safety with a unique device identification tracking system. Infection Control Today [Internet]. 2025 [cited 2025 Nov 6]. Available from: <https://www.infectioncontrolday.com/view/enhancing-patient-safety-unique-device-identification-tracking-system>.
5. Souvik. 7 Stages/Phases of the Software Development Life Cycle (SDLC) [Internet]. 2019 [cited 2025 Jul 19]. Available from: <https://www.rswebsols.com/tutorials/programming/stages-phases-software-development-life-cycle-sd>.
6. McMurtrey ME. A case study of the application of the systems development life cycle (SDLC) in 21st century health care: Something old, something new? J South Assoc Inf Syst [Internet]. 2013 [cited 2025 Nov 6]. Available from: <https://aisel.aisnet.org/jsais/>.
7. Canva. Introducing Magic Design: AI-powered design generation in Canva [Internet]. 2024 [cited 2025 Nov 6]. Available from: <https://www.canva.com/>.
8. Mozilla Developer Network. CSS: Cascading Style Sheets [Internet]. 2024 [cited 2025 Nov 6]. Available from: <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/CSS>.
9. Google Developers. Google Sheets API overview [Internet]. 2024 [cited 2025 Nov 6]. Available from: <https://developers.google.com/sheets/api>.
10. Pressman RS, Maxim BR. Software Engineering: A Practitioner's Approach. 9th ed. New York: McGraw-Hill Education; 2020
11. Sommerville I. Software Engineering. 10th ed. Harlow: Pearson Education; 2016.
12. DeLone WH, McLean ER. Information systems success: The quest for the dependent variable. Inf Syst Res 1992;3:60–95.
13. Pressman RS, Maxim BR. Software engineering: A practitioner's approach. 9th ed. McGraw-Hill Education; 2020.
14. Dennis A, Wixom BH, Tegarden D. Systems analysis and design: An object-oriented approach with UML. 5th ed. Wiley; 2015.
15. Sommerville I. Software engineering. 10th ed. Pearson; 2016.
16. เดชา ใจระห้อย, ทศนียวรรณ ศรีประดิษฐ์, ณัฐพร พิมพายน. การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการเครื่องมือผ่าตัด: กรณีศึกษาห้องผ่าตัดโรงพยาบาลปทุมธานี [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ]. นนทบุรี: มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช; 2552.
17. Huang Xin. Information Management of Medical Equipments Based on QR Code. China Medical Devices. 2019;34:98-100.
18. Kendall KE, Kendall JE. Systems Analysis and Design. 10th ed. Upper Saddle River (NJ): Pearson Education; 2019.
19. Dennis A, Wixom BH, Roth RM. Systems Analysis and Design. 8th ed. Hoboken (NJ): John Wiley & Sons; 2021.

การพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับค้นหาร้านค้าและบริการในจังหวัดหนองบัวลำภู

Development of an Application for Finding Shops and Services at Nong Bua Lamphu Province

สำราญ เลิศคอนสาร¹, นุชรี พิทักษ์², ศรายุทธ อินตะนัย³ และ ชฎารัฐ ขวัญนาค⁴

Samran Lertkonsarn¹, Nutcharee Pitak², Sarayuth Intanai³ and Chadarat Khwunnak⁴

¹สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาลัยพิจัยบัณฑิต

²หลักสูตรบัญชีบัณฑิต คณะบริหารธุรกิจ วิทยาลัยพิจัยบัณฑิต

³สาขาวิชาการจัดการ คณะบริหารธุรกิจ วิทยาลัยพิจัยบัณฑิต

⁴สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและสื่อดิจิทัล คณะวิทยาศาสตร์ วิทยาลัยพิจัยบัณฑิต

¹ Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Pitchayabundit College

² Bachelor of Accountancy Program, Faculty of Business Administration, Pitchayabundit

³ Department of Management, Faculty of Business Administration, Pitchayabundit College

⁴ Department of Information Technology and Digital media, Faculty of Science, Pitchayabundit College

*Corresponding author; E-mail: Kkikkaa300@gmail.com

Received: 22 January 2026 /Revised: 26 March 2026 /Accepted: 27 March 2026

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาระบบค้นหาร้านค้าและบริการในอำเภอเมืองหนองบัวลำภู 2) ศึกษาและวิเคราะห์แนวทางการสร้างแอปพลิเคชันแนะนำร้านค้าและบริการ และ 3) พัฒนาแอปพลิเคชันที่รองรับการค้นหาเส้นทาง แสดงรายละเอียดร้านค้า รวมถึงการให้คะแนนและรีวิว เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาคือ MIT App Inventor ในรูปแบบการเขียนโปรแกรมแบบบล็อกคำสั่ง กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาคือ ผู้ใช้บริการร้านค้าในพื้นที่อำเภอเมืองหนองบัวลำภู จำนวน 50 คน ซึ่งได้มาจากการสุ่มแบบบังเอิญ สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)

ผลการวิจัยพบว่าแอปพลิเคชันมีคุณภาพโดยรวมอยู่ในระดับปานกลาง ($\bar{x}=2.8$, S.D.=0.93) เมื่อพิจารณาทางด้านพบว่า ด้านการออกแบบและการแสดงผลอยู่ในระดับปานกลาง ($\bar{x}=2.9$, S.D.=0.94) ด้านการใช้งานและประสิทธิภาพอยู่ในระดับปานกลาง ($\bar{x}=2.6$, S.D.=0.86) และด้านเนื้อหาและความครอบคลุมอยู่ในระดับปานกลาง ($\bar{x}=2.8$, S.D.=0.93) ทั้งนี้ ผลการประเมินสะท้อนถึงศักยภาพในการปรับปรุงระบบให้มีความง่ายต่อการใช้งาน เพิ่มเสถียรภาพ และความครบถ้วนของข้อมูล เพื่อส่งเสริมเศรษฐกิจท้องถิ่นในพื้นที่ที่ข้อมูลออนไลน์ยังไม่ครอบคลุม

คำสำคัญ: แอปพลิเคชันมือถือ การค้นหาร้านค้าและบริการ ระบบออนไลน์

Abstract

The objectives of this research were: 1) to develop a shop and service search system in Mueang Nong Bua Lamphu District; 2) to study and analyze guidelines for creating a shop and service recommendation application ; and 3) to develop an application that supports route searching, displays shop details, and allows users to provide ratings and reviews. The development tool used was MIT App Inventor,

utilizing block-based programming. The sample group consisted of 50 users of shops and services in Mueang Nong Bua Lamphu District, selected through accidental sampling. The statistics used for data analysis included percentage, mean ($\bar{x}$), and standard deviation (S.D.).

The research results revealed that the application's overall quality was at a moderate level ($\bar{x}=2.8$, S.D.=0.93). When considering each aspect, it was found that the design and display aspect was at a moderate level ($\bar{x}=2.9$, S.D.=0.94). The usability and performance aspect was at a moderate level ($\bar{x}=2.6$, S.D.=0.86), and the content and comprehensiveness aspect was also at a moderate level ($\bar{x}=2.8$, S.D.=0.93). These evaluation results reflect the potential for system improvement regarding ease of use, stability, and data completeness to promote the local economy in areas where online information is not yet fully covered.

Keywords: mobile application, shop and service search, online system

บทนำ

ในยุคปัจจุบัน เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารได้กลายเป็นปัจจัยเชิงยุทธศาสตร์ที่มีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อการดำรงชีวิตและการดำเนินธุรกิจ การพัฒนาของเทคโนโลยีโครงข่ายอินเทอร์เน็ตไร้สายและประสิทธิภาพของสมาร์ทโฟนที่สูงขึ้น ส่งผลให้การใช้งานแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่กลายเป็นช่องทางหลักในการสืบค้นข้อมูลและเข้าถึงบริการต่าง ๆ ได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ ซึ่งเทคโนโลยีเหล่านี้ไม่เพียงแต่ช่วยอำนวยความสะดวกแก่บุคคลทั่วไป แต่ยังเป็นเครื่องมือสำคัญในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจดิจิทัล (Digital Economy) โดยการเชื่อมโยงผู้ประกอบการเข้ากับผู้บริโภคผ่านระบบออนไลน์

จังหวัดหนองบัวลำภู โดยเฉพาะในเขตอำเภอเมือง มีลักษณะของพื้นที่กึ่งเมืองกึ่งชนบทที่มีการขยายตัวทางเศรษฐกิจและมีร้านค้าบริการที่หลากหลาย อย่างไรก็ตาม จากการสำรวจบริบทพื้นที่พบว่า ข้อมูลเกี่ยวกับร้านค้าและบริการในท้องถิ่นจำนวนมากยังมิได้ถูกบันทึกหรือเผยแพร่บนระบบแผนที่ออนไลน์ที่เป็นสากลอย่างครบถ้วน ส่งผลให้ผู้ใช้บริการทั้งคนในพื้นที่และนักท่องเที่ยวประสบข้อจำกัดในการเข้าถึงข้อมูลที่ต้องการ ทันสมัย และไม่สามารถเปรียบเทียบคุณภาพของบริการผ่านการรีวิวหรือ

การให้คะแนนได้ ปัญหาดังกล่าวไม่เพียงแต่ทำให้ผู้บริโภคเสียโอกาสในการเข้าถึงบริการที่ดี แต่ยังส่งผลกระทบต่อผู้ประกอบการรายย่อยในท้องถิ่นที่ขาดช่องทางในการประชาสัมพันธ์ร้านค้าให้เป็นที่รู้จักในวงกว้าง

จากบริบทและปัญหาความไม่ทั่วถึงของข้อมูลสารสนเทศดังกล่าว ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นความสำคัญในการนำเทคโนโลยี Mobile Application มาประยุกต์ใช้เพื่อลดช่องว่างทางการสื่อสาร โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับค้นหาร้านค้าและบริการในอำเภอเมืองหนองบัวลำภู ด้วยแพลตฟอร์ม MIT App Inventor เพื่อรองรับการค้นหาเส้นทาง การแสดงรายละเอียดร้านค้า และสร้างระบบการมีส่วนร่วมผ่านการให้คะแนนและรีวิว ซึ่งจะประโยชน์อย่างยิ่งในการอำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้งาน และส่งเสริมการยกระดับเศรษฐกิจฐานรากในจังหวัดหนองบัวลำภูให้มีความเข้มแข็งและยั่งยืน

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการออกแบบและพัฒนาแอปพลิเคชันค้นหาร้านค้าและบริการในอำเภอเมืองหนองบัวลำภู ผู้วิจัยได้ทำการศึกษารวบรวมแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้เป็นกรอบแนวทางในการดำเนินงาน ดังนี้

แนวทางการพัฒนาแอปพลิเคชันและระบบบริการบนฐานตำแหน่งที่ตั้ง (LBS)

หัวใจสำคัญของระบบค้นหาร้านค้าคือการระบุพิกัดที่แม่นยำและการใช้งานที่ครอบคลุมทุกแพลตฟอร์มจากการศึกษางานวิจัยของ พัชร และศิริกัญญา¹ พบว่าการใช้ Ionic Framework ร่วมกับ OpenStreetMap ช่วยให้อแอปพลิเคชันทำงานได้ข้ามแพลตฟอร์มและเพิ่มความสะดวกแก่ผู้ใช้ อย่างไรก็ตาม ยังมีข้อควรระวังเรื่องความแม่นยำของพิกัดในพื้นที่ชนบท ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางของ Guevarra และ Ignacio² ที่เน้นการใช้ระบบ LBS บนแอนดรอยด์เพื่อค้นหาตู้ซ่อมรถ โดยให้ความสำคัญกับความครบถ้วนของข้อมูลและความปลอดภัยเป็นหลัก

นอกจากนี้ การเลือกกระบวนการพัฒนาซอฟต์แวร์ยังมีผลต่อคุณภาพของระบบ โดยงานวิจัยของ อรรถพล และคณะ³ และ จุฬาลักษณ์ และชัชคมล⁴ ได้เสนอการใช้กระบวนการ Extreme Programming และ Prototyping เพื่อให้มั่นใจว่าฟีเจอร์ที่พัฒนาขึ้นตรงตามความต้องการจริงของผู้ใช้ ในขณะที่งานวิจัยของ ฉัตรพร และคณะ⁵ ชี้ให้เห็นว่าการใช้แพลตฟอร์ม Low-code/No-code สามารถช่วยให้การบริหารจัดการข้อมูลร้านค้าทำได้อย่างรวดเร็วและเป็นระบบ

การบริหารจัดการข้อมูลและพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ในระดับท้องถิ่น

การสร้างระบบที่มีประสิทธิภาพจำเป็นต้องมีโครงสร้างฐานข้อมูลที่มีมั่นคง เพื่อรองรับการขยายตัวของร้านค้าในพื้นที่ งานวิจัยของ พัชรพร และฉนิณวัตร⁶ และ ณัฐภัทร และคณะ⁷ แสดงให้เห็นว่าการใช้เทคโนโลยี PHP, Firebase, MongoDB และ Node.js เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูงในการจัดการระบบซื้อขายออนไลน์และการจัดเก็บข้อมูลแบบ Real-time ซึ่งช่วยลดความผิดพลาดจากระบบเดิมได้อย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้งยังมีการนำนวัตกรรมมาประยุกต์ใช้ เช่น งานวิจัยของ รัตนสุตา และคณะ⁸ ที่พัฒนาระบบตะกร้าสินค้าอัจฉริยะด้วยเทคโนโลยี RFID เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการจัดการสินค้า

นอกจากนี้ ชยพล และคณะ⁹ และ อติศร และคณะ¹⁰ ได้ยืนยันถึงประสิทธิภาพของการใช้ภาษา PHP

ในระบบพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ปริญญาภรณ์ และคณะ¹¹ สลิลทิพย์ และชุติมา¹² และ ชวลิต และคณะ¹³ ที่ใช้ระบบวงจรการพัฒนาแบบ (SDLC) ร่วมกับฐานข้อมูล SQL เพื่อจัดการร้านค้าในชุมชน ในเชิงนวัตกรรมการจัดการ Vinothkumar และ Senthilkumar¹⁴ ได้นำเสนอการใช้ Cloud Clustering และ อัลกอริทึม Dynamic k-means ในแอปพลิเคชัน เพื่อจัดกลุ่มผู้ค้าตามพื้นที่และประเภทสินค้า ซึ่งผู้วิจัยสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการจัดหมวดหมู่ร้านค้าในจังหวัดหนองบัวลำภูเพื่อให้การค้นหาทำได้ง่ายขึ้น

การเพิ่มประสิทธิภาพระบบและประสบการณ์ผู้ใช้ (UX)

เพื่อให้แอปพลิเคชันเป็นประโยชน์ต่อเศรษฐกิจท้องถิ่นอย่างยั่งยืน การออกแบบต้องคำนึงถึงประสบการณ์ของผู้ใช้งาน (UX) โดยงานวิจัยของ Andreas และคณะ¹⁵ ได้นำกรอบการประเมิน HEART Metrics มาใช้ ซึ่งระบุว่าปัจจัยด้าน Engagement และ Retention คือตัวบ่งชี้ความสำเร็จที่สำคัญ นอกจากนี้ งานวิจัยของ Jiang และ Zhang¹⁶ เกี่ยวกับ Grey Wolf Optimization ยังให้แนวคิดในการนำอัลกอริทึมมาปรับปรุงการลำดับผลการค้นหา เพื่อให้ระบบแนะนำร้านค้าที่เหมาะสมที่สุดแก่ผู้ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด มากกว่าการค้นหาแบบทั่วไปที่ผู้ใช้ส่วนใหญ่อาจจะยังไม่เข้าถึงศักยภาพของซอฟต์แวร์เต็มที่ตามข้อสังเกตจากงานวิจัยของ Jadhav และ Kadam¹⁷

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อให้การดำเนินงานสอดคล้องกับกรอบแนวคิดที่ศึกษา ผู้วิจัยจึงกำหนดวัตถุประสงค์การวิจัยไว้ดังนี้

- 1) เพื่อศึกษารูปแบบและแนวทางการพัฒนาแอปพลิเคชันแนะนำร้านค้าและบริการในพื้นที่กิ่งเมืองกิ่งชนบท
- 2) เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบค้นหาร้านค้าและบริการในอำเภอเมืองหนองบัวลำภู ด้วยโปรแกรม MIT App Inventor ที่รองรับการค้นหาเส้นทางและการแสดงรายละเอียดข้อมูลร้านค้า

3) เพื่อประเมินคุณภาพและประสิทธิภาพของแอปพลิเคชันในด้านการใช้งาน (Usability) และการตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ในท้องถิ่น

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการดำเนินการวิจัยเพื่อพัฒนาแอปพลิเคชันค้นหาร้านค้าและบริการในจังหวัดหนองบัวลำภู ผู้ทำการศึกษาดำเนินการตามลำดับขั้นตอน ดังต่อไปนี้

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร ได้แก่ ผู้ที่มีความสนใจในการใช้บริการร้านค้าและบริการที่ตั้งอยู่ในพื้นที่อำเภอเมืองหนองบัวลำภู จังหวัดหนองบัวลำภู

กลุ่มตัวอย่าง ได้รับการคัดเลือกจากประชากรข้างต้น จำนวน 50 คน ใช้วิธีการสุ่มแบบบังเอิญ จากผู้ใช้บริการร้านค้า

สถิติที่ใช้ในการดำเนินงาน

การวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้ใช้ค่าสถิติพื้นฐาน ร้อยละ และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

1) **สถิติที่ใช้ในการดำเนินงาน** การวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้ใช้ค่าสถิติพื้นฐาน ได้แก่

ร้อยละ (Percentage) ใช้เพื่อเปรียบเทียบความถี่ที่ต้องการกับความถี่ทั้งหมด โดยคำนวณจากสูตร

$$p = \frac{f}{n} \quad (1)$$

เมื่อ

p แทน ค่าร้อยละ

f แทน ความถี่ที่ต้องการแปลงเป็นค่าร้อยละ

n แทน จำนวนความถี่ทั้งหมด

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ใช้ในการวัดการกระจายของข้อมูล โดยใช้สูตร

$$S.D. = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (2)$$

เมื่อ

$S.D$ แทน ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

x แทน ค่าคะแนน

n แทน จำนวนคะแนนในแต่ละกลุ่ม

$\sum$ แทน ผลรวม

สถาปัตยกรรมของระบบ (System Architecture)

สถาปัตยกรรมของระบบแอปพลิเคชันค้นหาร้านค้าและบริการในจังหวัดหนองบัวลำภู ถูกออกแบบในลักษณะ Mobile Application Based System โดยมีโครงสร้างการทำงานแบบ Client-Server Architecture ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ได้แก่

1) ส่วนผู้ใช้งาน (Client Side)

เป็นส่วนของแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ระบบปฏิบัติการ Android ซึ่งพัฒนาด้วยโปรแกรม MIT App Inventor ทำหน้าที่เป็นส่วนติดต่อประสานงานกับผู้ใช้ (User Interface) สำหรับการ

- ค้นหาร้านค้าและบริการ
- แสดงตำแหน่งร้านค้าบนแผนที่
- ดูรายละเอียดร้านค้า
- ให้คะแนนและแสดงความคิดเห็น (Review)

2) ส่วนประมวลผลของระบบ (Application Server)

ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการรับ - ส่งข้อมูลระหว่างแอปพลิเคชันกับฐานข้อมูล โดยทำการประมวลผลคำขอจากผู้ใช้งาน เช่น

- การร้องขอพิกัดตำแหน่งร้านค้า
 - การดึงข้อมูลรายละเอียดร้านค้า
 - การบันทึกคะแนนและรีวิวของผู้ใช้งาน
- ซึ่งทำงานร่วมกับบริการผ่านระบบอินเทอร์เน็ต

(Online Service)

3) ส่วนฐานข้อมูล (Database System)

- ทำหน้าที่จัดเก็บข้อมูลร้านค้าและบริการ ได้แก่
- ชื่อร้าน
 - ประเภทร้าน
 - ที่อยู่

- พิกัดตำแหน่ง
- ข้อมูลติดต่อ
- คะแนนและรีวิวจากผู้ใช้งาน

โดยฐานข้อมูลจะถูกเรียกใช้งานผ่านระบบออนไลน์เพื่อให้สามารถอัปเดตข้อมูลได้แบบเรียลไทม์

การทำงานโดยรวมของระบบ เริ่มจากผู้ใช้งานเปิดแอปพลิเคชันและส่งคำสั่งค้นหาไปยังเซิร์ฟเวอร์ จากนั้นระบบจะดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลและส่งผลลัพธ์กลับมาแสดงผลบนหน้าจอมือถือของผู้ใช้งาน พร้อมทั้ง

เชื่อมโยงกับระบบแผนที่เพื่อแสดงตำแหน่งร้านค้าอย่างถูกต้องและแม่นยำ

การออกแบบแอปพลิเคชัน

การพัฒนาแอปพลิเคชันร้านค้าและบริการในจังหวัดหนองบัวลำภู ใช้โปรแกรม MIT App Inventor โดยมีการออกแบบระบบการทำงาน แผนผังการทำงาน แผนผังกระแสข้อมูล เพื่อแสดงกระบวนการและทิศทางของข้อมูลภายในแอปพลิเคชัน ดังนี้

1) แผนผังการทำงาน เพื่อแสดงขั้นตอนการทำงานของแอปพลิเคชัน

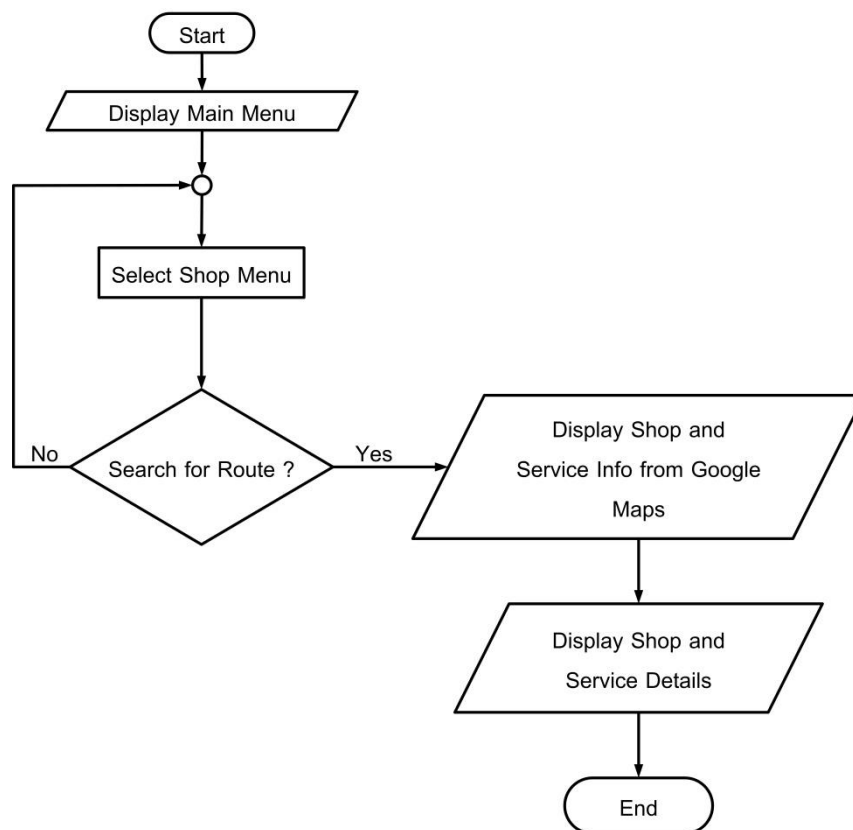


Figure 1 Flowchart of the Application Workflow

2) แผนผังกระแสข้อมูล เพื่อแสดงกระบวนการและทิศทางของข้อมูลภายในแอปพลิเคชัน

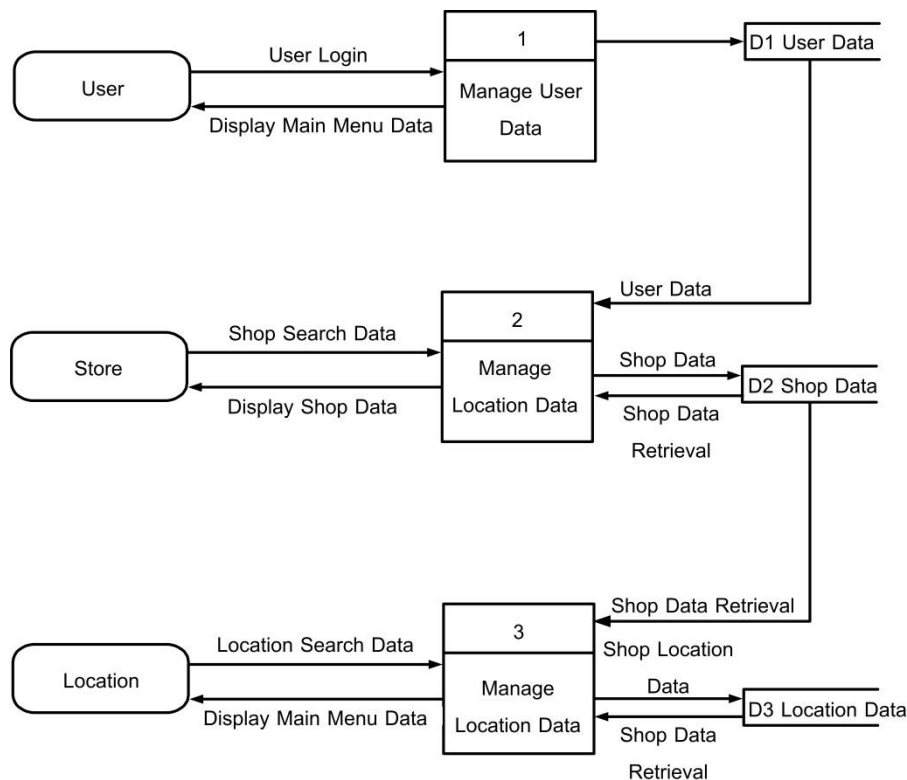


Figure 2 Data Flow Diagram of the Application

การพัฒนาแอปพลิเคชัน

ขั้นตอนในการพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับร้านค้าและบริการในจังหวัดหนองบัวลำภู ดำเนินการตามลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) การศึกษาและรวบรวมข้อมูล ทำการศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับร้านค้าและบริการในพื้นที่อำเภอเมืองหนองบัวลำภู เพื่อนำมาใช้ในการออกแบบและพัฒนาระบบ

2) การออกแบบระบบการทำงาน ออกแบบระบบการทำงานของแอปพลิเคชันให้มีประสิทธิภาพและตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งาน

3) การพัฒนาส่วนหน้า (Front-end) สร้าง Layout และออกแบบส่วนติดต่อประสานงานกับผู้ใช้งาน (User Interface) เพื่อให้แอปพลิเคชันมีความน่าสนใจและใช้งานง่าย

4) การพัฒนาส่วนหลัง (Back-end) ดำเนินการพัฒนาแอปพลิเคชันโดยใช้แพลตฟอร์ม MIT App Inventor

การประเมินคุณภาพแอปพลิเคชัน

การประเมินคุณภาพของแอปพลิเคชันดำเนินการโดยการให้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 50 คน ใช้งานและประเมินผลผ่านแบบสอบถามความคิดเห็น ซึ่งมีรูปแบบมาตราส่วนประมาณค่า (rating scale) 5 ระดับ โดยเกณฑ์การประเมินค่ามีรายละเอียดดังนี้

ระดับ 5 หมายถึง ดีมาก

ระดับ 4 หมายถึง มาก

ระดับ 3 หมายถึง ปานกลาง

ระดับ 2 หมายถึง น้อย

ระดับ 1 หมายถึง น้อยมาก

ผลการดำเนินงาน

ในการดำเนินงานพัฒนาแอปพลิเคชันค้นหาร้านค้าและบริการในอำเภอเมืองหนองบัวลำภู ผู้วิจัยได้นำผลจากการศึกษาความต้องการและกระบวนการออกแบบ

เชิงระบบ มาสร้างสรรค์เป็นแอปพลิเคชันที่สามารถทำงานได้จริงบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ โดยมุ่งเน้นการเชื่อมโยงข้อมูลท้องถิ่นเข้ากับเทคโนโลยีระบบตำแหน่ง ซึ่งผลการดำเนินงานมีรายละเอียดดังนี้

ผลการพัฒนาแอปพลิเคชันค้นหาร้านค้า

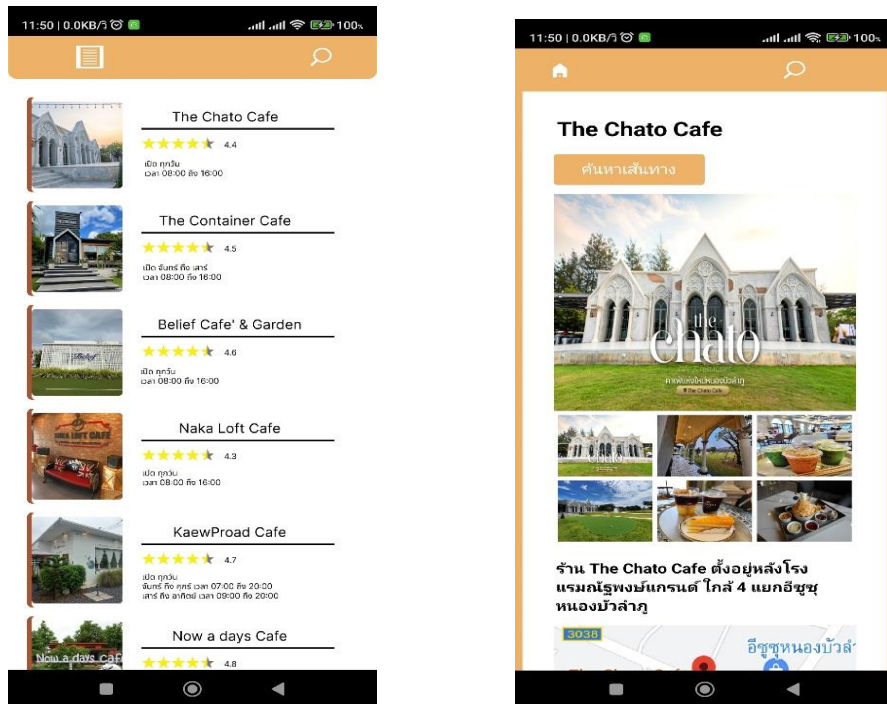


Figure 3 Main Menu and Display

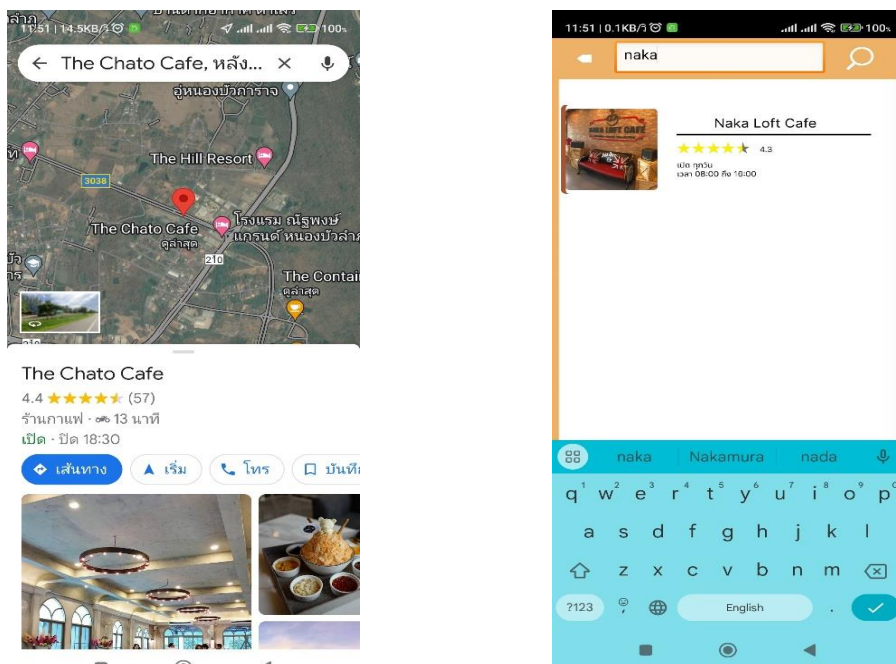


Figure 4 Cafe Location Display

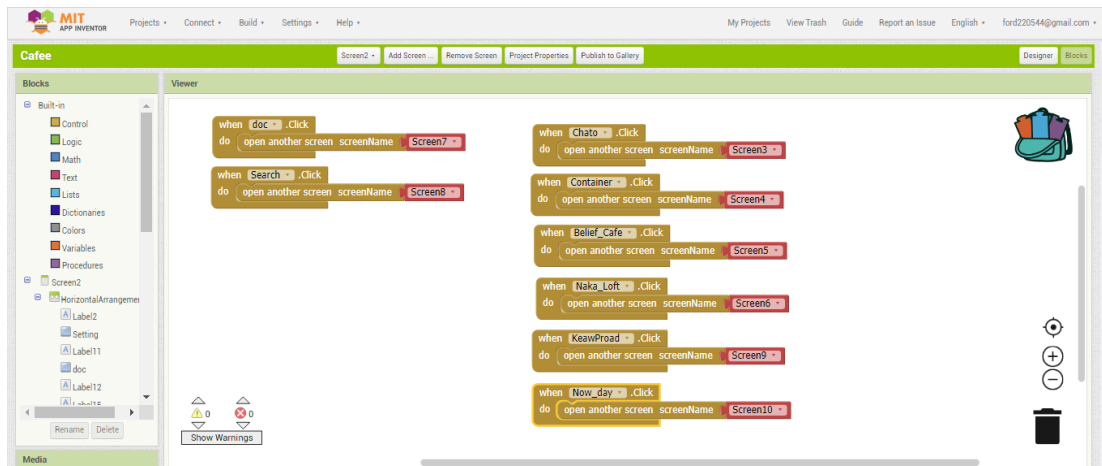


Figure 5 Using Blocks to Display the Main Page

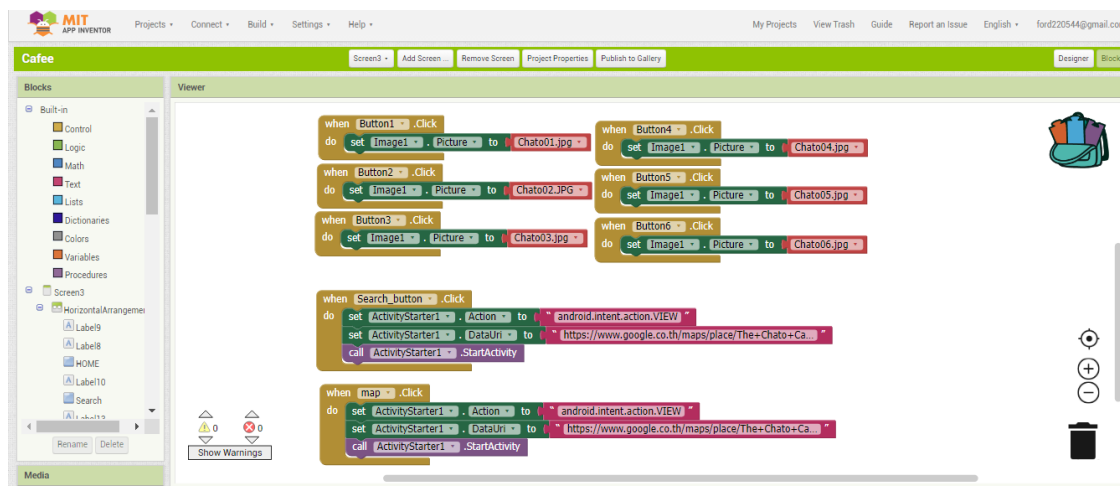


Figure 6 Using Blocks to Display Cafe Locations

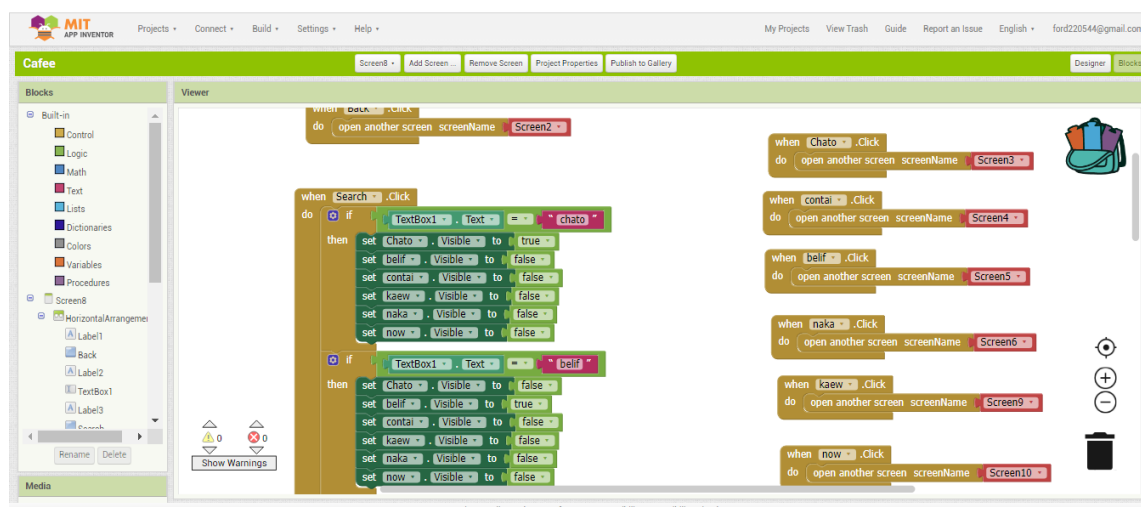


Figure 7 Using Blocks to Display the Cafe Search Page

ประเมินคุณภาพของแอปพลิเคชัน

ผลการประเมินคุณภาพและความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อแอปพลิเคชันค้นหาร้านค้าและบริการใน

จังหวัดหนองบัวลำภู พบว่าอยู่ในระดับ ปานกลาง โดยมีค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) เท่ากับ 2.8 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เท่ากับ 0.93 ซึ่งรายละเอียดดังกล่าวแสดงใน Table 1

Table 1 Summary of the Evaluation Results for Application Quality

Using the Application	Satisfaction Level		
	($\bar{x}$)	S.D.	Assessment
1. Satisfaction with the application design	2.9	0.99	Moderate
2. Aesthetic appeal of the application	2.9	0.98	Moderate
3. Layout arrangement of the application	2.9	0.87	Moderate
4. Ease of use of the application	2.7	0.88	Moderate
5. Stability of the application	2.6	0.82	Moderate
6. Application performs according to objectives	2.6	0.87	Moderate
7. Attractiveness of the application	2.6	0.89	Moderate
8. Appropriateness of images and text usage	3.1	0.88	Moderate
9. Application clearly displays café location information	2.9	0.98	Moderate
10. Coverage of application functionality	2.5	0.90	Low
Overall	2.8	0.93	Moderate

สรุปผลการศึกษา

ผลการประเมินคุณภาพและความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อแอปพลิเคชันค้นหาร้านค้าและบริการในจังหวัดหนองบัวลำภู พบว่ามีคุณภาพโดยรวมอยู่ในระดับปานกลาง โดยค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) = 2.8 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 0.93 แสดงให้เห็นว่าผู้ใช้งานส่วนใหญ่มีความคิดเห็นไปในทิศทางเดียวกัน และสะท้อนถึงศักยภาพของแอปพลิเคชันที่สามารถพัฒนาและต่อยอดได้อย่างชัดเจน

ผลการประเมินรายด้าน

1) ด้านการออกแบบและการแสดงผล ผู้ใช้งานให้คะแนนในระดับปานกลาง ทั้งในด้านความพึงพอใจต่อการออกแบบ ($\bar{x}$ = 2.9) ความสวยงาม ($\bar{x}$ = 2.9) การจัดวาง

องค์ประกอบ ($\bar{x}$ = 2.9) และความเหมาะสมในการใช้รูปภาพและตัวอักษร $\bar{x}$ = 3.1 ซึ่งสะท้อนว่าแอปพลิเคชันมีพื้นฐานการออกแบบที่ดีและสามารถพัฒนาเพิ่มเติมเพื่อสร้างความโดดเด่นและความน่าสนใจได้มากยิ่งขึ้น

2) ด้านการใช้งานและประสิทธิภาพ ผลการประเมินชี้ให้เห็นว่าแอปพลิเคชันมีจุดแข็งในด้านการทำงานที่ตรงตามวัตถุประสงค์ และยังมีโอกาสในการปรับปรุงให้ใช้งานได้ง่ายขึ้น เสถียรยิ่งขึ้น และสร้างประสบการณ์ที่ราบรื่นมากขึ้นแก่ผู้ใช้งาน

3) ด้านเนื้อหาและความครอบคลุม การประเมินด้านเนื้อหาและฟังก์ชันสะท้อนให้เห็นถึงศักยภาพของแอปพลิเคชันในการต่อยอดและขยายความครอบคลุมให้ดี

ยิ่งขึ้น ซึ่งเป็นโอกาสสำคัญในการพัฒนาเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานได้อย่างครบถ้วนและครอบคลุมมากขึ้น

อภิปรายผลการวิจัย

ผลการประเมินคุณภาพและความพึงพอใจของผู้ใช้งานต่อแอปพลิเคชันค้นหาร้านค้าและบริการในจังหวัดหนองบัวลำภู พบว่ามีคุณภาพโดยรวมอยู่ในระดับปานกลาง (ค่าเฉลี่ย 2.8 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.93) ซึ่งสะท้อนว่าแอปพลิเคชันมีศักยภาพพื้นฐานที่ดีและสามารถพัฒนาให้ดียิ่งขึ้นได้อย่างชัดเจน โดยเฉพาะด้านการออกแบบและการแสดงผลซึ่งได้รับการประเมินในระดับค่อนข้างดี แสดงถึงความเหมาะสมด้านความสวยงามและการจัดวางองค์ประกอบที่ตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานได้ในระดับหนึ่ง

นอกจากนี้ ด้านการใช้งานและประสิทธิภาพรวมทั้งด้านเนื้อหาและความครอบคลุม แม้จะได้รับการประเมินในระดับปานกลาง เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างร้านค้ามีจำนวนน้อย กลุ่มตัวอย่างจำกัด หน้าตาของแอป (User Interface: UI) ยังอยู่ในระดับต้นแบบทดลอง ยังไม่สมบูรณ์เหมือนแอปที่ใช้งานจริงเชิงพาณิชย์ แต่ถือเป็นโอกาสสำคัญในการปรับปรุงและพัฒนาต่อยอด เพื่อเพิ่มความง่ายต่อการใช้งาน เสถียรภาพของระบบ และการนำเสนอข้อมูลที่ครอบคลุมมากยิ่งขึ้น ซึ่งหากได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง จะช่วยยกระดับคุณภาพของแอปพลิเคชันให้มีความเหมาะสมและสร้างความพึงพอใจแก่ผู้ใช้งานได้ในระยะยาว

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สามารถสำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความช่วยเหลือจากคณะผู้บริหารและคณาจารย์ของวิทยาลัยพณิชยการทิตตทูลทุกท่าน ที่ได้ให้การสนับสนุนทั้งในด้านวิชาการและคำแนะนำที่มีคุณค่า ตลอดจนการแนะนำแนวทางในการดำเนินงานวิจัย รวมถึงการให้คำปรึกษาในทุกขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาและดำเนินการวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

1. พัชร อรุณโรจน์, ศิริญา อ่อนอัฐ. การพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับค้นหาร้านค้าและบริการในเขตพื้นที่มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด. วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 2021;2:47–59.
2. Guevarra BS, Ignacio AE. Implementation of an Android Mobile Location-Based Service Application for General Auto Repair Shops. Int J Multidiscip Appl Bus Educ Res 2021;2:49–62.
3. อรรถพล อุดลยศาสตร์, อิศมาแอ ลำเตะเกะ, สุลัยมาน เกอใต้ะ, มุฮัมหมัดราฟี ดีอราแม. ระบบบริการค้นหาร้านซ่อมรถยนต์บนแอนดรอยด์แพลตฟอร์ม. ใน: รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเครือข่ายภาคใต้ ครั้งที่ 8; 21-22 กุมภาพันธ์ 2566; มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา. ยะลา: คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา; 2566. หน้า 698–707.
4. จุฬาลักษณ์ มหาวิน, ชัชกมล เกตุมี. ระบบบริหารจัดการร้านเปรมมาลิญส์สปา จังหวัดอุดรดิตรดิออนไลน์. วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ประยุกต์ 2018;2:43–56.
5. ฉัตรพร ตาจินะ, ธิดาพร สุวรรณเวียง, อังศนา พงษ์นุ่มกุล. การพัฒนาแอปพลิเคชันร้านขายเฟอร์นิเจอร์. วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี 2024;2:1–16.
6. พัชรพร ศาลาค่า, จณินวัตร ทะลาลี. ระบบบริหารจัดการร้านอาหารออนไลน์ กรณีศึกษา ร้านตู้แดง. วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ 2024;2:48–60.
7. ณัฐภัทร สุวรรณศิลป์, ปิยะดา กันตรัตนกุล, กฤติกา สังขวดี. การพัฒนาระบบซื้อขายสินค้าออนไลน์ กรณีศึกษา: ร้านกล้วยตานี สาขาพิษณุโลก. วารสารร่วมยูงทอง 2023;1:36–52.
8. รัตนสุดา สุกदनัยสร, ปุณณพัฒน์ คำสีหา, วีรวัฒน์ ปานกลาง. การพัฒนาระบบตะกร้าสินค้าอัจฉริยะด้วย

- เทคโนโลยี RFID. วารสารวิชาการเทคโนโลยี
อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ 2023;8:71–
84.
9. ชยพล ทูลภิรมย์, สิริพรรณ คงคำ, อำนวย ศรีสุข. การ
พัฒนาระบบเว็บไซต์ขายสินค้าออนไลน์ร้านโชติกา
ด้วยภาษา PHP. วารสารวิชาการเฉลิมกาญจนา
2023;10:132–8.
10. อดิศร โกษาจันทร์, เกษสุภัค เนตรสุวรรณ, อธิชัย อิน
อุเทศ, จิตราภา คนฉลาด. การพัฒนาระบบพาณิชย์
อิเล็กทรอนิกส์สำหรับจำหน่ายต้นไม้ประดับ.
วารสารวิชาการและวิจัย มหาวิทยาลัยภาค
ตะวันออกเฉียงเหนือ 2023;13:114–29.
11. ปริญญารัตน์ สมัครสมาน, สุพรรณิ เปาป้า, สุธิสา
ทองเหลือง, จันทรรดา สุขสาม, ปิยะ แก้วบัวดี. การ
พัฒนาระบบสินค้าเกษตรร้านก้าวหน้าไร่ ตำบล
ปราสาททอง จังหวัดสุรินทร์. วารสารคอมพิวเตอร์และ
เทคโนโลยีสร้างสรรค์ 2023;1:29–35.
12. สลิลทิพย์ ผ่องแผ้ว, ชุตินา นิ่มนวล. ระบบบริหาร
จัดการร้านขายวัสดุก่อสร้าง กรณีศึกษา: ร้าน ป.
รุ่งเรืองค้าวัสดุด. วารสารเทคโนโลยีสื่อสารมวลชน มท
ร.พระนคร. 2023;8:16–25.
13. ขวลิต ยศสุนทร, กชกร แวนวิเศษ, ณัฐกานต์ พิมพ์
สมาน, รุ่งทิวา คุ่มไชน้ำ. การพัฒนาระบบบริหาร
จัดการร้านค้าออนไลน์ วิสาหกิจชุมชนสวนทิพย์
อำเภอท่าลี่ จังหวัดเลย. วารสารวิทยาการจัดการ
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี 2025;7:30–44.
14. Vinothkumar M, Senthilkumar A. Farmer shop
mobile application. Int J Comput Sci Mob
Comput 2019;8:226–32.
15. Andreas AG, Sulasmono A, Junaedi L, Saputra
AS, Christina L, Widiputra H. Analysis of User
Experience (UX) in the Use of the TikTok Shop
Application with the HEART Metrics Method. J
Artif Intell Eng Appl 2024;3:820–3.
16. Jiang T, Zhang C. Application of Grey Wolf
Optimization for Solving Combinatorial Problems.
IEEE Access. 2018;6:26231–40.
17. Jadhav RD, Kadam MS. The Study of Usage
Software Applications Utilized in Retail Medical
Shops Business. IJRAR. 2019;6:283.

ปริมาณฟีนอลิกรวม ฟลาโวนอยด์รวม และฤทธิ์ยับยั้งอนุมูลอิสระของสารสกัดกาวไหมจากไหมป่าอีรี่ (*Samia ricini*) ด้วยเทคนิคการสกัดที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

Total Phenolic, Flavonoid Contents and Antioxidant Activity of Sericin Extracted from Eri Silk (*Samia ricini*) Using Green Extraction Techniques

สุนทร ชูลักษณ์^{*1} และ สุชาวเล ชูลักษณ์²

Sunthorn Chooluck^{*1} and Suchawalee Chooluck²

¹ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

²ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

¹ Department of Biochemistry, Faculty of Science, Burapha University

² Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University

*Corresponding author; E-mail: sunthornc@buu.ac.th

Received: 18 March 2026 /Revised: 16 April 2026 /Accepted: 17 April 2026

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการสกัดและศึกษาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในไหมป่าอีรี่ (*Samia ricini*) เพื่อนำไปพัฒนาเป็นส่วนผสมของเวชสำอางด้วยวิธีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยนำรังไหมไปสกัดหยาบด้วยการต้มกับสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตจากการเผาข้าวหลามด้วยฟืนไม้ไผ่ เปรียบเทียบกับการต้มด้วยน้ำกลั่น การต้มด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ความเข้มข้น 0.2% w/v และสกัดด้วยสารละลายยูเรียเข้มข้น 8 โมลาร์ พบว่าการสกัดกาวไหมด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตมีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับการใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต จากนั้นนำสารสกัดหยาบไปวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนด้วยวิธี Bradford assay พบว่าการสกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต เป็นเวลา 30 นาทีให้ปริมาณโปรตีนมากที่สุด (791.89 ± 0.85 mg/g) จากนั้นนำไปวิเคราะห์ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ ABTS assay ผลการทดลองพบว่าวิธีการสกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต เป็นเวลา 90 นาทีนั้นมีปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกสูงที่สุด (253.10 ± 7.07 mg GAE/gDW) และมีฟลาโวนอยด์ (41.72 ± 0.00 mg QE/gDW) อยู่สูง อีกทั้งยังสามารถกำจัดอนุมูล ABTS ได้ดีที่สุดโดยมีร้อยละการยับยั้ง 90.05 ± 2.82 เมื่อทดสอบด้วยวิธี DPPH การสกัดด้วยการต้มด้วยน้ำกลั่นเป็นเวลา 90 นาทีกำจัดอนุมูลอิสระได้ดีที่สุด (ร้อยละการยับยั้ง 62.07 ± 0.79) ดังนั้น วิธีการสกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตจากการเผาข้าวหลามจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากรังไหมอีรี่ที่สามารถนำไปพัฒนาเป็นส่วนประกอบของเวชสำอางได้ในอนาคตเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับของที่ไม่ได้ใช้แล้วแก่เกษตรกรและชุมชน

คำสำคัญ: กาวไหม สารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ อนุมูลอิสระ สารต้านอนุมูลอิสระ

Abstract

This study investigates the extraction and characterization of bioactive compounds from the Eri silkworm (*Samia ricini*) for the development of sustainable cosmeceutical ingredients. To minimize the use

of harsh reagents, a green extraction approach was employed using an alkaline solution derived from bamboo firewood ash residues in Khao-Lam processing. This method was evaluated against conventional solvents, including distilled water, 0.2% (w/v) Na_2CO_3 , and 8 M. urea solution. The results demonstrate that the ash-based degumming process achieved efficiency comparable to sodium carbonate. Quantitative analysis via Bradford assay identified that the 30-minute Na_2CO_3 extraction yielded the maximum protein concentration (791.89 ± 0.85 mg/g). However, phytochemical profiling and antioxidant capacity assessments using DPPH and ABTS assays revealed that the 90-minute ash solution extraction produced the highest total phenolic content (253.10 ± 7.07 mg GAE/gDW) and significant flavonoid levels (41.72 ± 0.00 mg QE/gDW). This extract also exhibited the most potent ABTS radical scavenging activity ($90.05 \pm 2.82\%$ inhibition), while the 90-minute distilled water extract showed the highest DPPH radical scavenging ($62.07 \pm 0.79\%$ inhibition). In conclusion, utilizing agricultural waste-derived ash provides an efficacious and eco-friendly alternative for recovering bioactive constituents from Eri silk cocoons. This methodology facilitates the valorization of agricultural by-products and offers a promising pathway for the formulation of high-value, bio-based cosmeceuticals, thereby enhancing the economic sustainability of local sericulture communities.

Keywords: Sericin, Phenolic Compound, Flavonoid, Free Radical, Antioxidant

บทนำ

ไหมเป็นเส้นใยโปรตีนธรรมชาติที่ได้จากสิ่งมีชีวิตพวกอาร์โทรพอด (Arthropod) รวมถึง หนอนไหมหรือแมลงชนิดต่าง ๆ ซึ่งสามารถสร้างเส้นใยได้ เช่น แมงมุม แมงป่อง เส้นไหมเป็นพอลิเมอร์อินทรีย์ที่มีขนาดใหญ่ มีน้ำหนักโมเลกุลสูงมีกรดอะมิโนกลุ่มที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic amino acid) และกรดอะมิโนกลุ่มที่ชอบน้ำ (Hydrophilic amino acid) จัดเรียงตัวอยู่ซ้ำ ๆ กัน เป็นองค์ประกอบในสายเบปไทด์ เส้นไหมจะถูกสร้างจากต่อมที่มีคุณสมบัติพิเศษ (Specialized glands) เรียกว่าต่อมไหม (Silk gland) ใน Glandular epithelial cells ซึ่งเป็นกลุ่มเซลล์ที่รวมตัวกันเพื่อทำหน้าที่ในการขับสารไหมที่เป็นของเหลวออกมา จากนั้นจะถูกเก็บไว้ภายใน Lumen ของต่อมดังกล่าว¹ ไหมแต่ละชนิดล้วนแตกต่างกันทั้งด้านองค์ประกอบ โครงสร้างและคุณสมบัติต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาของไหม หนอนไหมแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ไหมบ้าน (Domestic silkworm) หรือไหมกินใบหม่อน (Mulberry silkworm) เป็นอาหารเพียงอย่างเดียวและไหม

ป่าหรือไหมที่ไม่กินใบหม่อนเป็นอาหาร (Non-mulberry silkworm) เส้นไหมที่มีการศึกษาโครงสร้างคุณสมบัติต่าง ๆ และการประยุกต์ใช้กันอย่างแพร่หลายที่สุดคือเส้นไหมจากไหมบ้าน *Bombyx mori* และจากแมงมุมสายพันธุ์ *Nephila clavipes* และสายพันธุ์ *Araneus diadematus*²⁻⁴

โปรตีนเซรีซิน (Sericin) และ โปรตีนไฟโบรอิน (fibroin) เป็นโปรตีนที่เป็นส่วนประกอบของไหม (Silk) โดยมีโปรตีนไฟโบรอิน (Fibroin) ซึ่งเป็นโปรตีนเส้นใยอยู่ร้อยละ 70-80 ของน้ำหนักไหมทั้งหมด และโปรตีนเซรีซินอีกร้อยละ 20-30 โปรตีนเซรีซินมีปริมาณกรดอะมิโนเซอรีน (Serine) เป็นองค์ประกอบอยู่เป็นจำนวนมากถึงร้อยละ 30-33 จึงเป็นที่มาของชื่อ “เซรีซิน” หรือเรียกกันโดยทั่วไปว่า “กาวไหม” เนื่องจากมีลักษณะเหนียวเหมือนกาวเป็นชั้นห่อหุ้มเส้นไหมอยู่ในธรรมชาติจะพบกาวไหมอย่างน้อย 5-6 ชนิด ซึ่งจะมีขนาดตั้งแต่ 65 kDa ไปจนถึงมากกว่า 400 kDa โปรตีนกาวไหมประกอบไปด้วยกรดอะมิโนจำนวน 18 ชนิดซึ่งรวมถึงกรดอะมิโนจำเป็น

(Essential amino acids) ด้วย โดยจะพบกรดอะมิโนที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) เป็นองค์ประกอบอยู่ถึงร้อยละ 45.8 และกรดอะมิโนที่มีซัลฟิอูร์อยู่ร้อยละ 42.3 ส่วนกรดอะมิโนที่ไม่มีซัลฟิอูร์มีอยู่ร้อยละ 12.20 ทำให้โปรตีนกาวไหมสามารถละลายน้ำได้ดี^{5, 6} กาวไหมเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่ผลิตโดยหนอนไหมซึ่งล้อมรอบและและยึดเส้นใยไฟโบรอินทั้ง 2 เส้นเข้าด้วยกัน มักพบในของเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ เนื่องจากต้องลอกกาวไหม (Degumming) ออกเพื่อให้เส้นไหมมีความมันวาวและเรียบเนียน จึงถูกทิ้งให้สูญเปล่าโดยไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์ แต่จากการศึกษาพบว่ากาวไหมนั้นมีคุณสมบัติทางชีวภาพที่มีประโยชน์สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในวงการวิทยาศาสตร์และสามารถนำไปเพิ่มมูลค่าทางการค้าได้ เนื่องจากกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบในกาวไหมมีหมู่ฟังก์ชันที่มีซัลฟิอูร์อยู่มาก อาทิเช่น หมู่ไฮดรอกซิล หมู่คาร์บอกซิล และหมู่อะมิโน ทำให้สามารถรวมตัวกับพอลิเมอร์ชีวภาพ (Biopolymer) ชนิดต่าง ๆ ได้ดี และการที่มีสารประกอบฟีนอลิก (Polyphenolic compounds), ฟลาโวนอยด์ (Flavonoid), รงควัตถุ (Pigments) ต่าง ๆ แทรกอยู่ในชั้นของกาวไหม รวมถึงมีกรดอะมิโน เซอริน กรดแอสพาร์ติก (Aspartic acid) และ ทรีโอนีน (Threonine) อยู่สูงทำให้กาวไหมมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ (Biocompatibility) กับร่างกายของมนุษย์ โดยกาวไหมสามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติส่งผลให้มีความปลอดภัยทั้งต่อร่างกายและสิ่งแวดล้อม เหมาะสำหรับการนำไปใช้งานทางการแพทย์ เช่น วัสดุปลูกถ่ายชั่วคราวหรือวัสดุเย็บแผล กาวไหมยังมีความสมบัติด้านเชื้อแบคทีเรียต้านเชื้อรา และด้านการอักเสบ ช่วยป้องกันการติดเชื้อและส่งเสริมการสมานแผล นอกจากนี้ยังสามารถนำไปแปรรูปเป็นเส้นใย ฟิล์ม และวัสดุอื่น ๆ ได้ด้วยเทคนิคการขึ้นรูปต่าง ๆ เช่น การปั่นเส้นใย การหล่อ และการพิมพ์ 3 มิติ คุณสมบัตินี้ทำให้กาวไหมเป็นวัสดุที่หลากหลายเหมาะสำหรับการใช้งานต่าง ๆ เช่น ผ้าอ้อมผู้ใหญ่ ผ้าพันแผล และเครื่องสำอาง รวมถึงพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมได้^{2, 7-10}

ในการลอกกาวไหมนั้นสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ การต้มแล้วสาวไหมออก การสกัดด้วยสารละลายกรดหรือด่าง การใช้เอนไซม์ย่อยโปรตีนหรือใช้สารเคมี โดยในอุตสาหกรรมสิ่งทอนิยมใช้การสกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่สามารถลอกกาวไหมได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ¹¹ ซึ่งปริมาณของกาวไหมที่ได้นั้นจะขึ้นอยู่กับวิธีการสกัด และสายพันธุ์ของหนอนไหมที่นำมาสกัด ส่วนใหญ่หากใช้สารเคมีในการสกัดจะกำจัดกาวไหมออกไปได้มากแต่ต้องทำการแยกเอาสารเคมีที่ใช้ในการสกัดกาวไหมออกก่อนจึงจะสามารถนำไปใช้งานต่อไปได้ การแยกสารเคมีออกป็นนั้นซับซ้อนที่ยุ่งยากและซับซ้อนในการที่จะได้สารสกัดที่ไม่สูญเสียหน้าที่ทางชีวภาพและยังสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในด้านอุตสาหกรรมจึงมักทิ้งกาวไหมแม้ว่าจะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างหลากหลาย^{12, 13}

กาวไหมจัดเป็นเป็นสารชีวโมเลกุลจำพวกโปรตีน จึงมีสมบัติเหมือนโปรตีนทั่วไปในร่างกายที่สามารถถูกย่อยสลายได้ด้วยเอนไซม์ในกลุ่มที่ย่อยโปรตีน (Proteolytic enzyme) ผ่านกระบวนการทางชีวภาพ (Biodegradable) จึงไม่ก่อให้เกิดการแพ้ นอกจากนี้กาวไหมยังมีความสมบัติคล้ายเจลเมื่ออยู่ในสถานะของเหลว และกักเก็บความชุ่มชื้นได้ดี ทำให้ในปัจจุบันถูกนำไปใช้ในด้านทางการแพทย์และเวชสำอาง เช่น ลดการอักเสบ ด้านเชื้อจุลินทรีย์บางชนิด รวมถึงมีฤทธิ์ในการต้านมะเร็งในลำไส้ใหญ่^{3, 14} นำไปผลิตเป็นแผ่นฟิล์มปิดแผลเพื่อกระตุ้นให้เกิดการสร้างคอลลาเจนให้แผลหายเร็วขึ้น มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ^{2, 15} ป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV) ยับยั้งกิจกรรมของปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิพิด (Lipid peroxidation) และยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส (Anti-tyrosinase activity) ที่ทำให้เกิดกระบวนการสร้างเม็ดสีเมลานินซึ่งทำให้ผิวหมองคล้ำ^{1, 3, 16} นอกจากนี้ยังมีผลการวิจัยมากมายที่แสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระของกาวไหมน่าจะมาจากสององค์ประกอบหลัก ได้แก่ปริมาณของกรดอะมิโนเซอรินและทรีโอนีนที่สูงซึ่งกรดอะมิโนทั้งสองชนิดนี้มีหมู่ไฮดรอกซิลซึ่งทำหน้าที่จับ (Chelation) กับแร่ธาตุต่าง ๆ

เช่น ทองแดงและเหล็ก แร่ธาตุเหล่านี้สามารถเร่งปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชันในร่างกายซึ่งเป็นสาเหตุของการสร้างอนุมูลอิสระขึ้นภายในเซลล์ แต่กาวยาใหม่สามารถช่วยในการยับยั้งกระบวนการนี้ได้ อีกทั้งปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกและ ฟลาโวนอยด์ที่พบในชั้นของกาวยาใหม่ก็มีส่วนสำคัญในการต้านอนุมูลอิสระเช่นกัน ทำให้กาวยาใหม่มีคุณสมบัติเด่นในการต้านอนุมูลอิสระ เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีที่หลากหลายและเป็นสารที่ปลอดภัยเหมาะสมสำหรับใช้เป็นส่วนผสมในอุตสาหกรรมอาหารและเวชสำอาง¹ ในปัจจุบันมีการวิจัยและออกแบบผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของกาวยาใหม่เกิดขึ้นมากมายแต่ผลิตภัณฑ์เหล่านั้นมักใช้สารเคมีในการลอกกาวยาใหม่เนื่องจากการใช้สารเคมีนั้นทำให้ได้สารสกัดเป็นจำนวนมาก จะเห็นได้ว่ากาวยาใหม่มีประโยชน์มากมายทั้งด้านการแพทย์และเวชสำอาง ซึ่งโดยทั่วไป การสกัดกาวยาใหม่จากรังไหมมักอาศัยกระบวนการทางเคมีที่รุนแรง ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาแนวทางการสกัดอย่างยั่งยืนเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยหนึ่งในแนวทางที่มีประสิทธิภาพคือการใช้ วัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมเกษตร (Agro-industrial waste) ในการย่อยสลายกาวยาใหม่ ซึ่งวิธีการสกัดที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Green extraction) นี้ สามารถแยกกาวยาใหม่ออกได้โดยไม่ทำลายโครงสร้างของไฟโบรอิน จึงถือเป็นทางเลือกที่มีศักยภาพสูงกว่าวิธีการสกัดด้วยสารเคมีแบบดั้งเดิม นอกจากนี้ การพัฒนาวิธีการลอกกาวยาใหม่โดยใช้วัสดุจากธรรมชาติและไม่ใช้สารเคมีในสภาวะที่รุนแรงจะเป็นการเพิ่มมูลค่าของที่ไม่ได้ใช้แล้วให้เกิดประโยชน์สูงสุดแก่เกษตรกรและชุมชน อีกทั้งยังเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

ปัจจุบันมีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการลอกกาวยาใหม่ด้วยวิธีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอย่างต่อเนื่อง เช่นมีการใช้สารสกัดจากใบหม่อนพันธุ์บุรีรัมย์ 60 เป็นตัวทำละลาย

ทางเลือกแทนการใช้สารเคมีในการสกัดกาวยาใหม่จากรังไหมไทยพื้นเมืองพันธุ์นางสาว โดยวิธีนี้สามารถลอกกาวยาใหม่ได้โดยไม่ทำลายความแข็งแรงของเส้นใยไหม เมื่อเทียบกับการใช้สารละลาย Na_2CO_3 แบบดั้งเดิมที่ทำให้โครงสร้างของไฟโบรอินเสียหาย¹⁷ นอกจากนี้ยังมีการใช้ต่างจากชี้เถาธรรมชาติโดยมีการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลอกกาวยาใหม่โดยใช้น้ำต่างจากชี้เถาเปลือกนุ่น ชี้เถาลูกนุ่น และน้ำหมักใบกล้วย ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากธรรมชาติและเกษตรกรรม เพื่อหลีกเลี่ยงการใช้ต่างสังเคราะห์ พบว่าสามารถนำมาใช้สกัดกาวยาใหม่จากไหมบ้านได้อย่างมีประสิทธิภาพ^{18, 19} อย่างไรก็ตาม ยังไม่พบงานวิจัยที่เป็นการพัฒนาวิธีการลอกกาวยาใหม่จากไหมป่าโดยใช้วัสดุจากธรรมชาติ ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่ได้จากการลอกกาวยาใหม่ป่าสายพันธุ์ไหมอีรี่ (*Samia ricini*) โดยการนำชี้เถาจากการเผาข้าวหลามด้วยฟืนไม้ไผ่ มาใช้เตรียมสารละลายต่าง (Alkali solution) หรือ น้ำต่างชี้เถา (Ash solution) เพื่อลอกกาวยาใหม่ โดยใช้ชี้เถาที่เหลือจากการเผาข้าวหลามซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์พื้นเมืองที่มีชื่อเสียง จากร้านค้าในพื้นที่ ตำบลแสนสุข อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี ซึ่งชี้เถาไม้ไผ่จะให้สารละลายประเภทโพแทสเซียมคาร์บอเนต (K_2CO_3) ซึ่งมีความเป็นด่างที่พอเหมาะ ทำให้ลอกกาวยาใหม่ออกได้และช่วยให้เส้นไหมไม่เปื่อยยุ่ยง่าย น้ำทิ้งจากการลอกกาวยาใหม่สามารถนำไปรดน้ำต้นไม้หรือปล่อยลงแหล่งน้ำได้โดยไม่สร้างมลพิษ เนื่องจากเป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มมูลค่าและลดปริมาณของเสียที่มีอยู่มากมายในชุมชน ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการซื้อสารเคมีสำเร็จรูป ปลอดภัยและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังสามารถนำวิธีการลอกกาวยาใหม่ดังกล่าวไปประยุกต์ใช้สู่ชุมชนเพื่อนำไปพัฒนาเป็นส่วนผสมในเวชสำอางต่อไป

วิธีการวิจัย

1. รังไหมและการเตรียมสารสกัดหยาบกาไหม

1.1. ตัวอย่างรังไหม

รังไหมอีรี่ ทำการซื้อมาจากเกษตรกรผู้เลี้ยงไหมในพื้นที่ อำเภอยะผิง จังหวัดนครราชสีมา ปริมาณ 1 กิโลกรัม เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ก่อนทำการสกัด



Figure 1. Cocoons of the Eri silkworm (*Samia ricini*)

1.2. การเตรียมสารสกัดหยาบกาไหม

1.2.1. การต้มด้วยน้ำกลั่น (pH = 6.7)

ทำการเตรียมสารสกัดกาไหมด้วยการต้มด้วยน้ำกลั่น โดยนำรังไหมมาตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ ขนาดประมาณ 0.2 ตารางเซนติเมตรและนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นชั่งไหม 0.5 กรัม ต้มในน้ำกลั่น (อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส) ปริมาตร 30 มิลลิลิตรเป็นเวลา 30, 60 และ 90 นาที จากนั้นทำการกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman® เบอร์ 1

แล้วแยกเอาเส้นใยไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จากนั้นนำมาชั่งแล้วคำนวณหาร้อยละของการลอกกาไหม (%Degumming) ส่วนสารละลายทำการวัดปริมาตรแล้วเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส²⁰ การคำนวณร้อยละของการลอกกาไหมทำได้โดยการเปรียบเทียบน้ำหนักของไหมก่อนการลอกกาไหมและน้ำหนักของไหมที่ผ่านการลอกกาไหมแล้วดังสมการ

$$\% \text{Degumming} = \frac{(\text{น้ำหนักไหมก่อนสกัด(g)} - \text{น้ำหนักไหมหลังสกัด(g)})}{\text{น้ำหนักไหมก่อนสกัด(g)}} \times 100$$

1.2.2. การต้มด้วยสารละลาย Na_2CO_3 (pH = 11.2)

การเตรียมสารสกัดกาไหมด้วยการต้มด้วยสารละลาย 0.2% (w/v) Na_2CO_3 โดยนำรังไหมมาตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ ขนาดประมาณ 0.2 ตารางเซนติเมตรและนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

หลังจากนั้นชั่งไหม 0.5 กรัม ต้มใน 0.2% Na_2CO_3 (อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส) ปริมาตร 30 มิลลิลิตรเป็นเวลา 30, 60 และ 90 นาที จากนั้นทำการกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman® เบอร์ 1 แล้วแยกเอาเส้นใยไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จากนั้นนำมาชั่งคำนวณหา % Degumming ภายหลังการสกัดด้วย

สารละลายต่าง สารสกัดหยาบที่ได้จะถูกรับค่า pH ให้เป็นกลางที่ 7.0 ทันทีด้วย 1M HCl ขั้นตอนนี้ทำขึ้นเพื่อยืนยันว่าค่า pH จะไม่ส่งผลกระทบต่อขั้นตอนการวิเคราะห์หรือการทดสอบทางชีวภาพในลำดับถัดไป จากนั้นทำการวัดปริมาตรสารละลายแล้วเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส²¹

1.2.3. การต้มด้วยน้ำซี้เถ้า (pH = 10.2)

การเตรียมสารสกัดตัวอย่างด้วยการต้มด้วยสารละลายซี้เถ้าที่ได้มาจากการเผาข้าวหลามด้วยฟืนไม้ไผ่ โดยละลายซี้เถ้า 5 กรัมในน้ำ 1 ลิตร คนให้เข้ากันแล้วทิ้งให้ตกตะกอนอย่างน้อย 48 ชั่วโมง จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman® เบอร์ 1 แล้วนำสารละลายซี้เถ้ามาปริมาตร 30 มิลลิลิตร ซึ่งรังไหมที่นำมาตัดเป็นชิ้นเล็กๆ ขนาดประมาณ 0.2 ตารางเซนติเมตร นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง น้ำหนัก 0.5 กรัม ต้มในสารละลายซี้เถ้าปริมาตร 30 มิลลิลิตร (อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 30, 60 และ 90 นาที จากนั้นทำการกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman® เบอร์ 1 แยกเอาเส้นใยไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จากนั้นนำมาชั่งแล้วคำนวณหา % Degumming ทำการปรับค่า pH ของสารสกัดให้เป็นกลางและวัดปริมาตรแล้วเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

1.2.4. การสกัดด้วยสารละลายยูเรีย (pH = 7.6)

ทำการเตรียมสารสกัดตัวอย่างด้วยยูเรีย โดยนำรังไหมมาตัดเป็นชิ้นเล็กๆ ขนาดประมาณ 0.2 ตารางเซนติเมตร และนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นซึ่งไหม 6 กรัม ใส่ในสารละลายยูเรียความเข้มข้น 8 โมลาร์ ปริมาตร 150 มิลลิลิตรเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปรีฟลักซ์ (Reflux) ที่ 85 องศาเซลเซียส 30 นาที จากนั้นกรองสารละลายโดยใช้กรวยบุชเนอร์ (Buchner funnel) ด้วยการกรองสุญญากาศ (Vacuum filtration) แบ่งสารละลายที่ได้ 50 มิลลิลิตรไปทำไดอะไลซิส เป็นเวลา 3 วัน จากนั้นวัดปริมาตรแล้วใส่หลอดเซนตริฟิวส์ขนาด 50 มิลลิลิตรแล้วเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส¹²

2. การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนด้วยวิธี Bradford assay

ทำการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนในสารสกัดด้วยวิธีที่ดัดแปลงจากวิธีของ Bradford (1976) โดยนำสารละลายตัวอย่างปริมาตร 20 ไมโครลิตร ผสมกับ Protein assay reagent (Bio-rad) ที่ทำการเจือจางแล้ว 5 เท่า ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน จากนั้นตั้งทิ้งไว้ 5 นาทีและนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร โดยใช้ Bovine serum albumin (BSA) ที่ความเข้มข้น 0, 25, 50, 100, 200 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรเป็นสารละลายมาตรฐาน และใช้สารละลายมาตรฐาน BSA ที่ความเข้มข้น 0 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรเป็นหลอดเปรียบเทียบ (blank) วิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนโดยคำนวณจากกราฟมาตรฐานของสารละลาย BSA เป็นปริมาณโปรตีนหน่วยไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร²² คำนวณหาปริมาณโปรตีนทั้งหมดในสารสกัดหยาบโดยเทียบกับน้ำหนักแห้งของรังไหม 1 กรัม หน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อกรัมของน้ำหนักแห้งของรังไหม จากสูตร

$$C = cV/g$$

เมื่อ

C = ปริมาณโปรตีนทั้งหมด (ต่อน้ำหนักแห้งรังไหม 1 กรัม)

c = ความเข้มข้นของโปรตีนที่คำนวณได้จากกราฟมาตรฐาน ($\mu\text{g/ml}$)

V = ปริมาตรรวมของสารสกัดกาวไหม (ml)

g = น้ำหนักของรังไหมที่นำมาสกัด (gram)

3. การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

วิธีการทดสอบหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในสารสกัดหยาบโดยใช้ Folin-Ciocalteu's reagent ที่ดัดแปลงจากวิธีของ Singleton และคณะ (1999) โดยใส่สารละลายตัวอย่างปริมาตร 20 ไมโครลิตร ผสมกับน้ำกลั่นปริมาณ 1,580 ไมโครลิตร จากนั้นเติม Folin-Ciocalteu's reagent ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 5 นาที แล้วเติม 20% โซเดียมคาร์บอเนต ปริมาตร 300 ไมโครลิตร บ่มในที่มืดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 765 นาโนเมตร โดยเติมน้ำ

กลั่นแทนสารละลายตัวอย่างเพื่อใช้เป็นหลอดเปรียบเทียบ (Blank) และใช้กรดแกลลิก (Gallic acid) ที่ความเข้มข้น 0, 25, 50, 100, 200, และ 400 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เป็นสารละลายมาตรฐาน และหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดแสดงในหน่วย มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิก (Gallic acid equivalent; GAE) ต่อน้ำหนักของรังไหมแห้ง 1 กรัม¹⁸

4. การวิเคราะห์หาปริมาณสารฟลาโวนอยด์รวม

ทำการวิเคราะห์หาปริมาณสารฟลาโวนอยด์รวมโดยใช้วิธี aluminum chloride colorimetric method ที่ดัดแปลงจาก Chandra และคณะ (2014) โดยนำสารละลายตัวอย่าง ปริมาตร 600 ไมโครลิตร ผสมสารละลายอะลูมิเนียมไตรคลอไรด์ ($AlCl_3$) ความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยมวลต่อปริมาตร ปริมาตร 600 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วนำไปบ่มในที่มืดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร โดยเติมน้ำกลั่นแทนสารละลายตัวอย่างเพื่อใช้เป็นหลอดเปรียบเทียบ (blank) และใช้เคอควิเซติน (Quercetin) ที่ความเข้มข้น 0, 25, 50, 100, 200, และ 400 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรเป็นสารมาตรฐาน คำนวณหาปริมาณสารฟลาโวนอยด์รวมในสารสกัดหยาบแสดงในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของเคอควิเซติน (Quercetin equivalent; QE) ต่อน้ำหนักของรังไหมแห้ง 1 กรัม¹⁸

5. การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบกาไหม

5.1. วิธี DPPH radical scavenging assay

ทำการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบกาไหมด้วยวิธี DPPH radical scavenging assay ที่ดัดแปลงจาก Shen และคณะ (2010) โดยตรวจสอบค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลงของสารละลาย DPPH ซึ่งเป็นสารอนุมูลอิสระที่เสถียรมีสีม่วงเข้ม สามารถดูดกลืนแสงได้ที่ความยาวคลื่นที่ 517 นาโนเมตร เมื่อทำปฏิกิริยากับสารที่สามารถให้อิเล็กตรอนแก่ DPPH แล้ว จะเกิดเป็นสารประกอบที่เสถียร ทำให้สีม่วงจางลง โดยปิเปตสารสกัดหยาบกาไหมด้วยวิธีต่างๆ ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร และเติม สารละลาย DPPH ปริมาตร 750 มิลลิลิตร บ่มในที่มืด

30 นาที จากนั้นนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร โดยใช้เอทานอลเป็นหลอดเปรียบเทียบ (Blank) และใช้วิตามินซี (Vitamin C) ที่ความเข้มข้น 0, 2, 4, 6, 8, 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรเป็นสารมาตรฐาน²² ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระแสดงในค่าความเข้มข้น ไมโครกรัมสมมูลของวิตามินซี (Vitamin C equivalent; VCE) โดยเทียบกับกราฟมาตรฐาน และนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาคำนวณหาค่า % Inhibition และรายงานค่าเปรียบเทียบกับวิตามินซีต่อน้ำหนักของรังไหมแห้ง 1 กรัมในหน่วย (μg VCE/g)

ดังสมการ

$$\% \text{ Inhibition} = [(A_{\text{control}} - A_{\text{sample}}) / A_{\text{control}}] \times 100$$

เมื่อ

A_{control} = ค่าการดูดกลืนแสงของชุดควบคุม

A_{sample} = ค่าการดูดกลืนแสงของชุดทดลองที่มีกาไหมที่สกัดด้วยวิธีการต่าง ๆ

5.2. วิธี ABTS decolorization scavenging effect

ดัดแปลงจาก Re และคณะ (1999) โดยเตรียมสารละลาย ABTS (2,2-azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid) โดยเตรียมสารละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต ($K_2S_2O_8$) ความเข้มข้น 2.45 มิลลิโมลาร์ ละลายในน้ำกลั่นผสมกับ ABTS ความเข้มข้น 7 มิลลิโมลาร์ ละลาย ในน้ำกลั่นด้วยอัตราส่วน 1:1 เก็บในที่มืด อุณหภูมิห้อง เป็น เวลา 12 ชั่วโมง จะได้สารละลาย ABTS ก่อนนำไปใช้ต้องเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้มีค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร เท่ากับ 0.70 ± 0.02 วิเคราะห์ความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ โดยเติมสารสกัดหยาบกาไหม 50 ไมโครลิตร ในน้ำกลั่น 200 ไมโครลิตร แล้วเติม ABTS 1500 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน แล้วนำไปบ่มในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที จากนั้น นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร โดยใช้เอทานอล เป็น Blank นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ ไปวิเคราะห์ฤทธิ์ยับยั้งอนุมูลอิสระโดยเทียบกับกราฟมาตรฐาน ของ Vitamin C (0, 4, 8, 12, 16, 20 $\mu g/ml$)²² แสดงในค่าความเข้มข้น ไมโครกรัมสมมูลของ Vitamin C และนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาคำนวณหา

% inhibition ดังสมการ รายงานค่าเปรียบเทียบกับ วิตามินซีต่อน้ำหนักของรังไหมแห้ง 1 กรัมในหน่วย (μg VCE/g)

$$\% \text{ Inhibition} = [(A-B)/A] \times 100$$

A คือ ค่าการดูดกลืนแสงเริ่มต้นของ ABTS

B คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดกาวไหมที่ ทำปฏิกิริยากับ ABTS

6. การวิเคราะห์ค่าทางสถิติ

ในการวิเคราะห์ปริมาณ Bioactive compound และทดสอบฤทธิ์ทางชีวภาพแต่ละวิธีทดสอบจะทำการ วิเคราะห์โดยการซ้ำ 3 ครั้ง (triplicate) แสดงข้อมูลใน รูปแบบ ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงมาตรฐาน (Mean $\pm$ SD, $n = 3$) และวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้ one-way ANOVA เพื่อดูความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยอย่างมี นัยสำคัญและใช้ Duncan's multiple range test (DMRT) เพื่อหาความแตกต่างที่สำคัญระหว่างค่าเฉลี่ย โดยใช้ โปรแกรม IBM SPSS (Statistical Package for the

Social Sciences เวอร์ชัน 26) ตั้งค่าความสำคัญทางสถิติ ที่ $P \leq 0.05$

ผลการวิจัย

1. การคำนวณหาร้อยละของการลอกกาวไหม (% Degumming)

เมื่อทำการลอกกาวไหมด้วยวิธีต้มด้วยน้ำกลั่น ต้ม ด้วย 0.2% Na_2CO_3 ต้มด้วยสารละลายซีเฝ้าปริมาณ 30 มิลลิตรและสกัดด้วยสารละลาย 8M ยูเรีย ลักษณะทาง กายภาพของสารสกัดในทุกวิธีมีความใกล้เคียงกันมากคือ เป็นสารละลายสีเหลืองอ่อน ได้ร้อยละของการลอกกาว ไหม ดังแสดงใน Table 1. ผลการทดลองพบว่าวิธีการลอก กาวและระยะเวลาที่มีผลต่อร้อยละการลอกกาวอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) โดยวิธีการลอกกาวด้วย Sodium Carbonate ให้ค่าเฉลี่ยสูงสุด และจากการ คำนวณร้อยละของการลอกกาวไหม พบว่ามีร้อยละของ การลอกกาวไหมอยู่ในช่วงระหว่าง 3.96 - 27.95 โดยการ สกัดด้วย 0.2% Na_2CO_3 ที่เวลา 60 นาที มีร้อยละ ของการลอกกาวไหมมากที่สุดคือ 27.95

Table 1. Degumming efficiency achieved by various extraction techniques.

Extraction methods	Time (min)	% Degumming
Distilled Water	30	6.96 ± 0.24^b
	60	9.37 ± 0.11^c
	90	3.96 ± 0.05^a
0.2% (w/v) Na_2CO_3	30	27.62 ± 0.03^h
	60	27.95 ± 0.04^i
	90	26.24 ± 0.04^g
Ash solution	30	24.10 ± 0.04^d
	60	26.23 ± 0.03^g
	90	25.89 ± 0.03^f
8M Urea		25.55 ± 0.02^e

^{a-i} Data are presented as mean $\pm$ SD ($n=3$). Different lowercase letters indicate a statistically significant difference at the $p \leq 0.05$ level, as determined by one-way ANOVA followed by Duncan's multiple range test (DMRT).

2. การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนในสารตัวอย่างโดยวิธี

Bradford assay

จากการวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนด้วยวิธี Bradford assay ปริมาณโปรตีนในสารตัวอย่างกาไหมที่สกัดด้วยวิธีต่าง ๆ แสดงใน Table 2.

ปริมาณโปรตีนของตัวอย่างสารสกัดหยาบกาไหม

อีรีด้วยวิธีต่าง ๆ พบว่าปริมาณโปรตีนทั้งหมดของกาไหม อยู่ระหว่าง 129.796 ± 0.143 - 791.890 ± 0.854 ไมโครกรัมต่อ มิลลิลิตร โดยวิธีการสกัดหยาบด้วย 0.2% Na_2CO_3 ที่เวลา 30 นาที ให้ปริมาณของโปรตีนมากที่สุด คือ 791.890 ± 0.854 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักแห้ง ของรังไหม 1 กรัม

Table 2. Protein content in sericin extract from Eri Silk.

Extraction methods	Time (min)	Protein Content (<i>S.ricini</i>) (mg/g)
Distilled Water	30	129.80 ± 0.13^a
	60	233.88 ± 0.56^b
	90	250.58 ± 0.76^c
0.2% (w/v) Na_2CO_3	30	791.89 ± 0.85^i
	60	725.90 ± 0.72^h
	90	615.25 ± 0.37^f
Ash solution	30	225.15 ± 0.57^b
	60	548.89 ± 0.75^e
	90	415.08 ± 0.86^d
8M Urea		692.86 ± 0.49^g

^{a-i} Data are presented as mean $\pm$ SD (n=3). Different lowercase letters indicate a statistically significant

difference at the $p \leq 0.05$ level, as determined by one-way ANOVA followed by Duncan's multiple range test (DMRT).

3. การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณสารฟลาโวนอยด์

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณสารฟลาโวนอยด์ในสารตัวอย่างกาไหมที่สกัดหยาบด้วยวิธีต่าง ๆ แสดงใน Table 3. พบว่า สารสกัดหยาบกาไหมมีสารประกอบฟีนอลิกอยู่ระหว่าง 14.60 ± 2.12 - 253.10 ± 7.07 mg GAE/g โดยวิธีการ สกัดหยาบด้วยสารละลายน้ำซึ้ได้เป็นเวลา 90 นาทีให้ ปริมาณ ของสารประกอบฟีนอลิกมากที่สุด คือ 253.10 ± 7.07 mg GAE/g ส่วนการทดสอบหาปริมาณ สารฟลาโวนอยด์ พบว่าสารสกัดหยาบกาไหมมีสารฟลา โวนอยด์ทั้งหมดอยู่ระหว่าง 1.72 ± 1.21 - 71.66 ± 2.78 mg QE/g โดยวิธีการสกัดหยาบด้วยสารละลายยูเรีย ให้

ปริมาณของสารฟลาโวนอยด์มากที่สุดคือ 71.67 ± 2.78 mg QE/g

4. การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

4.1. การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี

DPPH radical scavenging assay

จากการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH radical scavenging assay ในสารตัวอย่างกาไหมที่สกัดหยาบด้วยวิธีต่าง ๆ แสดงใน Table 4. พบว่า สารสกัดหยาบมีร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระ (% inhibition) อยู่ระหว่าง 11.32 ± 0.18 - 62.07 ± 0.79 % โดยวิธีการสกัดหยาบด้วยวิธีต้มด้วยน้ำกลั่นเป็นเวลา 90 นาทีที่มีความสามารถในการยับยั้งมากที่สุดคือ 62.07 ± 0.79 %

Table 3. Total phenolic content and flavonoid content of silk sericin crude extracts obtained by different extraction methods.

Extraction methods	Time (min)	Total phenolic content (mg GAE/g of dry weight)	Total flavonoid content (mg QE/g of dry weight)
Distilled Water	30	14.60 ± 2.12 ^a	7.14 ± 0.20 ^c
	60	21.10 ± 2.83 ^b	24.64 ± 0.59 ^g
	90	30.10 ± 0.82 ^c	27.93 ± 0.64 ^h
0.2% (w/v) Na ₂ CO ₃	30	208.77 ± 1.16 ^f	2.28 ± 0.48 ^b
	60	213.10 ± 0.00 ^g	1.72 ± 1.21 ^a
	90	247.60 ± 2.12 ⁱ	20.61 ± 0.96 ^f
Ash solution	30	175.60 ± 3.54 ^e	14.59 ± 0.16 ^d
	60	228.60 ± 0.71 ^h	18.67 ± 1.57 ^e
	90	253.10 ± 7.07 ⁱ	41.72 ± 0.00 ⁱ
8 M Urea		99.00 ± 14.14 ^d	71.67 ± 2.78 ^j

^{a-j} Data are presented as mean ± SD (n=3). Different lowercase letters indicate a statistically significant difference at the $p \leq 0.05$ level, as determined by one-way ANOVA followed by Duncan's multiple range test (DMRT).

Table 4. Antioxidant activity of silk sericin crude extracts obtained by different extraction methods using DPPH assay.

Extraction methods	Time (min)	Antioxidant activity (µg VCE/g)	% Inhibition
Distilled Water	30	374.24 ± 7.84	46.82 ± 1.78 ^g
	60	336.52 ± 9.77	42.50 ± 1.80 ^f
	90	492.29 ± 8.63	62.07 ± 0.79 ^h
0.2% (w/v) Na ₂ CO ₃	30	134.57 ± 12.44	17.83 ± 1.88 ^b
	60	140.85 ± 3.58	17.81 ± 0.66 ^b
	90	165.33 ± 3.80	21.21 ± 0.33 ^c
Ash solution	30	166.568 ± 2.44	21.155 ± 0.38 ^c
	60	212.889 ± 5.44	27.539 ± 0.94 ^e
	90	174.275 ± 5.02	22.253 ± 0.64 ^d
8 M Urea		92.87 ± 0.41	11.32 ± 0.18 ^a

^{a-h} Data are presented as mean ± SD (n=3). Different lowercase letters indicate a statistically significant difference at the $p \leq 0.05$ level, as determined by one-way ANOVA followed by Duncan's multiple range test (DMRT).

4.2. การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS decolorization scavenging effect

จากการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี ABTS decolorization scavenging effect ใน ส า ร ตัวอย่างกาบไหมที่สกัดด้วยวิธีต่าง ๆ แสดงใน Table 5 ผลจากการทดสอบ พบว่าสารสกัดกบไหมมีร้อยละ

การยับยั้งอนุมูลอิสระ (%inhibition) อยู่ระหว่าง $2.847 \pm 0.273 - 90.005 \pm 2.815$ โดยวิธีการสกัดด้วยวิธีต้มด้วยน้ำซึ้ได้เป็นเวลา 90 นาทีมีร้อยละของความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระมากที่สุดคือ 90.005 ± 2.815

Table 5. Antioxidant activity of silk sericin crude extracts obtained by different extraction methods using ABTS assay.

Extraction methods	Time (min)	Antioxidant activity ($\mu\text{g VCE/g}$)	% Inhibition
Distilled Water	30	17.68 ± 3.76	3.16 ± 1.27^b
	60	30.38 ± 2.14	3.85 ± 0.29^c
	90	21.68 ± 12.02	2.85 ± 0.27^a
0.2% (w/v) Na_2CO_3	30	817.73 ± 1.08	79.936 ± 2.569^g
	60	895.07 ± 13.28	87.096 ± 1.815^h
	90	901.38 ± 6.50	88.215 ± 0.861^i
Ash solution	30	600.859 ± 7.59	58.90 ± 1.16^f
	60	571.980 ± 8.15	56.94 ± 0.98^e
	90	919.608 ± 2.25	90.01 ± 2.82^j
8 M Urea		163.01 ± 13.94	16.61 ± 1.60^d

^{a-j} Data are presented as mean $\pm$ SD (n=3). Different lowercase letters indicate a statistically significant difference at the $p \leq 0.05$ level, as determined by one-way ANOVA followed by Duncan's multiple range test (DMRT).

อภิปรายผลการวิจัย

อุตสาหกรรมการผลิตสิ่งทอจากเส้นไหมเป็นสัญลักษณ์ที่แสดงถึงประวัติศาสตร์และวัฒนธรรมอันดีงามของชาติไทยที่สืบทอดกันมายาวนาน แม้ว่าสภาวะเศรษฐกิจของประเทศจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร กระบวนการพัฒนา การปลูกหม่อน เลี้ยงไหมก็ยังคงดำเนินต่อไป ผ้าไหมและผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ที่ได้จากไหมในประเทศไทยนั้นได้รับการยอมรับไปทั่วโลกถึงคุณภาพและความสวยงามของเส้นไหม โดยประเทศไทยนั้นมีการผลิตถึงประมาณ 600-700 เมตริกซ์ตันต่อปีจัดว่าเป็นผู้ผลิตรายใหญ่เป็นอันดับที่ 5 ของโลก²³ การนำเส้นไหมไปใช้ประโยชน์นั้นจำเป็นจะต้องมีการลอกกาบไหมที่ยึดเส้น

ใยไฟโบรอินออกเสียก่อน ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธีเช่น การใช้สารละลายกรด ต่าง หรือเอนไซม์ โดยทั่วไปนั้นนิยมใช้สารละลายด่างที่อุณหภูมิสูงซึ่งส่งผลให้คุณภาพของเส้นใยที่ได้นั้นไม่สมบูรณ์ จึงได้มีความพยายามที่จะพัฒนาวิธีในการลอกกาบไหมที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมพร้อมทั้งนำเอาของเสียจากอุตสาหกรรมอื่น ๆ มาประยุกต์ใช้

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและพัฒนาวิธีการสกัดโปรตีนกาบไหมออกจากเส้นไหมที่ได้จากไหมป่าอีรี่ ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่เริ่มได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในประเทศไทย โดยหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมีในสภาวะรุนแรงโดยการต้มด้วยสารละลายซึ้ได้จากการเผาข้าวหลามด้วยฟืนไม้ไผ่ เปรียบเทียบกับวิธีการสกัดแบบดั้งเดิมอื่นๆที่ใช้

ในอุตสาหกรรมสิ่งทอคือ การต้มด้วยน้ำกลั่น การต้มด้วย 0.2% (w/v) Na_2CO_3 และการสกัดด้วยสารละลาย 8 M ยูเรีย ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติในด้านต่าง ๆ ของเส้นไหมปาอีรี (*S. ricini*) พบว่ามีข้อได้เปรียบที่เด่นชัดกว่าไหมบ้าน (*B. mori*) ในหลายมิติ เช่น เส้นไหมอีรีมีความยืดหยุ่นและทนทานต่อแรงดึงในสภาวะต่าง ๆ ได้ดีกว่า เนื่องจากมีค่าการยืดตัวก่อนขาด (Elongation at break) ที่สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้งยังพบว่าไหมปาอีรียังมีสัดส่วนของกรดอะมิโนที่มีแขนงข้างขนาดใหญ่ (Bulky side chain) เช่น ฟีนิลอะลานีน (Phenylalanine) และ ไทโรซีน (Tyrosine) ที่สูงกว่า ซึ่งส่งผลให้การจัดเรียงตัวของโมเลกุลมีความเป็นระเบียบน้อยกว่าไหมบ้าน ทำให้เส้นไหมอีรีมีลักษณะโครงสร้าง รูพรุน (Porosity) และมีขนาดช่องว่างภายในเส้นใยที่มากกว่า ส่งผลให้มีความสามารถในการดูดซับความชื้น (Moisture regain) และการระบายอากาศที่สูงที่สุดในบรรดาไหมเศรษฐกิจทั้งหมด ในด้านสัณฐานวิทยา เส้นไหมอีรีมีพื้นผิวที่ขรุขระและมีความเป็นผลึก (Crystallinity) ที่แตกต่างจากไหมบ้าน โดยมีกรดอะมิโนอะลานีนที่มีลำดับต่อเนื่องกัน (Poly-alanine sequences) ยาวกว่า ทำให้มีโครงสร้างกิ่งผลึกที่ช่วยให้เส้นใยมีความเหนียว (Toughness) และความสามารถในการทนทานต่ออุณหภูมิสูงได้ดีกว่า นอกจากนี้ ไหมอีรียังมีปริมาณกรดอะมิโนที่มีขั้ว (Polar amino acids) เช่น กรดแอสพาร์ติกและกรดกลูตามิก (Glutamic acid) กระจายตัวอยู่ในชั้นโปรตีนเซรีซินและไฟโบรอินมากกว่า ทำให้มีคุณสมบัติ การจับยึดเกาะ (Adhesion) กับสารตกแต่งหรือสีย้อมธรรมชาติได้มีประสิทธิภาพกว่า รวมถึงให้สัมผัสที่นุ่มฟูคล้ายขนสัตว์ (Wool-like texture) ซึ่งตอบโจทย์การพัฒนาผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่เน้นความสบายและระบายความร้อนได้ดี^{1, 24}

ผลการทดลองพบว่า การลอกกาวยไหมอีรีด้วยการต้มกับสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ที่เวลา 30 60 และ 90 นาที มีร้อยละการลอกกาวยไหมไม่แตกต่างกันมาก เมื่อเทียบผลกับการสกัดหยาบด้วยสารละลายยูเรีย การต้มด้วยน้ำกลั่น และต้มด้วย 0.2% Na_2CO_3 โดยพบว่า มีร้อยละการลอก

กาวยไหมมากกว่าสารสกัดที่ต้มด้วยน้ำกลั่น แต่มีร้อยละการลอกกาวยไหมน้อยกว่าการสกัดที่ต้มด้วย 0.2% Na_2CO_3 เล็กน้อยและใกล้เคียงกับการลอกกาวยไหมด้วยสารละลายยูเรีย (Table 1.) โดยที่การลอกกาวยไหมอีรีด้วยวิธีการต้มด้วยน้ำกลั่น ต้มด้วยน้ำโซเดียมคาร์บอเนตและต้มด้วย 0.2% Na_2CO_3 ที่เวลา 60 นาทีเป็นระยะเวลาที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงที่สุด โดยมีร้อยละของการลอกกาวยไหมสูงกว่าการสกัดที่เวลา 30 และ 90 นาที ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยโดย Chattopadhyay และคณะ (2016)²⁵ ที่ทำการลอกกาวยไหมอีรีโดยใช้สารละลาย Na_2CO_3 และสารละลายสบู่ที่มีความเข้มข้นต่างกัน 2 ระดับ (10% และ 20% w/v) ควบคู่กับการต้มที่ระยะเวลาแตกต่างกัน ผลการวิจัยพบว่าการใช้โซเดียมคาร์บอเนตและสบู่ที่มีความเข้มข้นประมาณ 10% ร่วมกับการต้มนาน 60 นาทีจะช่วยให้ลอกกาวยไหมอีรีได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงที่สุดและไม่ส่งผลกระทบต่อสมบัติทางกายภาพของเส้นใยไหม นอกจากนี้การใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้น 20% w/v จะส่งผลให้เส้นใยไหมฉีกขาดอีกด้วย²⁵ นอกจากนี้ยังได้มีงานวิจัยที่ศึกษาเทคนิคการลอกกาวยไหมจากไหมอีรีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและไม่ใช้สารเคมีใด ๆ โดยเรียกกระบวนการนี้เรียกว่า "Eco-Eri" ซึ่งได้ทำการลอกกาวยไหมโดยใช้น้ำอ่อน หรือ soft water ซึ่งคือน้ำที่ได้เข้าสู่ขั้นตอนกระบวนการกรองเอาความกระด้างที่ผสมหรือเจือปนกับน้ำเช่น แคลเซียม แมกนีเซียมออกไปจนหมด และน้ำกระด้าง (hard water) เป็นตัวทำละลายในการสกัดโดยใช้อุณหภูมิที่ 110 120 130 และ 140 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 20 และ 30 นาที แล้วทำการเปรียบเทียบการสกัดแบบ Eco-Eri กับวิธีการสกัดที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ คือใช้โซดาผสมกับสบู่และวิธีการลอกกาวยไหมเอนไซม์โปรตีนเอส รวมถึงศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสัณฐานพื้นผิวเส้นใยโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope; SEM) และทดสอบคุณสมบัติของเส้นใย เช่น แรงดึงและความยืดหยุ่น ผลการทดลองพบว่า วิธี Eco-Eri ที่ใช้อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที กับน้ำอ่อน สามารถ

ลอกกาวยุคใหม่ได้ดีที่สุด (15.7% degumming) อีกทั้งเส้นใยใหม่อีกรุ่นที่มีความนุ่มนวลสม่ำเสมอ สลัดฐานพื้นผิวของเส้นใยมีผิวเรียบที่สุด ส่วนการลอกกาวยุคใหม่ด้วยโซดาผสมกับสบู่และการใช้เอนไซม์นั้นมีประสิทธิภาพในการลอกกาวยุคใหม่อยู่ที่ 14.5% และ 12% ตามลำดับ นอกจากนี้ การใช้วิธีลอกกาวยุคใหม่แบบ Eco-Eri ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส และโซดาผสมกับสบู่ยังทำให้เกิดความเสียหายและแตกแยกของเส้นใยใหม่อีกด้วย²⁶ ซึ่งในงานวิจัยนี้สารละลายน้ำต่างที่ใช้ในการลอกกาวยุคใหม่ เตรียมโดยใช้ขี้เถ้าที่ได้จากการเผาข้าวหลามด้วยฟืนไม้ไผ่ ซึ่งเป็นขี้เถ้าที่มีความสะอาดสูง เนื่องจากกระบวนการเผาข้าวหลามเป็นการเผาไหม้ในที่จำกัดและใช้ไม้ไผ่เป็นเชื้อเพลิงหลัก มีเขม่าควันหรือสารแขวนลอยต่ำเมื่อเทียบกับขี้เถ้าจากการเผาขยะ อีกทั้งไม้ไผ่เป็นพืชที่มีปริมาณ โพแทสเซียมสูงเมื่อนำมาทำน้ำต่างจะได้สารละลายที่มีฤทธิ์เป็นด่างแก่ที่นุ่มนวลกว่าโซดาไฟ เหมาะสำหรับการใช้ในการลอกกาวยุคใหม่โดยไม่ทำลายเส้นใยธรรมชาติ สารละลายน้ำต่างที่เตรียมได้ในงานวิจัยนี้มีค่า pH = 10.2 ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสม (pH = 10-11) ที่ทำให้สามารถกำจัดไขมันและสิ่งสกปรกได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่ทำลายโครงสร้างโปรตีนของเส้นใย และใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่าในการสกัดคือ 100 องศาเซลเซียส เพื่อรักษาคุณสมบัติของเส้นใยใหม่ให้สมบูรณ์ที่สุด และมีประสิทธิภาพในการลอกกาวยุคใหม่ได้ดีกว่าอีกด้วย นอกจากนี้ในขี้เถ้าไม้ไผ่และเยื่อไผ่ยังมีปริมาณซิลิกา (Silica) อยู่สูงโดยที่ซิลิกาในขี้เถ้ามีลักษณะเป็นอนุภาคละเอียดที่มีรูพรุนสูง ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารขัดผิวระดับไมโครช่วยเสริมแรงในการกำจัดโปรตีนเซรีซินออกจากเส้นใยไฟโบรอิน²⁷ อีกทั้งซิลิกาที่ตกค้างในระดับโมเลกุลจะช่วยปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยให้มีความขรุขระเล็กน้อย (Surface roughness) ซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสในขั้นตอนการย้อมผ้า ช่วยให้สีย้อมธรรมชาติติดเกาะกับเส้นใยได้ดีขึ้นอีกด้วย จะเห็นได้ว่ากระบวนการลอกกาวยุคใหม่นั้น วิธีการสกัดจะส่งผลต่อคุณสมบัติทางชีวเคมีของโปรตีนในเส้นใยใหม่อย่างมาก มีงานวิจัยที่ศึกษากระบวนการสกัดเซรีซินจากไหมหลายสายพันธุ์โดยใช้

สารละลายกรด สารละลายด่างและน้ำร้อน พบว่าสายพันธุ์ไหมที่แตกต่างกันจะมีแบบแผนโปรตีนที่แตกต่างกันและจะส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพและหน้าที่ทางชีวภาพของโปรตีน^{28, 29}

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณของโปรตีนจากสารสกัดหยาดของกาวยุคใหม่อีกรุ่นด้วยวิธี Bradford assay การสกัดหยาดที่ต้มด้วย 0.2% Na_2CO_3 เป็นเวลา 30 นาที มีปริมาณโปรตีนสูงที่สุด (Table 2.) หากเทียบกับการสกัดหยาดที่ต้มด้วยน้ำกลั่นและต้มด้วย 0.2% Na_2CO_3 การต้มด้วยสารละลายขี้เถ้ามีปริมาณโปรตีนมากกว่าการสกัดที่ต้มด้วยน้ำกลั่นและมีปริมาณโปรตีนน้อยกว่าการสกัดที่ต้มด้วย 0.2% Na_2CO_3 และได้ปริมาณโปรตีนน้อยกว่าการสกัดด้วยสารละลายยูเรีย เมื่อคิดเป็นปริมาณต่อน้ำหนักแห้งของรังไหม 1 กรัม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ทำการลอกกาวยุคใหม่ด้วยวิธีต่าง ๆ พบว่าการลอกกาวยุคใหม่โดยใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตและยูเรียจะได้ปริมาณโปรตีนสูงกว่าการใช้ น้ำกลั่นในการสกัด^{30, 31} นอกจากนี้การสกัดหยาดด้วย 0.2% Na_2CO_3 พบว่าปริมาณโปรตีนมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาในการต้มเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากสภาวะความเป็นด่างของโซเดียมคาร์บอเนตร่วมกับความร้อนที่ยาวนาน ส่งผลให้เกิด การสลายตัวของโปรตีนกาวยุคใหม่ (Alkaline hydrolysis) อย่างรุนแรง ทำให้สายพอลิเมอร์ของโปรตีนถูกย่อยเป็นเปปไทด์ขนาดเล็กหรือกรดอะมิโนอิสระ ซึ่งมีขนาดต่ำกว่าขีดจำกัดในการตรวจวัดของวิธี Bradford assay (< 3 KDa) ส่งผลให้ปริมาณโปรตีนที่ตรวจพบมีค่าลดลงเมื่อใช้เวลาในการลอกกาวยุคใหม่นานเกินไป³²

ผลจากการทดสอบหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกด้วยวิธี Folin - Ciocalteu ของสารสกัดหยาดกาวยุคใหม่อีกรุ่นซึ่งเป็นการวิเคราะห์ความสามารถในการถ่ายเทอิเล็กตรอนของสารสกัดหยาดโดยวัดปริมาณของสารกลุ่มฟีนอลิกและ reducing substance จากการเปลี่ยนจากสีเหลืองเข้มไปเป็นสีเขียวน้ำเงิน พบว่า สารสกัดหยาดที่ได้จากการต้มด้วยสารละลายขี้เถ้าที่เวลา 90 นาทีมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากกว่าเวลาช่วงอื่น และเมื่อ

เทียบกับสารสกัดหยาบที่ต้มด้วย 0.2% Na_2CO_3 ที่เวลา 90 นาทีจะมีปริมาณที่ไม่แตกต่างกันมาก เมื่อเทียบกับวิธีการสกัดหยาบด้วย 8 M Urea พบว่าวิธีการสกัดหยาบด้วยสารละลายยูเรียให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกน้อยกว่าการต้มด้วยสารละลายซี้เถ้าและต้มด้วย 0.2% Na_2CO_3 (Table 3.) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยในปี ค.ศ. 2017 ที่ตรวจวัดปริมาณสารกลุ่มฟีนอลิกในสารสกัดกาวไหมจากไหม 3 สายพันธุ์ซึ่งพบว่าเมื่อสกัดโดยสารละลายยูเรียจะให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกน้อยกว่าการต้มด้วยสารละลายต่าง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก Polyphenols นั้นหลายชนิดมักจะจับอยู่ (Conjugated) กับโครงสร้างของโปรตีนในเส้นไหม การใช้พลังงานสูงที่เกิดจากการให้ความร้อนเป็นเวลานานมีแนวโน้มที่จะไปทำลายพันธะโควาเลนต์และ Non-covalent ระหว่างโปรตีนไฟโบรอินในเส้นไหมทำให้สารสกัดกาวไหมที่ได้นั้นมีปริมาณ Polyphenols สูงด้วย²

จากการวิเคราะห์หาปริมาณสารฟลาโวนอยด์ด้วยวิธี Aluminium chloride colorimetric assay ของสารสกัดหยาบกาวไหมฮิรี พบว่า สารสกัดหยาบที่ได้จากการต้มด้วยสารละลายซี้เถ้าที่เวลา 90 นาทีที่มีปริมาณสารฟลาโวนอยด์มากกว่าเวลาช่วงอื่น และมีปริมาณสารฟลาโวนอยด์มากกว่าสารสกัดหยาบที่ต้มด้วยน้ำกลั่น ส่วนการต้มด้วย 0.2% Na_2CO_3 มีปริมาณสารฟลาโวนอยด์น้อยที่สุด (Table 3.) และวิธีการสกัดหยาบด้วย 8 M Urea ให้ปริมาณสารฟลาโวนอยด์มากกว่าการลอกกาวไหมด้วยวิธีอื่น ๆ ซึ่งสารฟลาโวนอยด์หลายชนิดจะจับกับกาวไหมซึ่งเป็นไกลโคโปรตีนด้วยพันธะไกลโคซิดิก ยูเรียจะทำหน้าที่เป็น Chaotropic agent ที่ทำให้โครงสร้างไกลโคโปรตีนของกาวไหมเสียสภาพธรรมชาติ และภายใต้อุณหภูมิที่สูงจนสามารถทำลายพันธะไกลโคซิดิกได้โดยโดยตรงทำให้ฟลาโวนอยด์ในชั้นของกาวไหมซึ่งมักอยู่ในรูปของ Glycosides ที่ละลายน้ำได้ดีถูกปลดปล่อยออกมาได้ดีขึ้น ดังนั้นภายใต้สภาวะการสกัดที่เกิดการทำลายพันธะไกลโคซิดิกได้ดีจะส่งผลให้ได้ปริมาณฟลาโวนอยด์ที่สูง^{2, 12} อีกทั้งในงานวิจัยนี้ ใช้สารละลาย Na_2CO_3 เข้มข้น

เพียง 0.2% เพื่อรักษาสสมบัติทางกายภาพของเส้นไหม ต่างจากในอุตสาหกรรมสิ่งทอซึ่งจะใช้ในความเข้มข้นที่สูง (10%-20% w/v) จึงส่งผลให้ได้สารฟลาโวนอยด์ออกมาในปริมาณน้อย และมีรายงานว่าการใช้สารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรด เช่น กรดซิตริกซึ่งจะทำลายพันธะไกลโคซิดิกได้ดีในการลอกกาวไหมจะส่งผลให้ได้ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ออกมามากกว่าการใช้สารละลาย Na_2CO_3 ³³ ส่วนการสกัดโดยใช้หม้อนึ่งความร้อนภายใต้แรงดันสูงเป็นเวลา 60 นาทีอาจทำให้เกิดมีการสลายพันธะไกลโคซิดิกออกมาทำให้สารฟลาโวนอยด์ออกมาในปริมาณที่สูงขึ้น^{2, 34} ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้จากงานวิจัยนี้

มีรายงานถึงฤทธิ์ทางชีวภาพอันหลากหลายของโปรตีนกาวไหม รวมถึงฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งนอกจากจะเป็นผลมาจากการทำงานของสาร Polyphenols และฟลาโวนอยด์ที่พบอยู่ในสารสกัดจากกาวไหมแล้วนั้น ในโครงสร้างของกาวไหมที่มีกรดอะมิโนในกลุ่ม Hydrophilic amino acids เป็นองค์ประกอบอยู่ถึง 76 % ก็มีส่วนเกี่ยวข้องในกระบวนการการต้านอนุมูลอิสระเช่นกัน โดยมีรายงานว่า กรดอะมิโน Serine, Aspartic acid และ Threonine ที่พบมากในกาวไหมทำหน้าที่สำคัญในกระบวนการต้านอนุมูลอิสระโดย หมู่ -OH ของ Serine และ Threonine สามารถไปจับกับธาตุต่าง ๆ เช่น เหล็กหรือทองแดงได้ ส่วนกรดอะมิโนที่มีวงแหวนอะโรมาติกเป็นองค์ประกอบทำหน้าที่เป็น Electron donors เมื่อทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระต่าง ๆ^{1, 3} ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging assay ในสารสกัดหยาบกาวไหมฮิรี ซึ่ง DPPH เป็นอนุมูลอิสระที่มีความเสถียรที่มีสีม่วงหากสารสกัดหยาบกาวไหมมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสีม่วงจะจางลง พบว่าการสกัดหยาบที่ต้มด้วยน้ำกลั่นที่ 90 นาทีมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าสารสกัดหยาบที่ได้จากการต้มด้วยสารละลายซี้เถ้าและต้มด้วย 0.2% Na_2CO_3 โดยมีค่า Antioxidant activity เท่ากับ $492.29 \pm 8.63 \mu\text{g VCE/g}$ และ % inhibition สูงสุดเท่ากับ 62.07 ± 0.79 (Table 4.)

ถึงแม้ว่าการลอกกาวยใหม่ด้วยการต้มด้วยน้ำกลั่นจะได้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ที่ต่ำกว่าการสกัดด้วยวิธีอื่น แต่การให้ความร้อนเป็นเวลานานอาจทำให้เกิดกระบวนการ Protein Hydrolysis ขึ้น ส่งผลให้โปรตีนในรังไหมแตกตัวเป็น เปปไทด์ที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (Bioactive peptide) ซึ่งมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าสารประกอบฟีนอลิกหรือฟลาโวนอยด์หลายชนิด นอกจากนี้กรดอะมิโนบางชนิดที่เป็นองค์ประกอบในรังไหมอิตาลี เช่น Tyrosine หรือ Tryptophan มีคุณสมบัติในการให้ไฮโดรเจน (Hydrogen donor) เพื่อหยุดปฏิกิริยาของ DPPH ได้ดีมากอีกด้วย^{35, 36}

สารสกัดกาวยใหม่ที่ได้จากการใช้ต่างและความร้อนจะมีสีเหลืองเข้มกว่าการต้มด้วยน้ำกลั่น เนื่องจากสภาวะต่างไปกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) หรือปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลกับอะมิโน (Sugar-amine reaction) ระหว่างส่วนประกอบที่เป็นโพลิแซ็กคาไรด์และกรดอะมิโนในโมเลกุลไกลโคโปรตีนของกาวยใหม่ ส่งผลให้เกิดสารประกอบสีน้ำตาลจำพวกเมลานอยดิน (Melanoidin-like compounds) ขึ้นในสารสกัด³⁴

การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS decolorization scavenging effect เป็นการนำสารละลาย ABTS มาทำปฏิกิริยากับโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเปอร์ซัลเฟตออกซิเดชันปลดปล่อย $ABTS^{\cdot+}$ ที่มีสีน้ำเงินเข้ม เมื่อทำปฏิกิริยากับสารต้านออกซิเดชันสีจะจางลง พบว่า การสกัดยาวยใหม่ที่ต้มด้วยสารละลายซีเล้าที่ 90 นาทีมีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระสูงกว่าสารสกัดยาวยใหม่ที่ต้มด้วยน้ำกลั่นและมีค่าใกล้เคียงกับสารสกัดยาวยใหม่ที่ต้มด้วย 0.2% Na_2CO_3 โดยมีค่า Antioxidant activity เท่ากับ $919.608 \pm 2.25 \mu g$ VCE/g และ %inhibition สูงสุดเท่ากับ 90.01

สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองลอกกาวยใหม่ด้วยวิธีต้มด้วยสารละลายซีเล้าจากการเผาข้าวหลาม เปรียบเทียบกับวิธีต้มด้วยน้ำกลั่น การต้มด้วยสารละลายซีเล้ามีความเข้มข้น 0.2% w/v และการสกัดด้วยสารละลายยูเรีย

แล้วหาปริมาณโปรตีนของสารสกัดยาวยใหม่ปาล์มด้วยวิธี Bradford assay วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ เปรียบเทียบความสามารถในการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดกาวยใหม่ด้วยวิธี DPPH และ ABTS พบว่าการใช้สารละลายซีเล้ามาลอกกาวยใหม่นั้นมีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับสารละลายซีเล้าคาร์บอนเนต อีกทั้งยังมีสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ในปริมาณที่สูง ส่งผลให้มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้ดีในวิธี ABTS แต่กำจัดอนุมูลอิสระได้น้อยกว่าการสกัดด้วยการต้มด้วยน้ำกลั่นเมื่อทดสอบด้วยวิธี DPPH ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของสารที่อยู่ในสารละลายซีเล้า ดังนั้น วิธีการสกัดด้วยสารละลายซีเล้าจากการเผาข้าวหลามด้วยฟืนไม้ไผ่จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการนำไปสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในกาวยใหม่อิตาลีและเป็นการนำของเสียจากการผลิตข้าวหลามซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ชุมชน มาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดอีกด้วย

ส่วนงานวิจัยในอนาคตอาจมุ่งเน้นไปที่การศึกษาโครงสร้างทางโมเลกุลและแบบแผนของโปรตีนกาวยใหม่ที่สกัดด้วยน้ำต่างธรรมชาติ เพื่อยืนยันว่าโครงสร้างและกรดอะมิโนสำคัญยังคงสภาพสมบูรณ์และมีขนาดโมเลกุลที่เหมาะสมต่อการซึมเข้าสู่ผิว โดยต้องทำการวิจัยควบคู่ไปกับการทดสอบความปลอดภัยในระดับเซลล์ (Cytotoxicity) กับเซลล์ผิวหนังมนุษย์ และการทดสอบฤทธิ์ทางชีวภาพอื่น ๆ เช่น การกระตุ้นการสร้างคอลลาเจน และการยับยั้งเอนไซม์ที่ทำลายผิว เพื่อสร้างฐานข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่น่าเชื่อถือรองรับความเป็นสารสกัดที่ปลอดภัยและมีศักยภาพในการนำไปเป็นส่วนประกอบของเวชสำอาง นอกจากนี้ ควรต่อยอดไปสู่การพัฒนาสูตรตำรับเวชสำอางที่ใช้ระบบนำส่งสารสำคัญ (Nano-delivery systems) เพื่อเพิ่มความคงตัวและประสิทธิภาพในการฟื้นฟูเป็นต้น รวมถึงเปรียบเทียบความแตกต่างด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมระหว่างวิธีดั้งเดิมกับวิธี Green Extraction นี้ ซึ่งจะช่วยสร้างมูลค่าเพิ่มและจุดขายที่ชัดเจนในเชิงพาณิชย์ในฐานะนวัตกรรมความงามที่ยั่งยืน (Sustainable Beauty)

เอกสารอ้างอิง

1. Chooluck S, Laoharenu R, Chooluck S. Biological activity of silk sericin protein and its application. *Journal of Science and Technology Mahasarakham University* 2025;44:544-58.
2. Kumar JP, Mandal BB. Antioxidant potential of mulberry and non-mulberry silk sericin and its implications in biomedicine. *Free Radic Biol Med* 2017;108:803-18.
3. Saad M, El-Samad LM, Gomaa RA, Augustyniak M, Hassan MA. A comprehensive review of recent advances in silk sericin: Extraction approaches, structure, biochemical characterization, and biomedical applications. *Int J Biol Macromol* 2023;250:126067.
4. Ghosh S, Gupta S, Kapusetti G, Kundu SC. Silk-based biomaterial scaffolds for dental tissue regeneration. *Commun Mater* 2026;7:63.
5. Kato N, Sato S, Yamanaka A, Yamada H, Fuwa N, Nomura M. Silk protein, sericin, inhibits lipid peroxidation and tyrosinase activity. *Biosci Biotechnol Biochem* 1998;62:145-7.
6. Padamwar M, Pawar A. Silk sericin and its applications: A review. *J Sci Ind Res (India)* 2004;63:323-9.
7. Cho KY, Moon JY, Lee YW, Lee KG, Yeo JH, Kweon HY, et al. Preparation of self-assembled silk sericin nanoparticles. *Int J Biol Macromol* 2003;32:36-42.
8. Kunz RI, Brancalhão RM, Ribeiro LF, Natali MR. Silkworm Sericin: Properties and Biomedical Applications. *Biomed Res Int* 2016;2016:8175701.
9. Mondal M, Trivedy K, Kumar N. The silk proteins, sericin and fibroin in silkworm, *Bombyx mori* Linn. - A review. *Caspian J Env Sci* 2007;5:63-76.
10. Ye J, Xie B, Hu J, Xu X, Lu S, Wang J, et al. Recent advances in silk fibroin-based biomaterials for tissue engineering applications. *Int J Biol Macromol* 2025;322:146764.
11. Wu J-H, Wang Z, Xu S-Y. Preparation and characterization of sericin powder extracted from silk industry wastewater. *Food Chem* 2007;103:1255-62.
12. Aramwit P, Damrongsakkul S, Kanokpanont S, Srichana T. Properties and antityrosinase activity of sericin from various extraction methods. *Biotechnol Appl Biochem* 2010;55:91-8.
13. Aramwit P, Siritientong T, Srichana T. Potential applications of silk sericin, a natural protein from textile industry by-products. *Waste Manag Res* 2012;30:217-24.
14. Hu D, Li T, Liang Wa, Wang Y, Feng M, Sun J. Silk sericin as building blocks of bioactive materials for advanced therapeutics. *J Control Release* 2023;353:303-16.
15. Prakash M, Mathikere Naganna C, Radhakrishnan V, Somayaji P, Sabu L. Therapeutic potential of silkworm sericin in wound healing applications. *Wound Repair Regen* 2024;32:916-40.
16. Liu J, Shi L, Deng Y, Zou M, Cai B, Song Y, et al. Silk sericin-based materials for biomedical applications. *Biomaterials* 2022;287:121638.
17. Hobanthad T. Extraction of sericin from Thai native silk (Nangsew) yarn using mulberry (cv.Buriram 60) leaves extracts as a greener solvent. *SNRU Journal of Science and Technology* 2018;10:156-64.
18. Chooluck S, Jankangram W. Extraction and Biological Activity of Silk Sericin from Thai Native Silk (*Bombyx mori* L.) with Macerated Banana Leaves Solution. *KKU Science Journal* 2022;50:198-211.

19. Wang Y, Gao J, Yang Y, Zhu L, Yang W, Li P, et al. A Review on the Extraction Methods, Bioactivities, and Application in Foods of Silk Sericin. *J Food Biochem* 2025;2025:2155701.
20. Zhao Z-L, Zhang Y-Q. Greener degumming production of layered sericin peptides from a silkworm cocoon and their physicochemical characteristics and bioactivities in vitro. *J Clean Prod* 2020;261:121080.
21. Yun H, Oh H, Kim MK, Kwak HW, Lee JY, Um IC, et al. Extraction conditions of *Antheraea mylitta* sericin with high yields and minimum molecular weight degradation. *Int J Biol Macromol* 2013;52:59-65.
22. Rujakom A, Chusuwan S, Nualnat P, Chooluck S. Extraction and Antioxidant Activity of Bioactive Compounds from Marine Microalgae *Tetraselmis gracilis* BIMS-PP017. *KKU Science Journal* 2024;52:219-34.
23. Ukav I. Mulberry Production Economy in District of Adiyaman. *Asian J Agric Ext Econ Sociol* 2018;23:1-10.
24. Chartvivatpornchai N, Okahisa Y. Structural and mechanical comparison of Eri and Mulberry silk fibroin nanofibers films through advanced mechanical treatments for sustainable applications. *Int J Biol Macromol* 2025;295:139554.
25. Chattopadhyay D, Chakraborty A, Chatterjee S. Studies on degumming of eri silk cocoons. *J Text Inst* 2016;108:1-13.
26. Sreenivasa T, Padaki N. Development of Eco-Friendly Method for Degumming of Eri Cocoons. *Textile Leather Rev* 2023;6:742-59.
27. Azman S, Ameram N, Jaafar H, Mohamad Amini MH, Ali A. Extraction of Silica from Bamboo Leaves Ash (Bambusoideae) Using Hydrochloric Acid and Nitric Acid. *Orbital Electron J Chem* 2023;142-7.
28. Anand P, Pandey JP, Pandey DM. Study on cocoonase, sericin, and degumming of silk cocoon: computational and experimental. *J Genet Eng Biotechnol* 2021;19:32.
29. Sahu N, Pal S, Sapru S, Kundu J, Talukdar S, Singh N, et al. Non-Mulberry and Mulberry Silk Protein Sericins as Potential Media Supplement for Animal Cell Culture. *Biomed Res Int* 2016;2016.
30. Gupta D, Agrawal A, Rangi A. Extraction and characterization of silk sericin. *Indian J Fibre Text Res* 2014;39:364-72.
31. Miguel M GA, Álvarez C. Extraction and antioxidant activity of sericin, a protein from silk. *Braz J Food Technol* 2020;23:e2019058.
32. Giles H, Gallagher J, Warren-Walker D, Bull SP, Lignou S, Methven L, et al. An investigative study into the suitability of the Bradford assay for rapid protein determination in whey. *Food Chem* 2026;499:147375.
33. Zhu L, Lin J, Pei L, Luo Y, Li D, Huang Z. Recent Advances in Environmentally Friendly and Green Degumming Processes of Silk for Textile and Non-Textile Applications. *Polymers (Basel)* 2022;14:659.
34. Kurioka A, Kurioka F, Yamazaki M. Characterization of sericin powder prepared from citric acid-degraded sericin polypeptides of the silkworm, *Bombyx Mori*. *Biosci Biotechnol Biochem* 2004;68:774-80.

35. Kanyora MG, Kegode TM, Kurgat J, Kibogo H, Asudi G, Tanga CM, et al. Evaluating antibacterial and antioxidant properties of sericin recovered from cocoons of *Bombyx mori*, *Gonometa postica* and *Samia ricini* in Kenya. PLOS ONE 2025;19:e0316259.
36. Wongsrangsap N, Chukiatsiri S. Purification and Identification of Novel Antioxidant Peptides from Enzymatically Hydrolysed *Samia ricini* Pupae. Molecules 2021;26.

Anatomical Specialization of *Myristica fragrans* Houtt. Extracts: Targeted Antimicrobial Efficacy Against Veterinary Cutaneous Pathogens

Amon Praduptong¹, Kanthapan Ubolrat¹, Chaiwat Boonkaewwan¹, Sudarat Chaichalerm² and Atchaya Rapichai^{*1}

¹Faculty of Veterinary Medicine, Phetchaburi Rajabhat University

²Department of Public Health, Faculty of Nursing and Allied Health Science, Phetchaburi Rajabhat University

*Corresponding author; E-mail: atchaya.rap@mail.pbru.ac.th

Received: 16 April 2026/ Revised: 02 May 2026/ Accepted: 05 May 2026

Abstract

The escalating global crisis of antimicrobial resistance (AMR) in veterinary practice necessitates the urgent development of sustainable, plant-derived topical agents for managing cutaneous infections. This study systematically evaluated the antimicrobial potency of 75% ethanol extracts from three distinct anatomical fractions of nutmeg (*Myristica fragrans* Houtt.); the pericarp, seed coat (mace), and kernel; against major veterinary pathogens, including *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *S. epidermidis*, and *Streptococcus pyogenes*. Using the agar well diffusion method, the extracts demonstrated significant anatomical specialization in their inhibitory profiles. The pericarp extract exhibited the broadest antimicrobial spectrum at 500 mg/mL, with inhibition zones reaching up to 29.40 ± 1.31 mm; however, its activity was attenuated at lower concentrations (≤ 125 mg/mL). In contrast, the kernel extract demonstrated remarkable inhibition efficacy, maintaining potent inhibitory zones (14.70–17.30 mm) against *S. aureus*, *S. epidermidis*, and *S. pyogenes* even at the lowest concentration of 125 mg/mL, suggesting the presence of highly active, dilution-stable compounds. Thin-layer chromatography profiling revealed that each fraction possesses distinct phytochemical fingerprints, correlating with their varying biological activities. These findings substantiate the necessity of targeted extraction strategies over whole-fruit processing to optimize therapeutic yield. Consequently, nutmeg-derived kernel and pericarp fractions represent promising natural candidates for integration into veterinary dermatological formulations to mitigate infection and address the AMR challenge.

Keywords: *Myristica fragrans*, Veterinary Dermatology, Antimicrobial Resistance (AMR), Anatomical Specialization, Targeted Extraction, Cutaneous Pathogens

Introduction

The global escalation of antimicrobial resistance (AMR) represents one of the most formidable challenges in modern medicine, with projections suggesting it could cause up to 1.91 million deaths

annually by 2050. Within the veterinary sector, cutaneous infections caused by pathogens such as *Staphylococcus aureus* (including MRSA) and *Pseudomonas aeruginosa* are major drivers of compromised animal welfare and economic loss.

Conventional therapies are increasingly failing due to resistance mechanisms like biofilm formation and efflux pump overexpression, necessitating an urgent search for sustainable alternatives¹. In response to this crisis, plant-derived natural products have garnered substantial attention as alternative or adjunctive antimicrobial agents. Numerous botanical extracts—including those from *Pongamia pinnata*, *Coriandrum sativum*, and *Aloe vera*—have demonstrated antibacterial efficacy against multidrug-resistant skin pathogens through mechanisms involving plasma membrane disruption, inhibition of nucleic acid synthesis, and interference with biofilm formation². Additionally, compounds such as terpenoids and phenylpropanoids have been shown to restore antibiotic susceptibility by inhibiting bacterial efflux pumps³. However, the clinical translation of these extracts remains severely limited by several disadvantages: (i) high minimum inhibitory concentrations (MICs) relative to conventional antibiotics, often requiring milligram-per-milliliter doses; (ii) predominantly Gram-positive-specific activity due to inability to penetrate the outer membrane of Gram-negative pathogens; (iii) insufficient antibiofilm potency at sub-MIC concentrations; (iv) cytotoxicity to mammalian cells at antimicrobial doses; (v) poor aqueous solubility and chemical instability; and (vi) a paucity of in vivo efficacy and toxicity validation⁴. These limitations underscore the urgent need to identify plant species with superior potency, broader spectrum coverage, and clinically relevant mechanisms of action.

In response to this crisis, plant-derived natural products have garnered substantial attention as alternative or adjunctive antimicrobial agents.

Botanical extracts—including those from *Pongamia pinnata*, *Coriandrum sativum*, and *Aloe vera*—have demonstrated antibacterial efficacy against multidrug-resistant skin pathogens through mechanisms involving plasma membrane disruption, inhibition of nucleic acid synthesis, and interference with biofilm formation. Additionally, compounds such as terpenoids and phenylpropanoids have been shown to restore antibiotic susceptibility by inhibiting bacterial efflux pumps. However, the clinical translation of these extracts remains severely limited by several disadvantages: (i) high minimum inhibitory concentrations (MICs) relative to conventional antibiotics, often requiring milligram-per-milliliter doses; (ii) predominantly Gram-positive-specific activity due to inability to penetrate the outer membrane of Gram-negative pathogens such as *P. aeruginosa*; (iii) insufficient antibiofilm potency at sub-MIC concentrations; (iv) cytotoxicity to mammalian cells at antimicrobial doses; (v) poor aqueous solubility and chemical instability; and (vi) a paucity of in vivo efficacy and toxicity validation. These limitations underscore the urgent need to identify plant species with superior potency, broader spectrum coverage—including effective penetration of Gram-negative outer membranes—and clinically relevant mechanisms of action^{3,4,5}.

The integumentary system, particularly the skin, serves as the primary interface between the organism and its external environment, providing a multifaceted barrier against microbial invasion, chemical insults, and mechanical trauma. In veterinary species, the skin's defensive architecture comprises the stratum corneum—a mechanical shield of terminally differentiated keratinocytes

embedded in a lipid matrix—the acid mantle maintaining a slightly acidic pH, sebum with antimicrobial lipids, and sweat containing lysozyme and dermcidin. Disruption of these protective layers through wounds, surgical incisions, burns, or immunosuppression renders animals susceptible to cutaneous and systemic infections. Opportunistic pathogens exploit such breaches with remarkable efficiency. *P. aeruginosa*, a Gram-negative bacillus, readily colonizes compromised skin, penetrates cutaneous breaches, and disseminates via lymphatic or hematogenous routes to cause systemic infection in veterinary patients. *S. aureus*, a Gram-positive coccus, is frequently implicated in suppurative skin and soft tissue infections in animals, producing toxins and enzymes that facilitate tissue destruction and abscess formation. *Staphylococcus epidermidis*, typically a commensal organism, can acquire pathogenic potential under immunocompromised conditions or in nosocomial veterinary settings, contributing to biofilm-associated infections. *Streptococcus pyogenes*, another Gram-positive coccus, initiates infection through minor abrasions, progressing from superficial pustules to bullous lesions and desquamation, with severe cases culminating in necrotizing fasciitis and systemic dissemination mediated by microbial toxins. Collectively, these pathogens exemplify the diverse strategies by which microorganisms exploit compromised skin barriers in veterinary species, underscoring the need for novel therapeutic interventions that reinforce host defenses and mitigate infection risk^{6–11}.

Myristica fragrans Houtt. (nutmeg; family *Myristicaceae*) emerges as a candidate of profound

pharmacological interest due to its complex and unique phytochemical profile. Unlike many botanical extracts that exhibit the limitations described above, nutmeg contains specific constituents—including myristicin, macelignan, trimyristin, and the monoterpene alcohols α -terpineol and terpinen-4-ol—that have demonstrated multi-target efficacy against both Gram-positive and resilient Gram-negative isolates implicated in skin and soft tissue infections, including methicillin-resistant *S. aureus* (MRSA), *P. aeruginosa*, *S. pyogenes*, and *S. epidermidis*. Notably, α -terpineol and its derivatives demonstrate synergistic interactions with streptomycin, reducing MIC values via membrane disruption and collapse of the proton motive force. Furthermore, *M. fragrans* extracts and essential oils have shown significant antibiofilm activity against MRSA and inhibit bacterial efflux pumps, thereby reversing resistance phenotypes. The ethyl acetate extract of *M. fragrans* flesh has exhibited particularly potent activity, with MIC values as low as 0.625 mg/mL against *Streptococcus* species. Beyond its antimicrobial properties, *M. fragrans* holds traditional ethnomedicinal precedent for treating skin and gastrointestinal ailments, and its phytochemical profile suggests favorable drug-like properties pending ADMET validation. A defining feature of nutmeg is its distinct anatomical specialization: the pericarp accumulates higher proportions of oxygenated monoterpenes, whereas the kernel and seed coat (mace) are enriched in phenylpropanoids such as myristicin and elemicin. This tissue-specific metabolite distribution suggests that targeted extraction could optimize therapeutic yield, enhance phytochemical stability, and overcome the batch-to-

batch variability and rapid attenuation issues commonly observed in whole-fruit preparations. Consequently, this study systematically evaluates these anatomical fractions as precision-based interventions for veterinary dermatology^{12–16}.

The present study evaluated the antimicrobial efficacy of 75% ethanol extracts from three anatomical fractions of *Myristica fragrans* Houtt.—the pericarp, seed coat, and kernel—against four clinically relevant veterinary cutaneous pathogens: *P. aeruginosa*, *S. aureus*, *S. epidermidis*, and *S. pyogenes*. Thin-layer chromatography was employed to establish distinct phytochemical fingerprints across fractions, thereby substantiating the anatomical specialization of secondary metabolite accumulation. Collectively, these findings establish a scientific basis for targeted extraction strategies and support the development of nutmeg-derived topical agents as sustainable alternatives to conventional antibiotics in veterinary dermatology.

Methods

1. Chemicals and Reagents

All chemicals and reagents used in this study were of analytical grade. Ethanol (75% and 99.9%), hexane, diethyl ether, isopropyl alcohol (AR grade), dimethyl sulfoxide (DMSO) and deionized water were purchased from Sigma-Aldrich (Singapore). Reference antibiotics—oxacillin, ceftazidime, clindamycin, and ceftriaxone—were utilized as positive controls for antimicrobial susceptibility testing.

2. Microbial Strains

Four clinically relevant bacterial strains were investigated: *P. aeruginosa*, *S. aureus*, *S. epidermidis*, and *Streptococcus pyogenes*. All strains were maintained on appropriate culture media and

incubated under standardized conditions prior to experimental use.

3. Plant Material and Extraction Procedure

The dried nutmeg (*M. fragrans* Houtt.) fruits were purchased from a licensed Thai herbal drugstore (herbal pharmacy) that routinely supplies authenticated medicinal plants for traditional and research purposes. Fresh nutmeg fruits were carefully collected and manually separated into three anatomical fractions: the pericarp (fruit husk), seed coat (mace), and kernel (nutmeg seed). Each part was macerated into 75% ethanol with a solid-to-solvent ratio of 1:5 (w/v), an optimized method for extracting a wide range of bioactive compounds. The extraction process was conducted at ambient temperature with intermittent agitation to maximize compound release while minimizing degradation of thermolabile constituents. Following extraction, the crude solutions were filtered through Whatman filter paper No. 1 to remove insoluble residues and ensure clarity of the extracts. The filtrates were then concentrated under reduced pressure using a rotary evaporator (Labconco, Labconco Corporation, USA) maintained at 40°C, which facilitated solvent removal while preserving volatile and sensitive phytochemicals. Finally, the concentrated extracts were stored at 4°C in airtight containers until further analysis, ensuring stability and preventing microbial contamination. This optimized protocol provided reproducible crude extracts suitable for subsequent phytochemical profiling and antimicrobial evaluation.

4. Antimicrobial Susceptibility Testing: Agar Well Diffusion Method

The antimicrobial activity of nutmeg-derived extracts was assessed using a modified agar well

Table 1 Percentage yield (% w/w) of crude ethanol extracts from different anatomical fractions of *M. fragrans* Houtt.

Crude extract	% Yield	
	% Yield (fresh weight basis)	% Yield (dry weight basis)
Pericarp	3.82	27.35
Seed coat	7.22	22.79
Kernel	4.81	5.59

2. Antimicrobial Efficacy Against Cutaneous Pathogens

The antimicrobial activity of crude ethanol extracts from three anatomical fractions of nutmeg—the pericarp, seed coat (mace), and kernel—was systematically evaluated against four clinically significant cutaneous pathogens using the agar well diffusion assay at concentrations of 500 and 250 mg/mL, with 1% DMSO as negative control and oxacillin, clindamycin, ceftriaxone, and ceftazidime as positive controls. As shown in Figure 2, the pericarp extract exhibited the broadest antimicrobial spectrum at 500 mg/mL, producing inhibition zones ranging from 18.90 ± 2.05 mm against *P. aeruginosa* to 29.40 ± 1.31 mm against *S. pyogenes*, with activity persisting at 250 mg/mL (13.70 – 18.40 mm) but becoming undetectable at ≤ 125 mg/mL, indicating concentration-dependent potency. In contrast, the kernel extract demonstrated antimicrobial activity, maintaining potent inhibitory zones (14.70 – 17.30 mm) against *S. aureus*, *S. epidermidis*, and *S. pyogenes* even at the lowest concentration of 125 mg/mL. Furthermore, the pericarp extract showed specialized efficacy against the Gram-negative pathogen *P. aeruginosa* (18.90 ± 2.05 mm at 500 mg/mL), a finding

of particular significance given the intrinsic resistance of Gram-negative bacteria to many plant-derived agents.

The seed coat (mace) extract of nutmeg demonstrated moderate antimicrobial potency when evaluated against clinically relevant skin pathogens using the agar well diffusion assay. At the highest concentration tested (500 mg/mL), the extract produced inhibition zones of 17.80 ± 1.25 mm against *S. aureus* and 19.80 ± 0.68 mm against *S. pyogenes*, indicating measurable activity but less pronounced than that observed with pericarp extracts (Figure 3). The antimicrobial effect was clearly concentration-dependent, as reduced activity was observed at lower concentrations. At 125 mg/mL, inhibition zones remained detectable against *S. aureus* (12.50 ± 0.68 mm), *S. pyogenes* (11.40 ± 0.34 mm), and *P. aeruginosa* (11.70 ± 0.75 mm), though the magnitude of inhibition was diminished compared to higher concentrations. Interestingly, *S. epidermidis* exhibited resistance at this lower concentration. At 125 mg/mL, no detectable inhibition zone was observed for the seed coat extract against *S. epidermidis*. These findings highlight the variable antimicrobial spectrum of nutmeg anatomical fractions and emphasize the importance of concentration in determining efficacy. While the seed coat extract does not exhibit the broad-spectrum activity of the pericarp. At 500 mg/mL, the seed coat extract produced inhibition zones of 17.80 ± 1.25 mm against *S. aureus* and 19.80 ± 0.68 mm against *S. pyogenes*, with reduced activity at lower concentrations. Overall, the results support further investigation into fraction-specific bioactive compounds and their potential application in veterinary dermatology and wound management.

diffusion assay to evaluate their inhibitory potential against clinically relevant pathogens. Tested microorganisms were first propagated in nutrient broth and incubated at 37°C with shaking at 150 rpm until reaching the logarithmic growth phase, ensuring optimal metabolic activity for susceptibility testing. Bacterial suspensions were standardized to the 0.5 McFarland turbidity standard, corresponding to approximately 1.5×10^8 CFU/mL, using 0.85% normal saline to achieve reproducibility across experiments. Mueller-Hinton agar plates were evenly inoculated with sterile cotton swabs to establish uniform bacterial lawns. Wells of 6 mm diameter were aseptically created using a sterile cork borer, and 100 μ L aliquots of crude extracts were dispensed at concentrations of 500, 250 and 125 mg/mL, dissolved in 1% DMSO. Negative control wells received only 1% DMSO, while standard antibiotics, oxacillin, clindamycin, ceftriaxone, ceftazidime, served as positive controls to benchmark activity. Plates were incubated at 37°C for 18–24 hours, after which inhibition zones were measured in millimeters using digital calipers to ensure precision. All experiments were performed in triplicate, providing statistical reliability and minimizing experimental variability. This standardized protocol enabled comparative evaluation of nutmeg fractions and established a robust foundation for subsequent antimicrobial profiling.

5. Thin-Layer Chromatography (TLC) Analysis

Preliminary phytochemical profiling of nutmeg extracts was carried out using analytical TLC to establish chemical fingerprints for different anatomical fractions. Small aliquots of each extract (2 μ L) were carefully spotted onto silica gel TLC plates measuring 20 $\times$ 20 cm, aluminum-backed, with a 0.2 mm layer thickness to ensure reproducibility and resolution. The plates were

developed in a saturated chamber using hexane:diethyl ether (5:5, v/v) for pericarp and those with 9:1, v/v for seed coat and kernel as the mobile phase, a solvent system selected for its ability to separate non-polar and moderately polar constituents. Following chromatographic development, the plates were visualized under ultraviolet (UV) light at 254 nm using a UVITEC documentation system, allowing detection of fluorescent and UV-absorbing compounds. Distinct bands corresponding to different phytochemical classes were observed, and retention factor (R_f) values were calculated for each resolved component to provide quantitative measures of compound migration. These R_f values served as preliminary indicators of metabolite distribution across nutmeg fractions, supporting subsequent purification and characterization strategies. All tests were performed in triplicate.

6. Statistical Analysis

All experiments were conducted in triplicate, and results are expressed as mean $\pm$ standard deviation (SD). Statistical significance was determined using one-way analysis of variance (ANOVA) followed by Tukey's post-hoc test, with $p < 0.05$ considered statistically significant.

Results

1. Nutmeg-Derived Essential Oils Physical Characteristics and Extraction Yield

Macroscopic properties—including color, viscosity, and physical state (solid, semi-solid, or liquid)—serve as preliminary indicators of tissue-specific phytochemical composition. Maceration extraction of three anatomical fractions of nutmeg (*Myristica fragrans* Houtt.)—the pericarp, seed coat

(mace), and kernel—using 75% ethanol yielded crude extracts with distinct macroscopic profiles, reflecting differential accumulation of bioactive constituents. On a fresh-weight basis, the seed coat yielded the highest (7.22%), followed by the kernel (4.81%) and pericarp (3.82%). The pericarp extract was observed as a viscous, dark-brown semi-solid. In contrast, the seed coat extract exhibited a translucent reddish-brown oily consistency with a pronounced aromatic profile. The seed coat extract was observed as a translucent reddish-brown oil with a pronounced aromatic odor. Notably, the kernel extract presented as a dense, nearly black viscous liquid, which serves as a physical indicator of its substantial deposition of lipophilic pigments and highly concentrated resinous compounds. The kernel extract was observed as a dense, nearly black viscous liquid. (Figure 1).

The macroscopic differences among the extracts underscore the anatomical specialization of nutmeg tissues and provide preliminary evidence for chemical heterogeneity that underpins their distinct biological properties (Table 1). The macroscopic properties differed markedly among the three anatomical fractions. The percentage yields varied by fraction, ranging from 3.82% to 7.22% on a fresh-weight basis and from 5.59% to 27.35% on a dry-weight basis (Table 1). Collectively, the distinct physical characteristics of the pericarp, seed coat, and kernel extracts establish a foundation for correlating morphological traits with chemical composition, thereby guiding subsequent chromatographic profiling and antimicrobial evaluation. The physical characteristics and extraction yields were recorded as baseline data for each fraction.

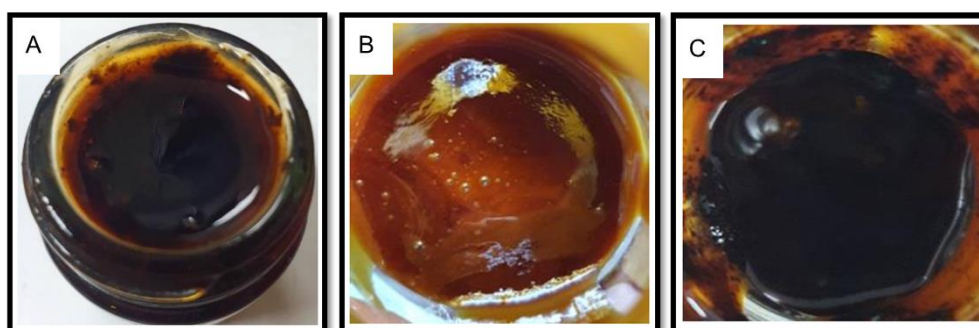


Figure 1 Physical characteristics of the crude extract from nutmeg (*Myristica fragrans*) obtained by maceration extraction. (A) pericarp extract; (B) seed coat extract; and (C) kernel extract

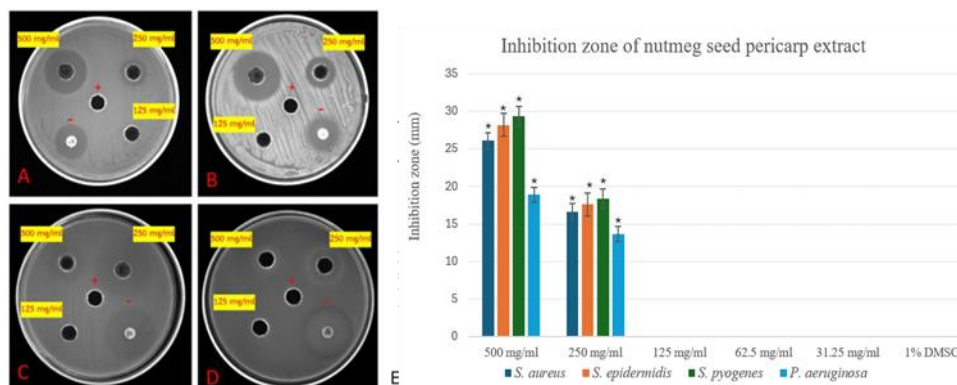


Figure 2 Antibacterial activity of the nutmeg pericarp extract in inhibiting the growth of bacteria

- (A) *S. aureus*, (B) *S. epidermidis*, (C) *S. pyogenes*, (D) *P. aeruginosa* and (E) bar graph showing inhibition zone of pericarp extract, whereas (+) = DMSO, (-) A = Oxacillin (1 μ g), (-) B = Clindamycin (2 μ g), (-) C = Ceftriaxone (30 μ g) and (-) D = Ceftazidime (30 μ g).
- (E) The ethanol extract of nutmeg pericarp exhibited potent antimicrobial activity against all tested cutaneous pathogens in a concentration-dependent manner. At the highest concentration of 500 mg/mL, the extract showed the maximum zone of inhibition against *S. pyogenes* (29.40 $\pm$ 1.31 mm), followed by *S. epidermidis* and *S. aureus*. The inhibitory effects at 500 and 250 mg/mL for all pathogens were statistically significant compared to the negative control (1% DMSO) ($P < 0.05$). Notably, the extract also inhibited the Gram-negative pathogen *P. aeruginosa* at high concentrations, although no inhibitory activity was detected at concentrations ≤ 125 mg/mL across all species.

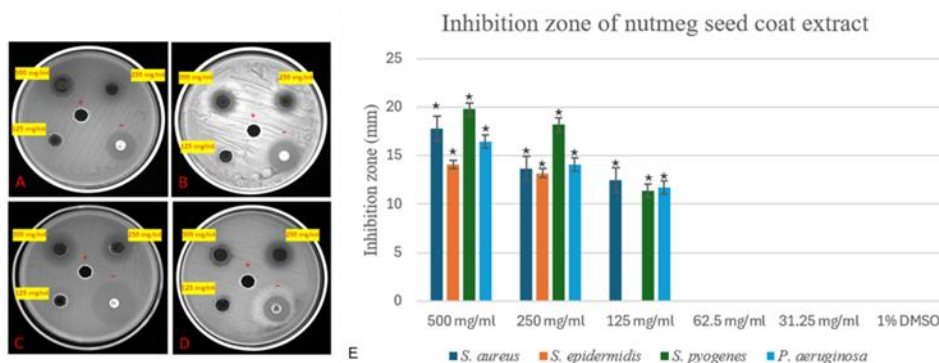


Figure 3 Antibacterial activity of the nutmeg seed coat extract in inhibiting the growth of bacteria

- (A) *S. aureus*, (B) *S. epidermidis*, (C) *S. pyogenes*, (D) *P. aeruginosa* and (E) bar graph showing inhibition zone of seed coat extract, whereas (+) = DMSO, (-) A = Oxacillin (1 μ g), (-) B = Clindamycin (2 μ g), (-) C = Ceftriaxone (30 μ g) and (-) D = Ceftazidime (30 μ g).
- (E) Antimicrobial activity of nutmeg seed coat (mace) ethanol extract against four cutaneous pathogens at various concentrations. Data are presented as mean $\pm$ SD *Statistically significant difference compared to the negative control (1% DMSO) at $p < 0.05$. No inhibitory activity was observed at concentrations ≤ 62.5 mg/mL or in the 1% DMSO. negative control (0 mm).

The kernel extract of nutmeg demonstrated the most sustained antimicrobial activity across the dilution series, as illustrated in Figure 4. At the highest concentration tested (500 mg/mL), inhibition zones were observed at 19.90 ± 0.35 mm for *S. pyogenes*, 18.20 ± 0.34 mm for *S. aureus*, 17.80 ± 1.20 mm for *S. epidermidis*, and 14.40 ± 0.34 mm for *P. aeruginosa*. Remarkably, antimicrobial activity persisted even at lower concentrations. At 125 mg/mL, the extract continued to inhibit *S. aureus* (16.60 ± 0.35 mm), *S. epidermidis* (14.70 ± 0.40 mm), and *S. pyogenes* (17.30 ± 0.70 mm), with *S.*

pyogenes showing exceptional tolerance to dilution. At a concentration of 125 mg/mL, the kernel extract continued to exhibit measurable inhibition zones, indicating retained inhibitory activity against *S. aureus*, *S. epidermidis*, and *S. pyogenes*. The kernel extract exhibited measurable antimicrobial activity across all tested concentrations (125–500 mg/mL). These findings emphasize the importance of anatomical specialization in nutmeg tissues and support targeted extraction strategies to optimize bioactive yield.

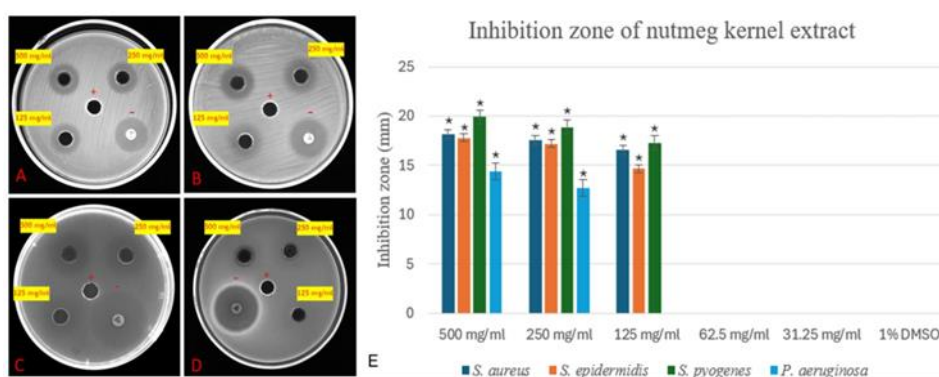


Figure 4 Antibacterial activity of the nutmeg kernel extract in inhibiting the growth of bacteria (A) *S. aureus*, (B) *S. epidermidis*, (C) *S. pyogenes*, (D) *P. aeruginosa* and (E) bar graph showing inhibition zone of kernel extract, whereas (+) = DMSO, (-) A = Oxacillin (1 μ g), (-) B = Clindamycin (2 μ g), (-) C = Ceftriaxone (30 μ g) and (-) D = Ceftazidime (30 μ g). (E) Antimicrobial activity of nutmeg (*Myristica fragrans*) kernel ethanol extract against four cutaneous pathogens. Data are presented as mean $\pm$ SD.*Statistically significant difference compared to 1% DMSO at $p < 0.05$. No inhibitory activity was observed at concentrations ≤ 62.5 mg/mL or in the 1% DMSO negative control (0 mm).

3. Phytochemical Profiling and Fractionation

Thin-layer chromatography (TLC) profiling was undertaken to generate preliminary chemical fingerprints of nutmeg (*M. fragrans*) extracts derived from the pericarp, seed coat, and kernel, thereby providing insight into the tissue-specific distribution of secondary metabolites. As

shown in Figure 5, the chromatographic patterns differed markedly among the anatomical fractions, underscoring the chemical heterogeneity of the fruit. The pericarp extract, analyzed using hexane:diethyl ether (5:5, v/v) as the mobile phase, exhibited multiple well-resolved bands. In contrast, the seed coat and kernel extracts were developed under

more non-polar conditions (hexane:diethyl ether, 9:1, v/v), and both displayed distinct retention factor (Rf) profiles. Notably, the kernel fraction demonstrated unique migration of polar constituents under the chromatographic conditions employed. These differential TLC signatures provide strong evidence for anatomical specialization in metabolite accumulation, each fraction exhibited a distinct retention factor (Rf) profile. The Rf values were

calculated for each resolved band to document metabolite distribution across fractions. Collectively, the TLC analysis not only confirmed the chemical diversity of nutmeg anatomical fractions but also established a foundation for targeted extraction and fractionation approaches, thereby enhancing the potential for developing plant-based therapeutic agents in veterinary dermatology and wound management.

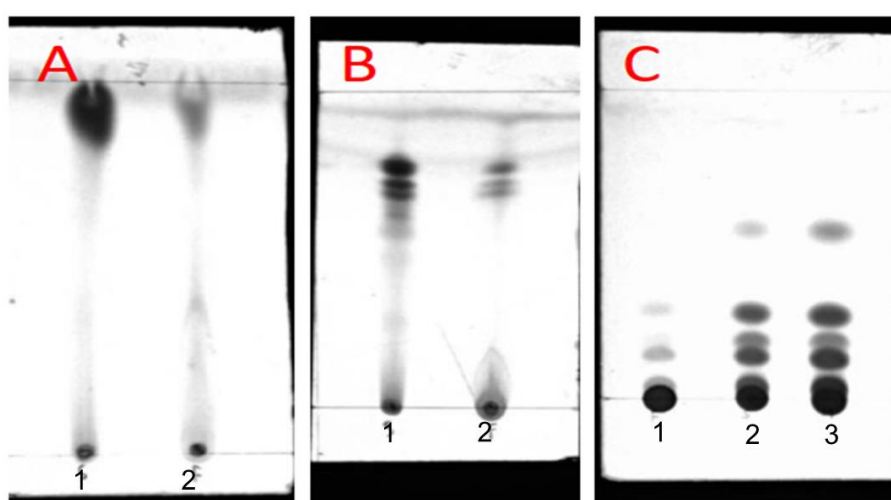


Figure 5 Chromatograms of ethanol crude extracts from various parts of nutmeg; (A) Ethanol:ethyl acetate (5:5) for seed coat (lane 1) and kernel (lane 2), (B) Hexane:acetone (5:5) for seed coat (lane 1) and kernel (lane 2) and (C) Hexane:diethyl ether (9:1) for pericarp (lane 1), seed coat (lane 2), and kernel (lane 3).

Discussion

The ethanol maceration extracts derived from the pericarp, seed coat (mace), and kernel of *M. fragrans* Houtt. exhibited marked differences in yield, physical characteristics, and antimicrobial potency against four clinically relevant cutaneous bacterial pathogens. These observations underscore the tissue-specific distribution of bioactive secondary metabolites within the nutmeg fruit and support the rationale for targeted utilization of individual anatomical fractions rather than whole-fruit

processing. On a fresh-weight basis, the seed coat (mace) provided the highest extraction yield (7.22% w/w), followed by the kernel (4.81%) and pericarp (3.82%). When corrected for dry weight, however, the pericarp demonstrated superior efficiency (27.35%), indicating that its lower absolute oil content is largely attributable to higher moisture levels rather than diminished biosynthetic capacity. This pattern is consistent with previous studies showing that pericarp tissue is enriched in monoterpene alcohols and oxygenated derivatives,

whereas the seed coat and kernel accumulate higher proportions of non-polar phenylpropenes and monoterpene hydrocarbons^{17–21}.

The observed physical differences among nutmeg extracts—viscous dark-brown semi-solid for the pericarp, translucent reddish-brown oil for the seed coat, and dense, nearly black viscous liquid for the kernel—reflect tissue-specific differential accumulation of pigments, oleoresins, and lipophilic constituents. Such macroscopic variation corresponds to distinct phenylpropanoid and terpenoid profiles: pericarp extracts typically exhibit lower levels of myristicin and safrole but elevated concentrations of oxygenated monoterpenes such as terpinen-4-ol and α -terpineol, whereas the kernel accumulates markedly higher proportions of lipophilic phenylpropanoids (particularly myristicin and safrole) along with oleoresins. The dense, nearly black viscous character of the kernel extract arises from the formation of a semi-stable, high-molecular-weight matrix that physically entraps these dominant bioactive constituents, thereby decreasing their volatility and protecting them from rapid oxidative degradation or evaporative loss. This results in a slower, diffusion-controlled release profile, with the near-black coloration attributable to concentrated pigments and minor polymerized phenolic derivatives. In practical bioactivity contexts, including antimicrobial, antioxidant, and insect-repellent applications, the kernel's viscous medium functions as a natural reservoir that sustains effective concentrations over extended periods, conferring superior prolonged residual efficacy compared with the more fluid, terpenoid-rich pericarp and seed-coat fractions, which undergo

comparatively rapid attenuation. Consequently, these physical attributes serve as a macroscopic proxy for tissue-specific metabolic specialization that translates directly into practically advantageous, long-lasting performance^{22–24}.

Antimicrobial screening via the agar well diffusion method revealed that all three extracts possessed concentration-dependent inhibitory activity against *P. aeruginosa*, *S. aureus*, *S. epidermidis*, and *S. pyogenes*. At 500 mg/mL, the pericarp extract produced the broadest spectrum of activity, with inhibition zones ranging from 18.90 ± 2.05 mm (*P. aeruginosa*) to 29.40 ± 1.31 mm (*S. pyogenes*). Activity persisted at 250 mg/mL but was abolished at ≤ 125 mg/mL. In contrast, the seed coat extract exhibited moderate potency, achieving maximum zones of 17.80 ± 1.25 mm (*S. aureus*) and 19.80 ± 0.68 mm (*S. pyogenes*) at 500 mg/mL, with residual activity detectable at 125 mg/mL against three of the four pathogens. The kernel extract was notable for its sustained efficacy at lower concentrations: inhibition zones of 14.70–17.30 mm remained evident at 125 mg/mL against *S. aureus*, *S. epidermidis*, and *S. pyogenes*. In contrast to the more concentration-dependent profiles of the other fractions, the kernel extract demonstrated a remarkable sustained antimicrobial efficacy, maintaining potent inhibitory zones against *S. aureus*, *S. epidermidis*, and *S. pyogenes* even at the lowest tested concentration of 125 mg/mL. This dilution-stable property suggests an enrichment in highly potent bioactive molecules, most likely phenylpropanoids such as myristicin and elemicin, which were identified as key constituents of the kernel's dense, pigment-rich matrix^{25,26}. Existing research indicates that phenylpropanoid-

rich fractions can exert concentration-independent membrane-disrupting effects, allowing them to sustain significant antimicrobial potency even when substantially diluted^{26,27}. This hypothesis is further substantiated by the unique polar constituent migration observed in the kernel's TLC fingerprints, confirming that its specialized phytochemical composition provides a robust and persistent therapeutic profile suitable for clinical topical applications²⁵. These findings align with numerous reports documenting the antibacterial efficacy of *M. fragrans* extracts and essential oils against both Gram-positive and Gram-negative skin pathogens, although direct comparisons are complicated by variations in extraction solvent, concentration, and assay methodology^{24,28}.

Several earlier studies employing disk-diffusion or broth-dilution methods have reported inhibition zones of 10–25 mm for nutmeg seed or mace extracts against *S. aureus* and *P. aeruginosa* at concentrations comparable to those tested here. The superior performance of the pericarp extract against the Gram-negative pathogen *Pseudomonas aeruginosa* is particularly noteworthy, given that Gram-negative organisms are generally less susceptible to plant-derived antimicrobial agents due to the protective barrier of their complex outer membrane. This specialized efficacy is likely attributable to the high relative abundance of monoterpene alcohols, specifically terpinen-4-ol, which are concentrated within the pericarp tissue. These compounds are known to effectively compromise outer-membrane integrity by integrating into the lipid bilayer, thereby increasing its fluidity and permeability. This disruption facilitates the

irreversible leakage of essential intracellular ions and metabolites, and may further allow for synergistic interactions with other lipophilic constituents within the extract to achieve complete microbial inhibition. The enhanced activity may therefore be linked to the higher relative abundance of monoterpene alcohols such as terpinen-4-ol in pericarp tissue, compounds known to compromise outer-membrane integrity and synergize with other lipophilic constituents. In contrast, the kernel extract demonstrated notable sustained efficacy at lower concentrations (125 mg/mL), with inhibition zones of 14.70–17.30 mm persisting against *S. aureus*, *S. epidermidis*, and *S. pyogenes*. This observation suggests enrichment in highly potent, less volatile antimicrobials—possibly myristicin or related phenylpropanoid derivatives—whose activity is maintained upon dilution due to the viscous matrix acting as a natural^{25–27}. The enhanced activity may be attributable to the higher relative abundance of monoterpene alcohols such as terpinen-4-ol in pericarp tissue, compounds known to compromise outer-membrane integrity and synergize with other lipophilic constituents. The kernel's ability to retain activity at 125 mg/mL suggests enrichment in highly potent, less volatile antimicrobials—possibly myristicin or elemicin derivatives—whose efficacy persists upon dilution. This observation is consistent with reports indicating that phenylpropanoid-rich fractions can exert concentration-independent membrane-disrupting effects, thereby sustaining antimicrobial potency even at reduced levels^{28–30}.

Thin-layer chromatography (TLC) fingerprints provided preliminary chemical evidence for the anatomical specialization observed in

bioactivity. Pericarp extracts resolved multiple bands under moderately polar conditions (hexane:diethyl ether 5:5 v/v), indicating a diverse array of polar and semi-polar metabolites. Seed coat and kernel extracts, developed under non-polar conditions (9:1 v/v), displayed distinct R_f profiles, with the kernel showing unique polar constituent migration. TLC fingerprints provided preliminary chemical evidence for the anatomical specialization observed in bioactivity. Pericarp extracts resolved multiple bands under moderately polar conditions (hexane:diethyl ether 5:5 v/v), indicating a diverse array of polar and semi-polar metabolites. Seed coat and kernel extracts, developed under non-polar conditions (9:1 v/v), displayed distinct R_f profiles, with the kernel showing unique polar constituent migration. These differential chromatographic signatures corroborate GC-MS and HPLC data from independent laboratories showing that pericarp oil is dominated by monoterpenes ($\approx 60\%$) and oxygenated monoterpenes ($\approx 29\%$), whereas seed and mace oils are richer in sabinene, myristicin, and safrole. Such tissue-specific chemotypes explain the observed variation in antimicrobial spectra and potency and highlight the importance of fraction-specific extraction for optimizing therapeutic applications. Thin-layer chromatography (TLC) fingerprints corroborated these biological findings, displaying distinct phytochemical fingerprints for each fraction. The kernel's unique polar constituent migration on TLC supports its observed sustained efficacy upon dilution. The multifaceted antimicrobial action of nutmeg; ranging from membrane disruption by monoterpenes (α -pinene, β -pinene) to the inhibition of quorum sensing and efflux pumps by

phenylpropenes (myristicin); minimizes the likelihood of resistance development, positioning these extracts as ideal candidates for veterinary topical therapy^{31,32}.

The antimicrobial mechanisms of nutmeg constituents are multifaceted. Monoterpenes (α -pinene, β -pinene, sabinene) and their oxygenated derivatives increase bacterial membrane fluidity and permeability, leading to leakage of intracellular ions and metabolites. Phenylpropenes such as myristicin and elemicin further inhibit bacterial efflux pumps and disrupt quorum-sensing systems, effects that are particularly pronounced against methicillin-resistant *S. aureus* and biofilm-forming pathogens. The broader activity of pericarp extracts against *P. aeruginosa* may reflect synergistic interactions between terpinen-4-ol and trace phenolic aldehydes, compounds previously isolated from pericarp and shown to inhibit both lipid peroxidation and cyclooxygenase enzymes. These multi-target actions reduce the likelihood of resistance development compared with single-site antibiotics and position nutmeg extracts as attractive candidates for adjunctive or alternative therapies in an era of rising antimicrobial resistance³³.

Despite these promising results, several limitations must be acknowledged and factors considered for clinical translation. The study employed crude ethanol extracts rather than purified essential oils or isolated compounds, meaning synergistic or antagonistic interactions among constituents cannot be excluded; furthermore, although 1% DMSO served as a negative control with no observable inhibition, solvent effects at higher concentrations remain a potential

confounder. Antimicrobial data were generated solely by the agar well diffusion method, which—while standardized—does not provide minimum inhibitory concentration (MIC) or minimum bactericidal concentration (MBC) values, and the investigation was conducted strictly under in-vitro conditions, leaving the influence of the complex skin microenvironment (including sebum composition and host immune status) to be elucidated. To establish a comprehensive pharmacological profile, future research must prioritize: (1) quantitative potency through broth microdilution assays to determine MIC and MBC values; (2) in-vivo validation via wound-healing and safety studies in animal models to evaluate efficacy and dermal toxicity under physiological conditions; and (3) compound identification using bioassay-guided fractionation and GC-MS/HPLC-MS to isolate the specific bioactive molecules responsible for the observed anatomical specialization. Additionally, although the four test strains represent major cutaneous pathogens, clinical isolates from diverse geographic origins and resistance phenotypes should be evaluated to confirm generalizability; synergistic interactions with conventional antibiotics (e.g., oxacillin, ceftazidime) warrant investigation, as sub-MIC nutmeg fractions may restore susceptibility in multidrug-resistant isolates; and stability testing under accelerated storage conditions is required to ensure shelf-life suitability for pharmaceutical or cosmeceutical formulations.

The findings of this study translate directly into novel therapeutic avenues for veterinary dermatology and wound management. Given the rising challenge of Antimicrobial Resistance (AMR)

in livestock and pets, there is an urgent need for natural adjuncts that reduce reliance on systemic drugs. These extracts demonstrate significant potential as bioactive components in topical formulations, targeting primary veterinary pathogens including *S. aureus* and *S. pseudintermedius*. The documented ability of nutmeg constituents to enhance re-epithelialization in vivo, coupled with their efficacy against high-burden human wound isolates, underscores their translational value as a safe, effective intervention for complex animal skin infections.

Conclusions

This investigation substantiates the profound pharmacological significance of anatomical specialization within *M. fragrans* Houtt. The study demonstrates that the pericarp, seed coat, and kernel possess distinct phytochemical fingerprints that correlate directly with their specialized antimicrobial profiles. Specifically, the pericarp exhibits superior broad-spectrum activity, notably against the resilient Gram-negative *P. aeruginosa*, whereas the kernel maintains exceptional, dilution-stable efficacy even at the lowest tested concentration of 125 mg/mL. From an industrial and pharmaceutical perspective, these findings provide a compelling rationale for adopting fraction-specific extraction strategies over conventional whole-fruit processing. By isolating specific anatomical parts, the veterinary pharmaceutical industry can achieve targeted concentrations of localized bioactive compounds, thereby optimizing therapeutic yield and ensuring superior potency in topical formulations. This targeted approach not only enhances cost-

effectiveness by maximizing the utility of each fraction but also provides a sustainable, low-resistance-risk solution to the escalating antimicrobial resistance crisis in veterinary dermatology. Ultimately, the utilization of specialized nutmeg fractions represents a significant advancement toward precision-based natural interventions, offering a robust alternative to systemic antibiotics for the management of cutaneous infections in livestock and companion animals.

Acknowledgements

The authors would like to thank the Faculty of Veterinary Medicine, Phetchaburi Rajabhat University for supporting the research fund.

References

1. Dina MA, Bhutta MA, Zeshan SA. Global burden and future outlook of antimicrobial resistance. *Int J Clin Microbiol Biochem Technol* 2026;9:18-21.
2. Ramadhan F, Nugroho YE, Faizal IA. Inhibitory effect of nutmeg (*Myristica fragrans*) leaf extract on biofilm formation by methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA). *JolMedLabS* 2025;6:122-31.
3. Jasim AA, Al-Saedi F, Mahmoud BS. Antibacterial activity of nutmeg (*Myristica fragrans*) seeds extracts against pathogenic bacteria isolated from infected wounds. *NanoMatImp* 2025;1:17-23.
4. Shafiei Z, Shuhairi NN, Md Fazly Shah Yap N, Harry Sibungkil CA, Latip J. Antibacterial activity of *Myristica fragrans* against oral pathogens. *eCAM* 2012;2012:825362.
5. Kaur V, Kaushal S, Kalia A, Jangra R, Sharma P. Antimicrobial, synergistic and antibiofilm activities of *Myristica fragrans* Houtt. bioactive compounds and their derivatives. *Sci Rep* 2025;15:33041.
6. Kupper TS, Fuhlbrigge RC. Immune surveillance in the skin: mechanisms and clinical consequences. *Nat Rev Immunol* 2004;4:211-22.
7. Lee HJ, Kim M. Skin barrier function and the microbiome. *Int J Mol Sci* 2022;23:13071.
8. Linz MS, Mattappallil A, Finkel D, Parker D. Clinical impact of *Staphylococcus aureus* skin and soft tissue infections. *Antibiotics (Basel)* 2023;12.
9. Oh J, Voigt AY. The human skin microbiome: from metagenomes to therapeutics. *Nat. Rev. Microbiol.* 2025;23:771-87.
10. Severn MM, Horswill AR. *Staphylococcus epidermidis* and its dual lifestyle in skin health and infection. *Nat Rev Microbiol* 2022;21:97-111.
11. Wu DC, Chan WW, Metelitsa AI, Fiorillo L, Lin AN. *Pseudomonas* skin infection: clinical features, epidemiology, and management. *Am J Clin Dermatol* 2011;12:157-69.
12. Porrello A, Sordillo A, Badalamenti N, et al. Myristicin from *Athamanta sicula* L.: a potential natural antimicrobial agent. *Antibiotics* 2026;15:79.
13. Silva ACR da, Lopes PM, Azevedo MMB de, Costa DCM, Alviano CS, Alviano DS. Biological activities of α -pinene and β -pinene enantiomers. *Molecules* 2012;17:6305-16.
14. Ha MT, Vu NK, Tran TH, Kim JA, Woo MH, Min BS. Phytochemical and pharmacological properties of *Myristica fragrans* Houtt.: an

- updated review. Arch Pharm Res 2020;43:1067-1092.
15. Farahpour MR, Pirkhezr E, Ashrafi A, Sonboli A. Accelerated healing by topical administration of *Salvia officinalis* essential oil on *Pseudomonas aeruginosa* and *Staphylococcus aureus* infected wound model. Biomed Pharmacother 2020;128:110120.
16. Serra R, Grande R, Butrico L, Rossi A, Settimo UF, Caroleo B, et al. Chronic wound infections: the role of *Pseudomonas aeruginosa* and *Staphylococcus aureus*. Expert Rev Anti Infect Ther 2015;13:605-13.
17. Hooda P, Kanhaiya K, Kumar M, Mudgil A. Pharmacognostical, physicochemical, phytochemical, antioxidant, and antimicrobial evaluation of nutmeg (*Myristica fragrans*) seed extracts. Int J Pharmacol Pharm Res 2025;7:29-33.
18. Tariq D, Sultan MT, Noman AM, Raza H, Akram S, Mohamed HM, et al. Nutmeg beyond spice: a review on its therapeutic potential, safety and industrial promise. Food Sci Nutr 2025;13:e71053.
19. Abourashed EA, El-Alfy AT. Chemical diversity and pharmacological significance of the secondary metabolites of nutmeg (*Myristica fragrans* Houtt.). Phytochem Rev 2016;15:1035-56.
20. Ashokkumar K, Simal-Gandara J, Murugan M, Dhanya MK, Pandian A. Nutmeg (*Myristica fragrans* Houtt.) essential oil: a review on its composition, biological, and pharmacological activities. Phytother Res 2022;36:2839.
21. Elfia HY, Susilo S. An update on the pharmacology, phytochemistry, and toxicity of *Myristica fragrans* Houtt. as a source of treatment: a scoping review. J Appl Pharm Sci 2023;13:92-106.
22. Putra NR, Aziz AHA, Mamat H, Rizkiyah DN, Yanus MAC, Irianto I, et al. Green extraction of nutmeg (*Myristica fragrans*) phytochemicals: prospective strategies and roadblocks. Open Agric 2024;9.
23. Rajan R, Cherian E. The nutmeg pericarp (*Myristica fragrans*) as a functional food ingredient: phytochemicals, bioactivities and valorization prospects. APPS 2026;2:25.
24. Nikolic V, Nikolic L, Dinic A, Gajic I, Urosevic M, Stanojevic L, et al. Chemical composition, antioxidant and antimicrobial activity of nutmeg (*Myristica fragrans* Houtt.) seed essential oil. J Essent Oil-Bear Plants 2021;24:218-27.
25. Lv Y, Hao J, Wang Y, Du K, Kang K, Xin Y, et al. Insight into the antibacterial properties of terpinen-4-ol on planktonic growth and biofilm-formation of *Vibrio parahaemolyticus*. Food Biosci 2024;59:104037.
26. Nair VG, Unnikrishnan VK, Muralidharan N, Venkatathri BNS, Lawrence RC, Rajesh YBRD, et al. Human vaginal *Lactobacillus Jensenii* - derived (-)-terpinen-4-ol restores antibiotic sensitivity by inhibiting efflux pumps in drug resistant *E. coli* and *K. pneumoniae*. Sci Rep 2025;15:31823.
27. Mondello F, Fontana S, Scaturro M, Girolamo A, Colone M, Stringaro A, et al. Terpinen-4-ol, the main bioactive component of tea tree oil, as an

- innovative antimicrobial agent against *Legionella pneumophila*. *Pathogens* 2022;11:682.
28. Emre Özkan O, Olgun Ç, Güney B, Gür M, Güney K, Ateş S. Chemical composition and antimicrobial activity of *Myristica fragrans* & *Elettaria cardamomum* essential oil. *J For Fac* 2018;18:225-9.
29. Ibrahim KM, Naem RK, Abd-Sahib AS. Antibacterial activity of nutmeg (*Myristica fragrans*) seed extracts against some pathogenic bacteria. *JNUS* 2013;16:188-192.
30. Oo T, Saiboonjan B, Srijampa S, Srijampa S, Srisrattakarn A, Sutthanut K, et al. Inhibition of bacterial efflux pumps by crude extracts and essential oil from *Myristica fragrans* Houtt. (Nutmeg) seeds against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. *Molecules* 2021;26:4662.
31. Bannach TC, Mongruel ACB, Evangelista AG, Souza VBM, Voi R, Otuki MF, et al. Comparative efficacy of a novel topical formulation with antimicrobial peptides and encapsulated plant extracts versus conventional therapies for canine otitis externa. *Pathogens* 2025;14:1112.
32. Sheinberg Waisburd G, Romero Núñez C, Martin Cordero A, Heredia Cárdenas R, Flores Ortega A. Efficacy of plant extract-based solutions compared to chlorhexidine and miconazole shampoo for the treatment of superficial pyoderma in dogs. *Vet Med Sci* 2025;11:e70075.
33. Seneme EF, Dos Santos DC, Silva EMR, Franco YEM, Longato GB. Pharmacological and therapeutic potential of myristicin: a literature review. *Molecules* 2021;26:5914.

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีไพรเวทบล็อกเชน สำหรับบันทึกเอกสารควบคุมในองค์กร

Application of Private Blockchain Technology for Recording Controlled Documents in Organizations

อรรทัย ไบศิลา, ปริญญานาโท และ แสงทอง บุญยั้ง*

Oratai Baisila, Parinya Natho and Sangtong Boonying*

สาขาวิทยาการจัดการนวัตกรรมดิจิทัล คณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

Digital Innovation Management, Faculty of Business Administration and Information Technology, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

*Corresponding author; E-mail: sangtong.b@rmutsb.ac.th

Received: 20 May 2026 /Revised: 2 June 2026 /Accepted: 4 June 2026

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาระบบบันทึกเอกสารควบคุมโดยใช้เทคโนโลยีบล็อกเชน 2) ศึกษาประสิทธิภาพของระบบ และ 3) ศึกษาการยอมรับการใช้งานของผู้ใช้ตามแบบจำลอง Technology Acceptance Model (TAM) กลุ่มตัวอย่างคือพนักงานของบริษัทผู้ผลิต และจำหน่ายโครงสร้างเหล็กขนาดใหญ่แห่งหนึ่งในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา จำนวน 250 คน จากประชากร 650 คน โดยใช้วิธีการคัดเลือกแบบเจาะจง เครื่องมือวิจัยประกอบด้วยแบบประเมินประสิทธิภาพระบบและแบบสอบถามการยอมรับการใช้งาน วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)

ผลการวิจัยพบว่า ระบบบันทึกเอกสารควบคุมโดยใช้เทคโนโลยีไพรเวทบล็อกเชนที่พัฒนาขึ้นสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์โดยรองรับการบันทึกเอกสาร การกำหนดสิทธิ์การเข้าถึง และการตรวจสอบย้อนหลังผ่านค่าแฮช (Hash) และข้อมูลเวลา (Timestamp) ซึ่งช่วยเพิ่มความปลอดภัย ความโปร่งใส และประสิทธิภาพในการจัดการเอกสารภายในองค์กร นอกจากนี้ ผลประสิทธิภาพของระบบโดยรวมอยู่ในระดับมาก (Mean = 4.01, S.D. = 0.52) โดยเฉพาะด้านความปลอดภัย และความสามารถในการตรวจสอบย้อนหลัง และผลการยอมรับการใช้งานของผู้ใช้โดยรวมอยู่ในระดับมาก (Mean = 4.06, S.D. = 0.86) โดยด้านที่ได้รับการประเมินสูงสุดคือการรับรู้ประโยชน์ของระบบ แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถเพิ่มความปลอดภัย ความโปร่งใส และประสิทธิภาพในการจัดการเอกสารภายในองค์กรได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: เอกสารควบคุม เทคโนโลยีบล็อกเชน ความปลอดภัย ความโปร่งใส

Abstract

This study aimed to (1) develop a controlled document recording system using blockchain technology, (2) evaluate the efficiency of the system, and (3) examine user acceptance based on the Technology Acceptance Model (TAM). The sample consisted of 250 employees selected through purposive sampling from a population of 650 employees of a large steel structure manufacturing and distribution company located in Phra Nakhon Si Ayutthaya Province. The research instruments consisted of a system efficiency evaluation form and a user acceptance questionnaire. Data were analyzed using mean (Mean) and standard deviation (S.D.).

The research findings revealed that the developed private blockchain-based controlled document recording system successfully achieved its intended objectives. The system supports document registration, access control management, and audit trail verification through the use of hash values and timestamps, thereby enhancing security, transparency, and efficiency in organizational document management. Furthermore, the overall system efficiency was evaluated at a high level (Mean = 4.01, S.D. = 0.52), particularly in terms of security and traceability. User acceptance of the system was also rated at a high level (Mean = 4.06, S.D. = 0.86). Among the evaluated dimensions, Perceived Usefulness received the highest mean score, indicating that users recognized the practical benefits of the system in supporting their work processes. These findings demonstrate that the proposed private blockchain-based controlled document recording system can effectively enhance security, transparency, and operational efficiency in managing controlled documents within organizations.

Keywords: Controlled Documents, Blockchain Technology, Security, Transparency

บทนำ

การบริหารจัดการเอกสารควบคุม (Controlled Documents) เป็นองค์ประกอบสำคัญของระบบบริหารคุณภาพในองค์กร โดยเฉพาะองค์กรที่ได้รับการรับรองมาตรฐานสากล เช่น ISO 9001 ด้านระบบบริหารคุณภาพ ISO 14001 ด้านการจัดการสิ่งแวดล้อม และ ISO 45001 ด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัย ซึ่งมาตรฐานดังกล่าวกำหนดให้องค์กรต้องมีระบบควบคุมเอกสารที่สามารถจัดเก็บ ค้นหา ติดตาม และตรวจสอบประวัติการเปลี่ยนแปลงของเอกสารได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อให้มั่นใจว่าการใช้งานเอกสารฉบับที่ถูกต้อง และเป็นปัจจุบัน อันจะช่วยลดข้อผิดพลาดในการดำเนินงาน เพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการ และสร้างความน่าเชื่อถือให้แก่องค์กร

ในปัจจุบันองค์กรภาคอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอุตสาหกรรมการผลิตโครงสร้างเหล็ก มีการใช้เอกสารจำนวนมากตลอดกระบวนการดำเนินงาน ไม่ว่าจะเป็นเอกสารทางวิศวกรรม แบบก่อสร้าง เอกสารการตรวจสอบคุณภาพ เอกสารการผลิต และเอกสารการอนุมัติงาน ซึ่งเกี่ยวข้องกับหลายหน่วยงานภายในองค์กร การจัดเก็บและบริหารจัดการเอกสารในรูปแบบดั้งเดิมยังคงประสบปัญหาหลายประการ เช่น การสูญหายของเอกสาร การแก้ไขข้อมูลโดยไม่ได้รับอนุญาต การใช้เอกสารที่ล้าสมัย และความ

ยากลำบากในการตรวจสอบประวัติการเปลี่ยนแปลงย้อนหลัง ส่งผลให้เกิดความล่าช้าในการดำเนินงาน ลดความโปร่งใสในการบริหารจัดการ และเพิ่มความเสี่ยงต่อข้อผิดพลาดในการปฏิบัติงาน

เทคโนโลยีบล็อกเชน (Blockchain Technology) เป็นเทคโนโลยีบัญชีแยกประเภทแบบกระจายศูนย์ (Distributed Ledger Technology: DLT) ที่ได้รับความสนใจอย่างแพร่หลายในการประยุกต์ใช้กับระบบสารสนเทศที่ต้องการความปลอดภัย ความโปร่งใส และความสามารถในการตรวจสอบย้อนหลัง เนื่องจากข้อมูลที่ถูกรบันทึกในแต่ละบล็อกจะเชื่อมโยงกันด้วยค่าแฮช (Hash Value) ทำให้ไม่สามารถแก้ไขข้อมูลย้อนหลังได้โดยง่าย และสามารถตรวจสอบที่มาของข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ¹⁻³

งานวิจัยที่ผ่านมาได้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของเทคโนโลยีบล็อกเชนในการจัดการข้อมูล และเอกสารดิจิทัล โดย Das และคณะ⁴ ได้พัฒนาระบบจัดการเอกสารแบบบูรณาการโดยใช้ Smart Contract บนเทคโนโลยีบล็อกเชน ซึ่งช่วยเพิ่มความปลอดภัย และลดความเสี่ยงจากการปลอมแปลงข้อมูล ขณะที่ Kothari และคณะ⁵ ศึกษาการประยุกต์ใช้บล็อกเชนสำหรับระบบจัดการเอกสารในสถาบันการศึกษา และพบว่าสามารถเพิ่มความน่าเชื่อถือของข้อมูล และประสิทธิภาพในการจัดเก็บเอกสารได้อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ Qardashov & Ahmedli⁶ ยังรายงาน

ว่าการประยุกต์ใช้บล็อกเชนในสภาพแวดล้อมดิจิทัลช่วยเพิ่มความปลอดภัย ความโปร่งใส และความสามารถในการตรวจสอบข้อมูลย้อนหลังได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เชษฐา สรณวิช ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีบล็อกเชนในกระบวนการจัดการเอกสารของศาลยุติธรรมไทย และพบว่าบล็อกเชนสามารถลดความเสี่ยงจากการปลอมแปลงเอกสาร เพิ่มความน่าเชื่อถือของข้อมูล และสนับสนุนการตรวจสอบย้อนหลังได้อย่างมีประสิทธิภาพจากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า งานวิจัยส่วนใหญ่มุ่งเน้นการประยุกต์ใช้บล็อกเชนในระบบจัดการเอกสารทั่วไป ระบบการศึกษา หรือภาครัฐ ขณะที่ยังมีงานวิจัยจำกัดที่ศึกษาการประยุกต์ใช้ไพรเวทบล็อกเชน (Private Blockchain) สำหรับระบบเอกสารควบคุมภายในองค์กรอุตสาหกรรมการผลิตที่มีขั้นตอนการอนุมัติหลายระดับ และต้องการความสามารถในการตรวจสอบย้อนหลังอย่างเข้มงวด ซึ่งถือเป็นช่องว่างของงานวิจัย (Research Gap) ที่ควรได้รับการศึกษาเพิ่มเติม

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษา และพัฒนาระบบบันทึกเอกสารควบคุมโดยใช้เทคโนโลยีไพรเวทบล็อกเชน เพื่อเพิ่มความปลอดภัย ความโปร่งใส และความสามารถในการตรวจสอบย้อนหลังของข้อมูล พร้อมทั้งประเมินประสิทธิภาพของระบบ และศึกษาการยอมรับการใช้งานของผู้ใช้ตามแบบจำลอง Technology Acceptance Model (TAM) เพื่อเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีบล็อกเชนสำหรับการบริหารจัดการเอกสารภายในองค์กรอุตสาหกรรมในอนาคต

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาระบบบันทึกเอกสารควบคุมโดยใช้เทคโนโลยีบล็อกเชน เพื่อเพิ่มความปลอดภัย และความโปร่งใสในองค์กร
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบบันทึกเอกสารควบคุมโดยใช้เทคโนโลยีบล็อกเชน เพื่อเพิ่มความปลอดภัย และความโปร่งใสในองค์กร

3. เพื่อศึกษาการยอมรับการใช้งานระบบบันทึกเอกสารควบคุมโดยใช้เทคโนโลยีบล็อกเชน เพื่อเพิ่มความปลอดภัย และความโปร่งใสในองค์กร

ขอบเขตของการวิจัย

1. ขอบเขตด้านเนื้อหา: การวิจัยนี้มีขอบเขตในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีไพรเวทบล็อกเชน สำหรับบันทึกเอกสารควบคุมในองค์กร สามารถตรวจสอบสถานะของข้อมูลเอกสารภายในองค์กรที่ถูกระบบบันทึก

ซึ่งระบบถูกพัฒนาด้วยกระบวนการของวงจร System Development Lifecycle: SDLC⁸ และรองรับผู้ใช้งานหลายระดับ ได้แก่ เจ้าหน้าที่ควบคุมเอกสาร ผู้อนุมัติ และพนักงานแต่ละฝ่าย ภายหลังจากการพัฒนา จะมีการประเมินประสิทธิภาพของระบบ และการยอมรับการใช้งานระบบของบุคลากรภายในองค์กร โดยจะครอบคลุมถึงองค์ประกอบหลัก ๆ ดังต่อไปนี้ 1) ฟังก์ชันการอัปโหลด และบันทึกเอกสาร 2) การค้นหา และการตรวจสอบเอกสาร 3) การจัดการสิทธิ์การเข้าถึง 4) การอนุมัติ และการตรวจสอบเอกสาร 5) การเข้ารหัส และการป้องกันข้อมูล 6) การสำรองข้อมูล และการกู้คืนข้อมูล 7) การวิเคราะห์ และการรายงาน

2. ขอบเขตด้านกลุ่มเป้าหมายที่ใช้: กลุ่มเป้าหมายที่ใช้สำหรับประเมินการยอมรับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีไพรเวทบล็อกเชน สำหรับบันทึกเอกสารควบคุมในองค์กร คือ พนักงานของบริษัทผู้ผลิต และเจ้าหน้าที่โครงสร้างหลักขนาดใหญ่แห่งหนึ่งในจังหวัดพระนครศรีอยุธยาจำนวน 650 คน กำหนดกลุ่มตัวอย่างจำนวน 250 คน ได้มาจากการคัดเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) เพื่อให้ได้ ผู้ที่มีประสบการณ์ใช้งานระบบเอกสาร

3. ขอบเขตด้านการประเมินผล: ประเมินประสิทธิภาพของระบบในด้านการใช้งาน ฟังก์ชันการทำงาน ความปลอดภัย การตอบสนอง และความเสถียร และผลลัพธ์การใช้งาน รวมถึงศึกษาการยอมรับของผู้ใช้ตามแบบจำลองการยอมรับเทคโนโลยี (TAM) โดยใช้ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ในการวิเคราะห์ข้อมูล

กรอบแนวคิดการวิจัย

กรอบแนวคิดการวิจัยครั้งนี้พัฒนาขึ้นจากการศึกษาแนวคิดการจัดการเอกสารควบคุมภายในองค์กร วงจรการพัฒนาระบบ (System Development Life Cycle: SDLC) เทคโนโลยีไพรเวทบล็อกเชน และแบบจำลองการยอมรับเทคโนโลยี (Technology Acceptance Model: TAM) โดยมุ่งประยุกต์ใช้เทคโนโลยีไพรเวทบล็อกเชนร่วมกับระบบ Web Application เพื่อพัฒนาระบบบันทึกเอกสารควบคุมภายในองค์กรให้มีความปลอดภัย ความโปร่งใส และสามารถตรวจสอบย้อนหลังได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การวิจัยดำเนินการตามกระบวนการพัฒนาระบบ ประกอบด้วย การวิเคราะห์ความต้องการ การออกแบบระบบ การพัฒนา และเขียนโปรแกรม การทดสอบระบบ

และการติดตั้งใช้งานจริง โดยนำเทคโนโลยี MultiChain ซึ่งเป็นไพรเวทบล็อกเชนแบบกำหนดสิทธิ์ (Permissioned Blockchain) มาใช้ในการจัดเก็บข้อมูลธุรกรรม การสร้างค่าแฮช (Hash Value) และการตรวจสอบประวัติการเปลี่ยนแปลงข้อมูล เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของข้อมูล และป้องกันการแก้ไขข้อมูลโดยมิชอบ

ผลลัพธ์ของการวิจัยพิจารณาใน 2 มิติ ได้แก่ ประสิทธิภาพของระบบบันทึกเอกสารควบคุม และการยอมรับการใช้งานของผู้ใช้ โดยประเมินการยอมรับตามแบบจำลอง TAM ซึ่งประกอบด้วย การรับรู้ความง่ายในการใช้งาน การรับรู้ประโยชน์ของระบบ ทศนคติต่อการใช้งาน และความตั้งใจใช้งาน ทั้งนี้กรอบแนวคิดการวิจัยแสดงดัง Figure 1.

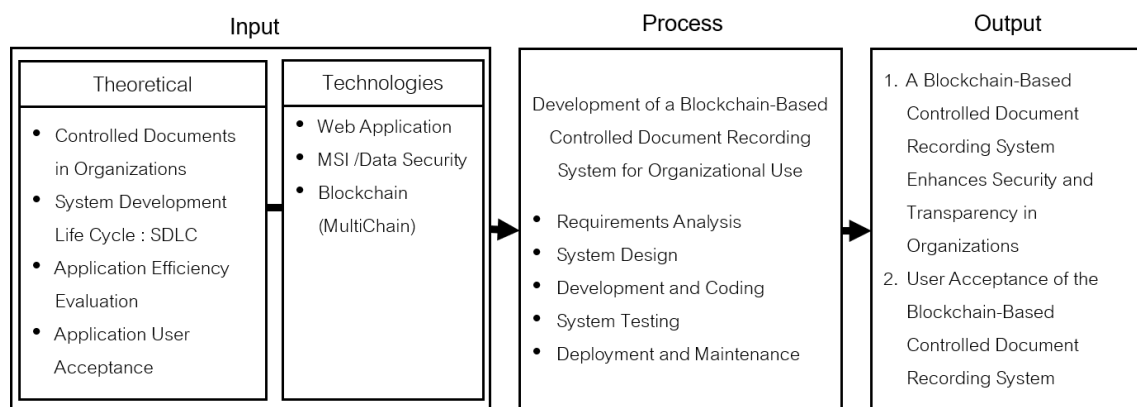


Figure 1. Research framework

วิธีดำเนินการวิจัย

กลุ่มเป้าหมาย

กลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่พนักงานของบริษัทผู้ผลิต และจำหน่ายโครงสร้างเหล็กขนาดใหญ่แห่งหนึ่งในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ซึ่งมีส่วนเกี่ยวข้องกับการจัดการเอกสารควบคุม และการใช้งานระบบสารสนเทศภายในองค์กร โดยมีประชากรทั้งหมดจำนวน 650 คน กำหนดขนาด กลุ่มตัวอย่างจำนวน 250 คน ได้มาจากการคัดเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) เพื่อให้ได้กลุ่มตัวอย่างที่มีประสบการณ์ใช้งานระบบ และสามารถให้ข้อมูลที่ตรงตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยได้อย่างเหมาะสม โดยมี

เกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง (Inclusion Criteria) ประกอบด้วย

- 1) เป็นพนักงานในบริษัทผู้ผลิต และจำหน่ายโครงสร้างเหล็กขนาดใหญ่ แห่งหนึ่งในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา
- 2) มีส่วนเกี่ยวข้องกับการจัดการเอกสารควบคุมภายในองค์กร
- 3) ยินยอมเข้าร่วมการวิจัย และตอบแบบสอบถามด้วยความสมัครใจ

ขั้นตอนการพัฒนาระบบ

ผู้วิจัยดำเนินการพัฒนาระบบตามวงจรการพัฒนา
ระบบ (System Development Lifecycle: SDLC)
ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ได้แก่

1) การวิเคราะห์ความต้องการของระบบ
(Requirement Analysis) ศึกษากระบวนการจัดการเอกสาร
ควบคุมภายในองค์กร วิเคราะห์ข้อจำกัดของระบบเดิม
รวมถึงรวบรวมความต้องการของผู้ใช้งานในแต่ละฝ่าย เพื่อ
กำหนดขอบเขตการทำงาน เงื่อนไขการอนุมัติเอกสาร และ
สิทธิการเข้าถึงข้อมูล

2) การออกแบบระบบ (System Design) ออกแบบ
ระบบในลักษณะ Web Application บนเครือข่ายภายใน
องค์กร (Intranet Environment) โดยกำหนดโครงสร้าง
ฐานข้อมูล กลไกการอนุมัติเอกสาร การจัดการสิทธิผู้ใช้งาน

และกระบวนการตรวจสอบข้อมูลด้วยเทคโนโลยีไพรเวท
บล็อกเชน เพื่อรองรับการควบคุมเอกสารภายในองค์กรอย่าง
มีประสิทธิภาพ

ระบบไพรเวทบล็อกเชนที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ พัฒนา
บนแพลตฟอร์ม MultiChain ซึ่งเป็นบล็อกเชนแบบกำหนด
สิทธิ์ (Permissioned Blockchain) ที่สามารถควบคุมสิทธิ์
การเข้าถึงข้อมูล และบริหารจัดการเครือข่ายได้อย่าง
เหมาะสมสำหรับการใช้งานภายในองค์กร โดยรองรับการ
ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลผ่านกลไกการสร้างค่าแฮช
(Hash Value) การเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างบล็อก และการ
ตรวจสอบประวัติการเปลี่ยนแปลงข้อมูลย้อนหลัง
(Traceability) เพื่อป้องกันการแก้ไขข้อมูลโดยมิชอบและ
เพิ่มความน่าเชื่อถือของข้อมูล⁹

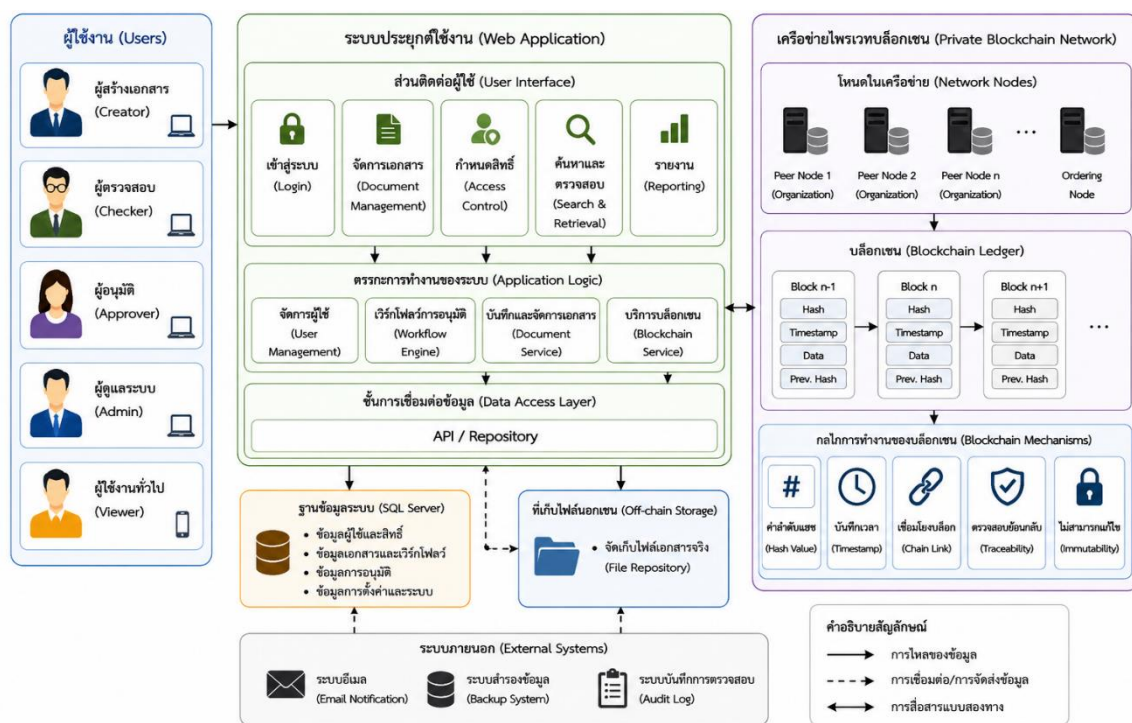


Figure 2. Block diagram of the private blockchain-based controlled document recording system

Figure 2 แสดงสถาปัตยกรรมของระบบ โดยผู้ใช้งาน
สามารถดำเนินการผ่าน Web Application ขณะที่ข้อมูล
สำคัญ ได้แก่ ค่าแฮช ข้อมูลเวลา และข้อมูลธุรกรรม ถูก
จัดเก็บบนไพรเวทบล็อกเชนเพื่อรองรับการตรวจสอบ
ย้อนหลัง และลดความเสี่ยงจากการแก้ไขข้อมูลโดยมิชอบ

โครงสร้างดังกล่าวมีการแยกส่วนการจัดเก็บข้อมูลเอกสาร
(Off-chain Storage) และข้อมูลตรวจสอบความถูกต้อง
(On-chain Verification) ออกจากกันอย่างเป็นระบบ

โครงสร้างฐานข้อมูลของระบบถูกออกแบบในรูปแบบ
ของความสัมพันธ์ระหว่างเอนทิตี (Entity Relationship

Diagram: ER-Diagram) เพื่อรองรับการจัดเก็บข้อมูล ระบบไพรเวทบล็อกเชน ดัง Figure 3.

เอกสาร ข้อมูลการตรวจสอบ และการเชื่อมโยงข้อมูลบน

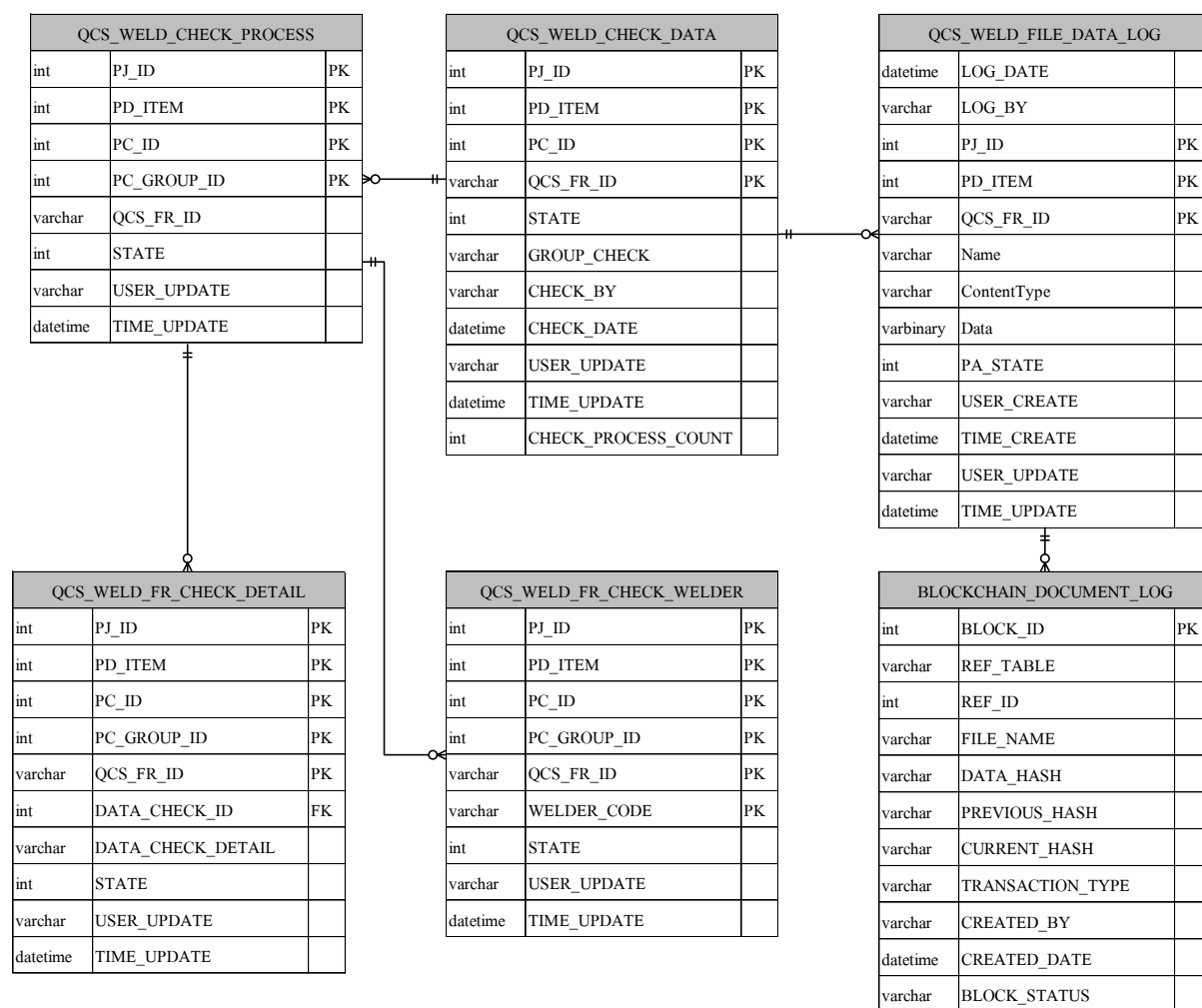


Figure 3. Entity relationship diagram of the system

Figure 3 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ฐานข้อมูล (Entity Relationship Diagram: ER-Diagram) ของระบบบันทึกเอกสารควบคุมที่พัฒนาขึ้น โดยออกแบบให้รองรับกระบวนการจัดการเอกสาร การตรวจสอบสถานะ การติดตามประวัติการดำเนินงาน และการบันทึกข้อมูลบนระบบไพรเวทบล็อกเชน โครงสร้างข้อมูลถูกแบ่งออกเป็นส่วนของข้อมูลหลักของเอกสาร (Core Document Data) ข้อมูลกระบวนการตรวจสอบ (Process Data) ข้อมูลผู้ปฏิบัติงาน (User and Welder Data) และข้อมูลไฟล์เอกสาร (File Data) ซึ่งมีความสัมพันธ์กันผ่านรหัสเอกสาร และข้อมูลอ้างอิง

(Reference ID) เพื่อรองรับการเชื่อมโยงข้อมูลอย่างเป็นระบบตาราง QCS_WELD_CHECK_DATA เป็นตารางหลักในการจัดเก็บข้อมูลเอกสารควบคุม และสถานะการตรวจสอบขณะที่ตาราง QCS_WELD_CHECK_PROCESS, QCS_WELD_FR_CHECK_DETAIL และ QCS_WELD_FR_CHECK_WELDER ใช้สำหรับจัดเก็บรายละเอียดของกระบวนการตรวจสอบ และข้อมูลผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้อง ตาราง QCS_WELD_FILE_DATA_LOG ใช้สำหรับจัดเก็บข้อมูลไฟล์เอกสารที่อัปโหลดเข้าสู่ระบบ และเชื่อมโยงไปยัง BLOCKCHAIN_DOCUMENT_LOG ซึ่งทำหน้าที่บันทึกค่าแฮช (Hash Value) ได้แก่ ค่าแฮชก่อนหน้า

(Previous Hash) ค่าแฮชปัจจุบัน (Current Hash) ประเภทของธุรกรรม และข้อมูลเวลา เพื่อรองรับการตรวจสอบย้อนหลัง (Traceability) และป้องกันการแก้ไขข้อมูลย้อนหลังโดยมิชอบ

กลไกของระบบบล็อกเชนทำงานโดยการสร้างค่าแฮช (Hash Value) ของเอกสารแต่ละรายการเพื่อใช้เป็นลายนิ้วมือดิจิทัล (Digital Fingerprint) สำหรับตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล โดยค่าแฮชดังกล่าวจะถูกบันทึกพร้อมข้อมูลเวลา (Timestamp) และข้อมูลกำกับเอกสาร (Metadata) ลงในระบบไพรเวทบล็อกเชน ขณะที่เอกสารต้นฉบับจะถูกจัดเก็บไว้ในฐานข้อมูลขององค์กร (Off-chain Storage) หากมีการเปลี่ยนแปลงข้อมูลเอกสาร ค่าแฮชใหม่จะไม่สอดคล้องกับข้อมูลเดิมที่ถูกบันทึกไว้ ทำให้สามารถตรวจสอบความผิดปกติของข้อมูลย้อนหลังได้อย่างมีประสิทธิภาพ^{1,3,9}

ผู้วิจัยมีการเลือกใช้ไพรเวทบล็อกเชน (Private Blockchain) เนื่องจากเป็นระบบที่สามารถกำหนดสิทธิ์การเข้าถึงข้อมูลได้อย่างชัดเจน เหมาะสมกับบริบทขององค์กร ที่มีข้อกำหนดด้านความปลอดภัย และความลับของข้อมูลภายใน อีกทั้งยังสามารถรองรับการประมวลผลข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว เมื่อเปรียบเทียบกับบล็อกเชนสาธารณะ^{1,9}

3) การพัฒนาระบบ (System Development) ดำเนินการพัฒนาระบบในรูปแบบ Web Application บนสถาปัตยกรรมแบบ Client-Server โดยใช้ ASP.NET Web Application ร่วมกับ JavaScript พัฒนาด้วย Microsoft Visual Studio 2010 และจัดเก็บข้อมูลด้วย Microsoft SQL Server เพื่อรองรับการอัปโหลดเอกสาร การค้นหา การกำหนดสิทธิ์การเข้าถึง การตรวจสอบย้อนหลัง (Audit Trail) และการจัดทำรายงานผล

4) การทดสอบระบบ (Testing) ดำเนินการทดสอบระบบด้านการทำงาน (Functional Testing) การทำงานร่วมกันของโมดูล (Integration Testing) ความปลอดภัย (Security Testing) และสมรรถนะของระบบ (Performance Testing) โดยใช้เครื่องมือ Apache JMeter เพื่อประเมินเวลาตอบสนองของระบบ (Response Time) ความสามารถ

ในการรองรับธุรกรรม (Throughput) และเสถียรภาพของระบบภายใต้สถานการณ์จำลองการใช้งานหลายผู้ใช้พร้อมกัน

5) การติดตั้งและประเมินผล (Deployment and Evaluation) หลังจากการพัฒนาระบบเสร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยนำระบบไปทดลองใช้งานในสภาพแวดล้อมขององค์กร พร้อมเก็บข้อมูลเพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน และศึกษาการยอมรับการใช้งานจากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 250 คน

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ 1) แบบประเมินประสิทธิภาพของระบบ โดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 คน ซึ่งมีวิธีการคัดเลือกแบบเจาะจงคุณสมบัติสำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาเอกในสาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ เทคโนโลยีดิจิทัล นวัตกรรมดิจิทัล หรือสาขาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง และมีตำแหน่งทางวิชาการไม่ต่ำกว่า ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ในสาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ หรือสาขาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง และต้องมีประสบการณ์การสอน ในระดับอุดมศึกษาในสาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ สาขาเทคโนโลยีดิจิทัล หรือสาขาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องไม่ต่ำกว่า 5 ปี โดยทำการประเมินครอบคลุม 5 ด้าน ได้แก่ ด้านการใช้งาน ด้านฟังก์ชันการทำงาน ด้านความปลอดภัย ด้านการตอบสนอง และความเสถียร และด้านผลลัพธ์การใช้งาน 2) แบบสอบถามการยอมรับการใช้งานระบบ โดยอ้างอิงตามแบบจำลองการยอมรับเทคโนโลยี (Technology Acceptance Model: TAM)^{10,11} ครอบคลุม 4 ด้าน ได้แก่ การรับรู้ความง่ายในการใช้งาน การรับรู้ประโยชน์ ทัศนคติต่อการใช้งาน และความตั้งใจใช้งาน เครื่องมือทั้งสองส่วนใช้มาตราส่วนประมาณค่าแบบลิเคิร์ต (Likert Scale) 5 ระดับ

การสร้างและหาคุณภาพเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ผู้วิจัยได้ดำเนินการสร้างเครื่องมือ โดยศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จากนั้นนำมาสร้างข้อคำถามให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการวิจัยการตรวจสอบความเที่ยงตรงของเนื้อหา (Content Validity) ดำเนินการโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 คน ซึ่งมีวิธีการคัดเลือกแบบเจาะจง คุณสมบัติเป็นผู้เชี่ยวชาญด้านการพัฒนาเทคโนโลยีดิจิทัล พัฒนา

นวัตกรรมดิจิทัล หรือด้านอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง สำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาเอกในสาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ เทคโนโลยีดิจิทัล นวัตกรรมดิจิทัล หรือสาขาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง หรือมีตำแหน่งทางวิชาการไม่ต่ำกว่าผู้ช่วยศาสตราจารย์ในสาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ หรือ สาขาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง และมีประสบการณ์การสอนในระดับอุดมศึกษา ในสาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ สาขาเทคโนโลยีดิจิทัล หรือสาขาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องไม่ต่ำกว่า 3 ปี เพื่อพิจารณาความสอดคล้องของข้อคำถามกับวัตถุประสงค์ของการวิจัย และปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะ ซึ่งผลการตรวจสอบความเที่ยงตรงของเนื้อหา พบว่าค่า IOC อยู่ระหว่าง 0.67-1.00 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ 0.50

นอกจากนี้ ได้มีการทดสอบความเชื่อมั่นของเครื่องมือ (Reliability) โดยใช้ ค่า สัมประสิทธิ์ แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's Alpha) ซึ่งพบว่ามีความมากกว่า 0.70 ในทุกด้าน แสดงให้เห็นว่าเครื่องมือมีความเชื่อมั่นในระดับที่ยอมรับได้

การเก็บรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 250 คน โดยใช้แบบสอบถามการยอมรับการใช้งานระบบ และเก็บข้อมูลการประเมินประสิทธิภาพจากผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 คน ข้อมูลที่ได้ถูกนำมาวิเคราะห์โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เพื่อประเมินระดับความคิดเห็นและสรุปผลการวิจัย

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

1) ค่าเฉลี่ย (Mean) ใช้สำหรับวิเคราะห์ระดับความคิดเห็นของกลุ่มตัวอย่าง

2) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: S.D.)

ใช้สำหรับวิเคราะห์การกระจายของข้อมูล โดยกำหนดเกณฑ์การแปลผลตามระดับมาตราส่วนลิเคิร์ต 5 ระดับ

คะแนนค่าเฉลี่ย 4.21-5.00 หมายถึง มากที่สุด

คะแนนค่าเฉลี่ย 3.41-4.20 หมายถึง มาก

คะแนนค่าเฉลี่ย 2.61-3.40 หมายถึง ปานกลาง

คะแนนค่าเฉลี่ย 1.81-2.60 หมายถึง น้อย

คะแนนค่าเฉลี่ย 1.00-1.80 หมายถึง น้อยที่สุด

ผลการวิจัย

ผลการวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ (1) ผลการพัฒนาระบบ (2) ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบ และ (3) ผลการศึกษาการยอมรับการใช้งานของผู้ใช้

1) ผลการพัฒนาระบบ: ระบบบันทึกเอกสารควบคุมที่พัฒนาขึ้นในรูปแบบ Web Application สามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ โดยมีฟังก์ชันหลัก ได้แก่ (1) การบันทึกและอัปโหลดเอกสาร (Document Upload) (2) การสร้างค่าแฮชของเอกสารและบันทึกลงบล็อกเชน (Hashing & Blockchain Record) (3) การกำหนดสิทธิ์การเข้าถึงข้อมูล (Access Control) (4) การค้นหา และเรียกดูเอกสาร (Search & Retrieval) (5) การตรวจสอบประวัติเอกสารย้อนหลัง (Audit Trail) (6) การสำรองข้อมูล (Backup) และ (7) การวิเคราะห์ และรายงานผล (Reporting) ระบบรองรับการตรวจสอบย้อนหลังผ่านค่าแฮช และข้อมูลเวลา (Timestamp) ทำให้ข้อมูลไม่สามารถแก้ไขย้อนหลังได้โดยมิชอบ

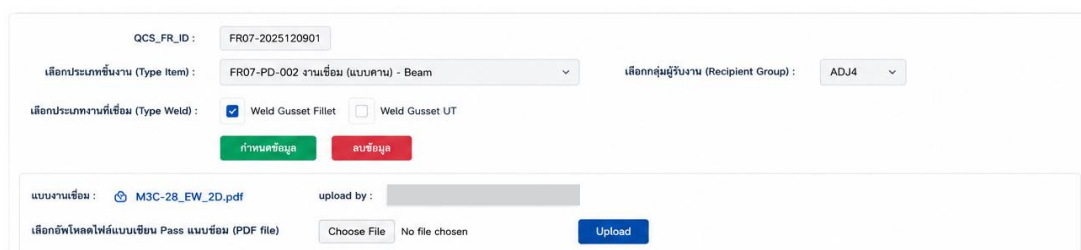


Figure 4. Document upload interface

Figure 4 แสดงหน้าจอการอัปโหลดเอกสารเข้าสู่ระบบบันทึกเอกสารควบคุม โดยผู้ใช้งานสามารถเลือก

ประเภทเอกสาร กำหนดข้อมูลที่เกี่ยวข้อง และอัปโหลดไฟล์เอกสารเข้าสู่ระบบผ่าน Web Application ภายใต้สิทธิ์การ

เข้าถึงที่กำหนดไว้ในระบบ หลังจากผู้ใช้งานบันทึกข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ระบบจะดำเนินการจัดเก็บข้อมูลเอกสารลงในฐานข้อมูล พร้อมทั้งสร้างค่าแฮช (Hash Value) สำหรับใช้ตรวจสอบความถูกต้องของเอกสาร และบันทึกข้อมูลธุรกรรม

ที่เกี่ยวข้องลงในเครือข่ายโพรโทคอลบล็อกเชน เพื่อรองรับการตรวจสอบย้อนหลัง (Audit Trail) และป้องกันการแก้ไขข้อมูลโดยมิชอบ

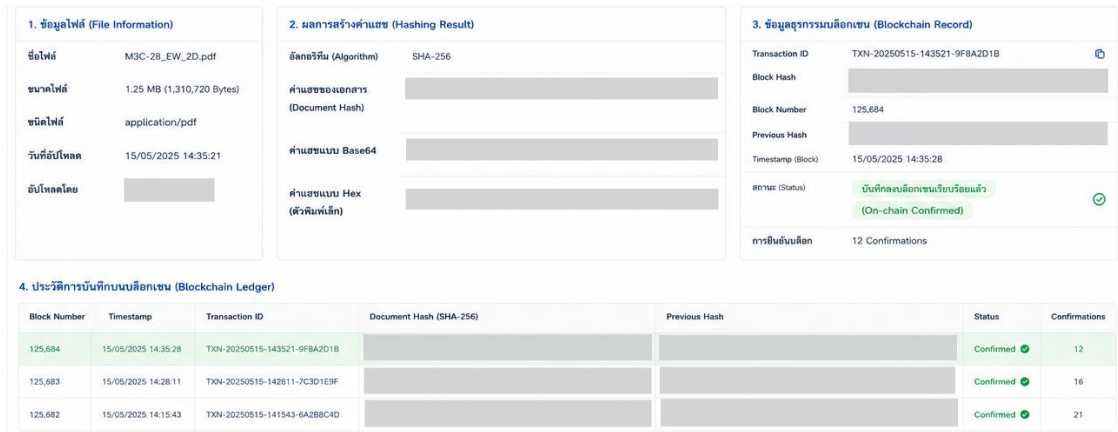


Figure 5. Results of SHA-256 hash generation and blockchain record storage

Figure 5 แสดงผลการสร้างค่าแฮช (SHA-256) และการบันทึกข้อมูลลงในระบบ หลังจากผู้ใช้งานอัปโหลดเอกสารเข้าสู่ระบบ ระบบจะดำเนินการสร้างค่าแฮชของเอกสารด้วยอัลกอริทึม SHA-256 เพื่อใช้เป็นลายนิ้วมือดิจิทัล (Digital Fingerprint) สำหรับตรวจสอบความถูกต้องของเอกสาร โดยจะแสดงผลค่าแฮชในรูปแบบต่าง ๆ ได้แก่ Document Hash, Base64 Hash และ Hex Hash จากนั้นระบบจะบันทึกข้อมูลธุรกรรมลงในเครือข่ายโพรโทคอลบล็อกเชน พร้อมกำหนดหมายเลขธุรกรรม (Transaction ID) หมายเลขบล็อก (Block Number) ค่า Block Hash ค่า Previous Hash และข้อมูลเวลา (Timestamp) เพื่อเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างบล็อก และรองรับการตรวจสอบย้อนหลังได้อย่างโปร่งใส นอกจากนี้ ระบบยังแสดงประวัติการบันทึกข้อมูลบนบล็อกเชน (Blockchain Ledger) เพื่อให้สามารถตรวจสอบสถานะการยืนยันธุรกรรม (Confirmation Status) และความถูกต้องของข้อมูลได้ตลอดเวลา

Figure 6 แสดงฟังก์ชันค้นหาและเรียกดูเอกสารของระบบบันทึกเอกสารควบคุม โดยผู้ใช้งานสามารถค้นหาเอกสารจากรหัสเอกสาร FR07-20251209001 รวมถึงเงื่อนไขอื่น ๆ เช่น ชื่อเอกสาร ประเภทเอกสาร สถานะเอกสาร และวันที่จัดเก็บข้อมูล ระบบจะแสดงผลรายการเอกสารที่ตรงกับเงื่อนไขการค้นหา พร้อมรายละเอียดของเอกสาร เวอร์ชัน วันที่บันทึก และสถานะการใช้งาน นอกจากนี้ ผู้ใช้งานสามารถเรียกดูรายละเอียดของเอกสาร ข้อมูลการสร้างค่าแฮช (SHA-256) และข้อมูลธุรกรรมที่ถูกบันทึกไว้บนเครือข่ายโพรโทคอลบล็อกเชน เช่น Transaction ID, Block Number, Block Hash และ Timestamp ได้จากหน้าจอเดียวกัน ซึ่งช่วยเพิ่มความสะดวกในการค้นหาข้อมูลระยะเวลาในการตรวจสอบเอกสาร และเพิ่มความสามารถในการตรวจสอบย้อนหลังของข้อมูลภายในองค์กร

รหัสเอกสาร (Document ID)

FR07-20251209001

ชื่อเอกสาร (Document Title)

ค้นหาชื่อเอกสาร

ประเภทเอกสาร (Type Document)

ทั้งหมด

เลือกกลุ่มผู้รับงาน (Recipient Group)

ทั้งหมด

ช่วงวันที่อัปโหลด (Upload Date)

วันที่เริ่มต้น

ถึง

วันที่สิ้นสุด

สถานะ (Status)

ทั้งหมด

ค้นหา

ล้างค่า

ผลการค้นหา (1 รายการ)

รหัสเอกสาร	ชื่อเอกสาร	ประเภทเอกสาร	เวอร์ชัน	วันที่อัปโหลด	สถานะ
FR07-20251209001	งานเชื่อม (แนบตาม) - Beam	แบบฟอร์ม (Form)	1.0	09/12/2025 10:25:14	ใช้งาน (Active)

รายละเอียดเอกสาร

ประวัติการดำเนินงาน (Audit Trail)

PDF File

FR07-PD-002 งานเชื่อม (แนบตาม) - Beam

ขนาดไฟล์: 1.25 MB (1,310,720 Bytes)

อัปโหลดโดย: [Redacted]

วันที่อัปโหลด: 09/12/2025 10:25:14

เปิดดูเอกสาร

ดาวน์โหลด

ข้อมูลไฟล์

ข้อมูลธุรกรรมบนบล็อกเชน (Blockchain Record)

Transaction ID (TXID)	TXN-20251209-102514-7F385E19
Block Hash	[Redacted]
Block Number	134,892
Previous Hash	[Redacted]
Timestamp (Block)	09/12/2025 10:25:15
สถานะ (Status)	บันทึกบนบล็อกเชนเรียบร้อยแล้ว (On-chain Confirmed)
การยืนยันบล็อก (Confirmations)	24 Confirmations

ประวัติการบันทึกบนบล็อกเชน (Blockchain Ledger)

Block Number	Timestamp	Transaction ID	Document Hash (SHA-256)	Previous Hash	Status	Confirmations
134,892	09/12/2025 10:25:15	TXN-20251209-102514-7F385E19	[Redacted]	[Redacted]	Confirmed	24
134,891	09/12/2025 10:18:42	TXN-20251209-101842-3C6A7D21	[Redacted]	[Redacted]	Confirmed	25
134,890	09/12/2025 10:12:09	TXN-20251209-101209-8D2E6C34	[Redacted]	[Redacted]	Confirmed	26

Figure 6. Document search and retrieval interface

รหัสเอกสาร (Document ID)

FR07-20251209001

ชื่อเอกสาร (Document Title)

งานเชื่อม (แนบตาม) - Beam

ประเภทเอกสาร (Type Document)

แบบฟอร์ม (Form)

เวอร์ชัน (Version)

1.0

ผู้สร้างเอกสาร (Created by)

[Redacted]

วันที่อัปโหลด (Upload Date)

09/12/2025 10:25:14

สถานะ (Status)

ใช้งาน (Active)

ข้อมูลธุรกรรมบนบล็อกเชน (Blockchain Record)

Transaction ID (TXID)	TXN-20251209-102514-7F385E19
Block Hash	[Redacted]
Block Number	134,892
Timestamp (Block)	09/12/2025 10:25:15
สถานะ (Status)	บันทึกบนบล็อกเชนเรียบร้อยแล้ว (On-chain Confirmed)
การยืนยันบล็อก (Confirmations)	24 Confirmations

ช่วงวันที่ (Date Range)

09/12/2025

ถึง

20/05/2025

ประเภทกิจกรรม (Activity Type)

ทั้งหมด

ผู้ดำเนินการ (Performed by)

ทั้งหมด

ค้นหา (Search)

รีเซ็ต (Reset)

ประวัติการดำเนินงาน (Audit Trail Log)

ลำดับ (No.)	วันที่และเวลา (Timestamp)	ประเภทกิจกรรม (Activity Type)	รายละเอียดกิจกรรม (Activity Details)	ผู้ดำเนินการ (Performed by)	เวอร์ชัน (Version)	สถานะ (SHA-256)	Transaction ID (TXID)	Block Number	สถานะ (Status)
1	09/12/2025 10:25:14	สร้างเอกสาร (Created)	สร้างเอกสาร FR07-20251209001 เวอร์ชัน 1.0	(Document Controller)	1.0	[Redacted]	TXN-20251209-102514-7F385E19	134,892	ยืนยันแล้ว (Confirmed)
2	09/12/2025 10:28:11	แก้ไขเอกสาร (Updated)	แก้ไขเอกสารเวอร์ชัน 2.1	(Engineer)	1.1	[Redacted]	TXN-20251209-102811-3C6A7D21	134,893	ยืนยันแล้ว (Confirmed)
3	09/12/2025 10:31:05	แก้ไขเอกสาร (Updated)	แก้ไขรูปแบบตารางขนาดหน้าผก	(Engineer)	1.2	[Redacted]	TXN-20251209-103105-8D2E6C34	134,894	ยืนยันแล้ว (Confirmed)
4	09/12/2025 10:35:22	ส่งเอกสาร (Submitted)	ส่งเอกสารเวอร์ชัน 1.2 เพื่ออนุมัติ	(Engineer)	1.2	[Redacted]	TXN-20251209-103522-1A789E11	134,895	ยืนยันแล้ว (Confirmed)
5	09/12/2025 10:40:18	อนุมัติเอกสาร (Approved)	อนุมัติเอกสารเวอร์ชัน 1.2	(Quality Manager)	1.2	[Redacted]	TXN-20251209-104018-9B3D7E55	134,896	ยืนยันแล้ว (Confirmed)
6	15/05/2025 14:35:28	ดาวน์โหลดเอกสาร (Downloaded)	ดาวน์โหลดเอกสาร	(Welding Supervisor)	1.2	[Redacted]	-	-	สำเร็จ (Success)
7	20/05/2025 09:12:44	เรียกดูเอกสาร (Viewed)	เรียกดูรายละเอียดเอกสาร	(Welding Supervisor)	1.2	[Redacted]	-	-	สำเร็จ (Success)

Figure 7. Document audit trail and blockchain transaction history interface

Figure 7 แสดงฟังก์ชันตรวจสอบประวัติการดำเนินงานของเอกสาร สำหรับติดตาม และตรวจสอบกิจกรรมที่เกิดขึ้นกับเอกสารตลอดการใช้งาน โดยผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบข้อมูล การสร้างเอกสาร การแก้ไข การส่งอนุมัติ การอนุมัติ การดาวน์โหลด และการเรียกดูเอกสารได้

อย่างละเอียด ระบบจะแสดงข้อมูลวัน และเวลาที่ดำเนินการ ผู้ดำเนินการ ประเภทกิจกรรม เวอร์ชันของเอกสาร และสถานะของเอกสารในแต่ละช่วงเวลา นอกจากนี้ ระบบยังเชื่อมโยงข้อมูลกิจกรรมกับข้อมูลธุรกรรมบนเครือข่ายไฟเวท บล็อกเชน เช่น Transaction ID, Block Number,

Document Hash และ Timestamp ทำให้สามารถตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลย้อนหลังได้อย่างโปร่งใส และลดความเสี่ยงจากการแก้ไขข้อมูลโดยไม่ได้รับอนุญาต ฟังก์ชันดังกล่าวช่วยสนับสนุนการควบคุมเอกสาร การตรวจสอบภายใน และการปฏิบัติตามมาตรฐานระบบบริหารคุณภาพขององค์กรได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2) ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบ: ผู้วิจัยดำเนินการทดสอบสมรรถนะของระบบด้วยเครื่องมือ Apache JMeter ภายใต้สถานการณ์จำลองการใช้งานหลายผู้ใช้พร้อมกัน โดยทดสอบฟังก์ชันหลักของระบบ ได้แก่ การ

เข้าสู่ระบบ (Login) การเรียกดูข้อมูล (About) การจัดการเอกสาร (Main Receive Sheet) และการตรวจสอบเอกสาร (View Document) ผลการทดสอบพบว่า ระบบมีค่าการตอบสนองเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 4-5 มิลลิวินาที และมีอัตราความผิดพลาดเท่ากับร้อยละ 0.00 โดยมีค่า Throughput เฉลี่ย 198.2 requests per second แสดงให้เห็นว่าระบบมีความพร้อมต่อการใช้งานจริงภายในองค์กร โดยสามารถรองรับกระบวนการจัดการเอกสารที่มีการเข้าถึงพร้อมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ และไม่ส่งผลกระทบต่อความเร็วในการตอบสนองของระบบ ดัง Table 1

Table 1. Results of system performance testing using Apache Jmeter

Function	# Samples	Average (ms)	Max (ms)	Error (%)	Throughput
Login	200	5	12	0	199.4/sec
About	200	4	6	0	200.2/sec
MainReceiveSheet	200	4	6	0	199.4/sec
View_FR07-PD-002	200	4	9	0	200.4/sec
Total	800	4	12	0	198.2/sec

ผลการทดสอบดังกล่าวเป็นการวัดเวลาตอบสนองของระบบ Web Application ในระดับ HTTP Request โดยใช้ Apache JMeter ซึ่งมุ่งประเมินประสิทธิภาพการให้บริการของระบบในส่วนติดต่อผู้ใช้งาน และการประมวลผลตามคำขอของแอปพลิเคชัน ทั้งนี้ การทดสอบไม่ได้รวมระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการทำธุรกรรมบนบล็อกเชน (Blockchain Transaction) การตรวจสอบความถูกต้อง

ของบล็อก (Block Validation) หรือกระบวนการฉันทามติ (Consensus Process) ดังนั้น ค่าระยะเวลาตอบสนองที่ได้จึงสะท้อนประสิทธิภาพของระบบ Web Application เป็นหลัก

ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบ โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน พบว่า ระบบมีประสิทธิภาพโดยรวมอยู่ในระดับมาก โดยมีรายละเอียด ดัง Table 2

Table 2. Results of system efficiency evaluation

Efficiency Evaluation Aspect	(Mean)	(S.D.)	Level
1. Usability Efficiency	3.95	0.39	High
2. Functional Efficiency	4.05	0.51	High
3. Security Efficiency	4.10	0.72	High
4. Responsiveness and Stability Efficiency	3.85	0.37	High
5. Outcome Efficiency	4.10	0.55	High
Overall	4.01	0.52	High

จาก Table 2 พบว่า ประสิทธิภาพโดยรวมอยู่ในระดับมาก (Mean = 4.01, S.D. = 0.52) ด้านที่มีประสิทธิภาพสูงสุด คือ ด้านความปลอดภัย และด้านผลลัพธ์การใช้งานตามลำดับ รองลงมาคือ ด้านฟังก์ชันการใช้งาน ประสิทธิภาพการใช้งาน และการตอบสนองและความเสถียร แสดงให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีไพรเวทบล็อกเชน สำหรับบันทึกเอกสารควบคุมในองค์กร ระบบ

มีความมั่นคง ปลอดภัย และให้ผลลัพธ์ตรงตามความต้องการของผู้ใช้งาน

3) ผลการศึกษาการยอมรับการใช้งานระบบ: ผลการศึกษาการยอมรับ จากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 250 คน พบว่า ผู้ใช้งานมีการยอมรับระบบโดยรวมอยู่ในระดับมาก โดยมีรายละเอียด ดัง Table 3

Table 3. Results of user acceptance evaluation

User Acceptance Evaluation Aspect	(Mean)	(S.D.)	Level
1. Perceived Ease of Use of the Controlled Document Recording System	3.88	0.87	High
2. Perceived Usefulness of the Controlled Document Recording System	4.16	0.87	High
3. Attitude Toward Using the Controlled Document Recording System	4.04	0.86	High
4. Behavioral Intention to Use the Controlled Document Recording System	4.15	0.82	High
Overall	4.06	0.86	High

จาก Table 3 พบว่า ผลการประเมินโดยรวมอยู่ในระดับมาก (Mean = 4.06, S.D. = 0.86) ด้านที่มีการประเมินการยอมรับสูงสุด คือ การรับรู้ระบบบันทึกเอกสารควบคุมมีประโยชน์ รองลงมาคือ พฤติกรรมตั้งใจใช้งานระบบบันทึกเอกสารควบคุม ทศนคติต่อการใช้งานระบบบันทึกเอกสารควบคุม และการรับรู้ระบบบันทึกเอกสารควบคุมใช้งานง่าย แสดงให้เห็นว่าผู้ใช้งานรับรู้ถึงประโยชน์ของระบบ มีทัศนคติที่ดี และมีความตั้งใจในการนำระบบไปใช้งานจริง ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่สนับสนุนการยอมรับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีไพรเวทบล็อกเชนในการจัดการเอกสารควบคุมภายในองค์กรอย่างยั่งยืน

ผลลัพธ์ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถเพิ่มความน่าเชื่อถือของข้อมูล ลดความเสี่ยงจากการปลอมแปลงเอกสาร และสนับสนุนการทำงานขององค์กร ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบบันทึกเอกสารควบคุมโดยใช้เทคโนโลยีไพรเวทบล็อกเชน และประเมินทั้งประสิทธิภาพของระบบ และการยอมรับการใช้

งานของผู้ใช้ภายในองค์กร ผลการวิจัยพบว่า ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ และมีประสิทธิภาพโดยรวมอยู่ในระดับมาก (Mean = 4.01, S.D. = 0.52) โดยเฉพาะด้านความปลอดภัย และความสามารถในการตรวจสอบย้อนหลัง

ในเชิงอภิปรายผล การที่ระบบมีคะแนนด้านความปลอดภัยสูง สอดคล้องกับคุณลักษณะสำคัญของเทคโนโลยีบล็อกเชน ได้แก่ ความไม่สามารถแก้ไขข้อมูลย้อนหลัง (Immutability) และการตรวจสอบย้อนกลับ (Traceability) ซึ่งช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือของข้อมูล และลดความเสี่ยงจากการปลอมแปลง¹⁻³ อีกทั้งการใช้ไพรเวทบล็อกเชนยังเอื้อต่อการควบคุมสิทธิ์การเข้าถึงข้อมูลภายในองค์กรได้อย่างมีประสิทธิภาพ¹

ผลการศึกษาการยอมรับการใช้งาน พบว่า ผู้ใช้งานมีการยอมรับระบบโดยรวมอยู่ในระดับมาก (Mean = 4.06, S.D. = 0.86) โดยปัจจัยที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดคือการรับรู้ประโยชน์ของระบบ รองลงมาคือทัศนคติ และความตั้งใจใช้งาน ซึ่งสอดคล้องกับแบบจำลองการยอมรับเทคโนโลยี (Technology Acceptance Model: TAM)^{10,11} ที่ระบุว่าการ

รับรู้ประโยชน์ และความง่ายในการใช้งานเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อพฤติกรรมการใช้งานจริง

ถึงแม้ว่าผลการยอมรับการใช้งานโดยรวมจะอยู่ในระดับมาก แต่ด้านการรับรู้ว่าจะระบบบันทึกเอกสารควบคุมใช้งานง่าย มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด (Mean = 3.88) เมื่อเปรียบเทียบกับปัจจัยด้านอื่น เนื่องจากผู้ใช้งานส่วนใหญ่ยังไม่คุ้นเคยกับแนวคิดของเทคโนโลยีบล็อกเชน รวมถึงขั้นตอนการตรวจสอบค่าแฮช (Hash Value) และการตรวจสอบข้อมูลย้อนหลังผ่านระบบ ซึ่งต้องใช้ระยะเวลาในการเรียนรู้ และปรับตัว ส่งผลให้ผู้ใช้งานรับรู้ว่าจะระบบมีความซับซ้อนมากกว่าระบบจัดการเอกสารแบบเดิม อย่างไรก็ตาม ค่าเฉลี่ยดังกล่าวยังคงอยู่ในระดับมาก แสดงให้เห็นว่าผู้ใช้งานสามารถปรับตัว และยอมรับการใช้งานระบบได้เป็นอย่างดี

ผลการวิจัยครั้งนี้มีความสอดคล้องกับ Das และคณะ⁴ ซึ่งพบว่าการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีบล็อกเชนร่วมกับระบบจัดการเอกสารสามารถช่วยลดความเสี่ยงจากการปลอมแปลงเอกสาร และเพิ่มความปลอดภัยของข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับ Kothari และคณะ⁵ ที่รายงานว่า การนำบล็อกเชนมาใช้ในระบบจัดการเอกสารช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือของข้อมูล และประสิทธิภาพในการจัดเก็บเอกสารภายในองค์กร สอดคล้องกับ Qardashov และ Ahmedli⁶ ที่พบว่าเทคโนโลยีบล็อกเชนสามารถเพิ่มความปลอดภัย ความโปร่งใส และความสามารถในการตรวจสอบย้อนหลังของเอกสารดิจิทัลได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะในกระบวนการจัดการเอกสารอิเล็กทรอนิกส์และการจัดเก็บเอกสารดิจิทัลภายในองค์กร

โดยงานวิจัยนี้มีความแตกต่างจากงานวิจัยที่ผ่านมา เนื่องจากมุ่งเน้นการประยุกต์ใช้ไพรเวทบล็อกเชน (Private Blockchain) สำหรับระบบเอกสารควบคุมภายในองค์กร อุตสาหกรรมการผลิตโครงสร้างเหล็ก ซึ่งมีข้อกำหนดด้านการอนุมัติเอกสาร การกำหนดสิทธิ์การเข้าถึงข้อมูล และการตรวจสอบย้อนหลังที่เข้มงวด ส่งผลให้ระบบที่พัฒนาขึ้น

สามารถตอบสนองต่อบริบทการใช้งานจริงภายในองค์กรได้อย่างเหมาะสม

นอกจากนี้ ผลการวิจัยยังพบว่าการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีบล็อกเชนในระบบเอกสารช่วยเพิ่มความโปร่งใสของข้อมูล ลดความซ้ำซ้อนของกระบวนการ และเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงานขององค์กร

โดยสรุป ระบบบันทึกเอกสารควบคุมโดยใช้เทคโนโลยีไพรเวทบล็อกเชนที่พัฒนาขึ้นมีศักยภาพในการนำไปประยุกต์ใช้งานจริง โดยช่วยเพิ่มความปลอดภัย ความโปร่งใส และประสิทธิภาพในการจัดการเอกสารภายในองค์กร ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีไพรเวทบล็อกเชนร่วมกับระบบเอกสารควบคุมภายในองค์กร อุตสาหกรรมการผลิตโครงสร้างเหล็ก สามารถสนับสนุนการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลผ่านกลไกการสร้างค่าแฮช (SHA-256) และการบันทึกข้อมูลบนเครือข่าย MultiChain ทำให้ข้อมูลเอกสารมีความน่าเชื่อถือ สามารถตรวจสอบย้อนหลังได้ และลดความเสี่ยงจากการแก้ไขข้อมูลโดยไม่ได้รับอนุญาต

นอกจากนี้ งานวิจัยยังแสดงให้เห็นแนวทางการประยุกต์ใช้ไพรเวทบล็อกเชนสำหรับระบบเอกสารควบคุมภายในองค์กรอุตสาหกรรมการผลิต ซึ่งเป็นบริบทที่ยังมีการศึกษาในจำนวนจำกัด โดยผลการศึกษานี้สามารถใช้เป็นแนวทางสำหรับการออกแบบ และพัฒนาระบบเอกสารควบคุมที่ต้องการความปลอดภัย ความโปร่งใส และความสามารถในการตรวจสอบย้อนหลังในองค์กรอุตสาหกรรมอื่น ๆ ที่มีลักษณะการดำเนินงานใกล้เคียงกัน

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

- 1) องค์กรสามารถนำผลการวิจัยไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาระบบบันทึกเอกสารควบคุมโดยใช้เทคโนโลยีบล็อกเชนเพื่อเพิ่มความปลอดภัย ความถูกต้อง และความโปร่งใสของข้อมูลเอกสารภายในองค์กร
- 2) ผู้บริหารสามารถใช้ผลการประเมินประสิทธิภาพ และการยอมรับการใช้งานระบบเป็นข้อมูลประกอบการ

ตัดสินใจในการวางแผน และลงทุนด้านเทคโนโลยีสารสนเทศให้สอดคล้องกับบริบทขององค์กร

3) หน่วยงานที่มีลักษณะการดำเนินงานใกล้เคียงกันสามารถนำรูปแบบ และแนวทางจากงานวิจัยนี้ไปปรับใช้เป็นต้นแบบ เพื่อยกระดับการจัดการเอกสาร และลดความเสี่ยงจากการแก้ไข หรือปลอมแปลงข้อมูล

ข้อเสนอแนะในการศึกษาวิจัยครั้งต่อไป

1) ควรมีการศึกษาวิจัยระบบบันทึกเอกสารควบคุมโดยใช้เทคโนโลยีบล็อกเชนในกลุ่มอุตสาหกรรมอื่น ๆ หรือองค์กรที่มีลักษณะที่แตกต่างกัน เพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์และความเหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้งานจริง

2) ควรมีการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบบันทึกเอกสารควบคุมโดยใช้เทคโนโลยีบล็อกเชน เพิ่มเติมในด้านความสามารถในการรองรับผู้ใช้งานจำนวนมาก ความเร็วในการประมวลผล และต้นทุนในการดูแลรักษาระบบในระยะยาว เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพ

ข้อจำกัดงานวิจัย

1) การวิจัยครั้งนี้ดำเนินการศึกษาในองค์กรเพียงแห่งเดียว ซึ่งเป็นองค์กรในอุตสาหกรรมการผลิตโครงสร้างเหล็ก ดังนั้นผลการวิจัยอาจมีข้อจำกัดในการอ้างอิงไปยังองค์กรหรืออุตสาหกรรมประเภทอื่น ๆ ที่มีลักษณะการดำเนินงานแตกต่างกัน

2) ระบบที่พัฒนาขึ้นใช้แพลตฟอร์มไพรเวทบล็อกเชน MultiChain เพียงแพลตฟอร์มเดียว จึงยังไม่ได้มีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับแพลตฟอร์มบล็อกเชนประเภทอื่น เช่น Hyperledger Fabric หรือ Ethereum

3) การประเมินประสิทธิภาพของระบบดำเนินการภายใต้สภาพแวดล้อมการใช้งานภายในองค์กรเท่านั้น และจำนวนผู้ใช้งานอยู่ในขอบเขตที่กำหนด จึงยังไม่ได้ศึกษาประสิทธิภาพของระบบภายใต้ปริมาณเอกสาร หรือจำนวนผู้ใช้งานในระดับองค์กรขนาดใหญ่

4) การประเมินผลกรายยอมรับการใช้งานระบบ ยังต้องอาศัยข้อมูลจากแบบสอบถามของผู้ใช้งานภายในองค์กร ซึ่งเป็นการสะท้อนความคิดเห็นในช่วงเวลาที่ทำการศึกษา และอาจเปลี่ยนแปลงได้ตามประสบการณ์การใช้งานในระยะยาว

5) การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มุ่งเน้นการบันทึก และตรวจสอบเอกสารควบคุมโดยใช้เทคโนโลยีบล็อกเชน แต่ยังไม่ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอื่นร่วมกัน เช่น Digital Signature ซึ่งอาจช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการอนุมัติ และตรวจสอบเอกสารได้มากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

1. Casino F, Dasaklis TK, Patsakis C. A systematic literature review of blockchain-based applications. *Telemat Inform* 2019;36:55-81.
2. Nakamoto S. Bitcoin: a peer-to-peer electronic cash system [Internet]. 2008 [cited 2024 Oct 10]. Available from: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>
3. Zheng Z, Xie S, Dai H, Chen X, Wang H. An overview of blockchain technology: architecture, consensus, and future trends. In: *Proceedings of the IEEE International Congress on Big Data*; 2017. p. 557-64.
4. Das M, Tao X, Liu Y, Cheng JCP. A blockchain-based integrated document management framework for construction applications. *Autom Constr* 2022;133:104001.
5. Kothari A, Sharma R, Gupta V. Implementation of blockchain-based document management system for higher education organizations. *Int J Inf Manag Data Insights* 2024;4:100231.
6. Qardashov R, Ahmedli J. The blockchain technologies and document management in library environment. *Akademik Tarih ve Düşünce Dergisi* 2025;12:966-82.
7. เจษฎา สรณวิษ. การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีบล็อกเชนในศาลยุติธรรมไทย [วิทยานิพนธ์ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต]. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยสยาม; 2564.
8. Kendall KE, Kendall JE. *Systems analysis and design*. 10th Global ed. Harlow: Pearson; 2020.

9. Greenspan G. MultiChain private blockchain white paper [Internet]. 2019 [cited 2024 Oct 10]. Available from: <https://www.multichain.com/download/MultiChain-White-Paper.pdf>
10. Davis FD. Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology MIS Q 1989;13:319-40.
11. Venkatesh V, Davis FD. A theoretical extension of the technology acceptance model: four longitudinal field studies. Manage Sci 2000;46:186-204.

ความท้าทายในการออกแบบระบบประเมินผลการปฏิบัติงานภาครัฐ: บทวิเคราะห์ประเด็นปัญหา UX/UI และผลกระทบต่อบุคลากร

Challenges in Designing Performance Evaluation Systems for Public Sector: An Analysis of UX/UI Issues and Impacts on Personnel

พันธ์ศักดิ์ พึ่งงาม

Phansak Phungngam

คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

Faculty of Management Science, Thepsatri Rajabhat University.

Phansak.p@lawasri.tru.ac.th

Received: 13 January 2026 /Revised: 15 May 2026 /Accepted: 18 May 2026

บทคัดย่อ

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้วิเคราะห์ปัญหา UX/UI ของระบบประเมินผลการปฏิบัติงานดิจิทัลในสถาบันอุดมศึกษาภาครัฐโดยอาศัยกรอบแนวคิด Nielsen's Usability Heuristics และทฤษฎี User-Centered Design (UCD) ผลการศึกษพบปัญหาหลัก 4 ประการ ได้แก่ (1) UI ซับซ้อนไม่สอดคล้องกับหลัก Usability ก่อความสับสนในการใช้งาน (2) ข้อมูลซ้ำซ้อนจากการขาดการเชื่อมโยงระบบ (3) ขาดความยืดหยุ่นในการเข้าถึง (4) ขาดกระบวนการรับฟังผู้ใช้ ส่งผลให้ภาระงานเพิ่มขึ้น 2-3 เท่า ความเครียดสูง และการยอมรับระบบต่ำ การศึกษาเสนอแนวทางแก้ไขโดยยึดหลัก Human-Centered Design เริ่มจากการทำความเข้าใจผู้ใช้ Co-design และ Usability Testing เสนอแนะระยะสั้นปรับปรุง UI และเพิ่มระบบ Feedback ระยะกลางพัฒนาการเชื่อมโยงข้อมูลและความยืดหยุ่น ระยะยาวพัฒนาศักยภาพทีมผู้พัฒนาและสร้างความสำคัญต่อประสบการณ์ผู้ใช้ เพื่อบรรลุเป้าหมายการเพิ่มประสิทธิภาพอย่างแท้จริง

คำสำคัญ: ระบบประเมินผลการปฏิบัติงาน UX/UI Design ความสามารถในการใช้งาน สถาบันอุดมศึกษาภาครัฐ

Abstract

This study analyzes UX/UI problems of a digital performance appraisal system in a public higher education institution using Nielsen's Usability Heuristics and User-Centered Design (UCD) theory. The research identified four major issues: (1) Complex UI that violates usability principles, causing confusion during usage; (2) Duplicate data entry resulting from lack of system integration; (3) Inflexibility in system accessibility; and (4) Absence of user feedback mechanisms. These problems resulted in increased workload by 2-3 times, high stress levels, and low system acceptance. The study proposes solutions grounded in Human-Centered Design principles, beginning with user understanding, co-design processes, and usability testing. Short-term recommendations include UI simplification and enhanced feedback systems. Medium-term strategies involve developing data integration and system flexibility. Long-term approaches focus on building development team capabilities and prioritizing user experience to achieve genuine performance improvements.

Keywords: Performance Evaluation System, UX/UI Design, Personnel Impact, public higher education institutions

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

บริบทของการดิจิทัลทรานส์ฟอร์เมชันในภาคองค์กรไทย

การพัฒนากระบวนการสารสนเทศเพื่อบริหารจัดการองค์กรเกิดจากความจำเป็นในการปรับโครงสร้างและกระบวนการทำงานให้สอดคล้องกับบริบทเศรษฐกิจและเทคโนโลยีที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว โดยเน้นเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารข้อมูล การตัดสินใจ และการประสานงานให้มีความรวดเร็ว โปร่งใส และแม่นยำ นี่คือนโยบายที่องค์กรดิจิทัลในยุคปัจจุบันใช้ระบบสารสนเทศเป็นกลไกหลักในการบริหาร โดยยึดหลักการใช้ข้อมูลเป็นฐานในการตัดสินใจเชิงกลยุทธ์ และเน้นให้บุคลากรมีบทบาทสำคัญในการขับเคลื่อนองค์กร ในปี 2566 หลายองค์กรได้ประกาศแผนยุทธศาสตร์การเปลี่ยนผ่านสู่ระบบดิจิทัล (พ.ศ. 2566-2570)¹ เพื่อยกระดับประสิทธิภาพการบริหาร เพิ่มความโปร่งใสข้อมูล และพัฒนาองค์กรสู่สถาบันขับเคลื่อนด้วยข้อมูล (Data-Driven Organization) โดยมียุทธศาสตร์หลัก 4 ด้าน คือ (1) บูรณาการระบบสารสนเทศภายใน (2) ปรับปรุงกระบวนการด้วยอัตโนมัติและ AI (3) สร้างมูลค่าเพิ่มจากข้อมูลและนวัตกรรม และ (4) ส่งเสริมวัฒนธรรมดิจิทัลและการมีส่วนร่วมของบุคลากรเพื่อเตรียมความพร้อมต่อสภาพแวดล้อมดิจิทัลเต็มรูปแบบ

การดำเนินงานตามยุทธศาสตร์มุ่งพัฒนาระบบสารสนเทศหลัก เช่น ระบบบริหารฐานข้อมูลกลาง ระบบบริหารสิทธิ์ ระบบบริหารโครงการ และระบบสื่อสารและทำงานร่วมกัน ออกแบบภายใต้แนวคิด People-Centric Design ที่ยึดผู้ใช้เป็นศูนย์กลาง เพื่อให้เทคโนโลยีตอบโจทย์การทำงานจริง ลดภาระงาน เพิ่มความคล่องตัว อย่างไรก็ตาม การพัฒนายังเผชิญความท้าทาย ได้แก่ ความเหลื่อมล้ำด้านเทคโนโลยี ขาดมาตรฐานการจัดการข้อมูล ความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลง ข้อจำกัดด้านงบประมาณและทักษะ การขับเคลื่อนต้องอาศัยการสนับสนุนผู้บริหาร ความเข้าใจร่วม และการลงทุนในโครงสร้างพื้นฐาน องค์ความรู้ เพื่อให้การพัฒนาระบบเกิดผลอย่างยั่งยืน²

ความจำเป็นในการใช้ระบบประเมินผลการปฏิบัติงานดิจิทัล

ความจำเป็นในการใช้ระบบประเมินผลการปฏิบัติงานดิจิทัลเกิดจากความต้องการให้ระบบบริหารงานภาครัฐมีความสะดวก เข้าใจง่าย และตอบสนองความต้องการผู้ใช้ตามหลักการ User-Centered Design อย่างไรก็ตาม การพัฒนาระบบของภาครัฐไทยเผชิญความท้าทายจากการออกแบบที่ไม่สอดคล้องกับหลักการดังกล่าว ปัญหาหลักประกอบด้วย ความซ้ำซ้อนเนื่องจากแต่ละหน่วยงานออกแบบระบบตามแนวทางแตกต่างกัน การจัดเก็บข้อมูลซ้ำซ้อน การขาดมาตรฐานกลาง ผลกระทบส่งผลให้ UI/UX ไม่ดี ผู้ใช้สับสน หงุดหงิด การค้นหาข้อมูลยาก ขาดระบบ smart search และการควบคุมคุณภาพข้อมูล ประชาชนและบุคลากรภาครัฐต้องเสียเวลา ความพยายาม ความเชื่อมั่นลดลง ดังนั้น การประเมินผลการปฏิบัติงานดิจิทัลเป็นเครื่องมือสำคัญในการพัฒนาประสิทธิภาพผู้ใช้อย่างแท้จริง²

ปัญหาคุณภาพข้อมูลในระบบทะเบียนของสถาบันต่าง ๆ ที่ไม่เชื่อมโยงกับฐานข้อมูลกลางก่อให้เกิดความขัดแย้งร้ายแรง เช่น ส่งหมายเกณฑ์ทหารให้บุคคลที่เสียชีวิตแล้ว หรือแจกสินค้าสัญญาและสวัสดิการซ้ำซ้อน เหตุการณ์เหล่านี้สร้างความเดือดร้อนและทำให้ประชาชนสูญเสียความเชื่อใจในระบบราชการและดิจิทัล นอกจากนี้ยังนำมาซึ่งการใช้จ่ายงบประมาณแผ่นดินที่สิ้นเปลือง เช่น โครงการ CCTV ขององค์การบริหารส่วนจังหวัดเชียงใหม่ที่ซ้ำซ้อนกับหน่วยงานอื่น สูญเสียเงิน 21.05 ล้านบาท³

การออกแบบระบบที่ไม่เหมาะสมทำให้บุคลากรต้องป้อนข้อมูลซ้ำหลายครั้ง เพราะระบบไม่สามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลอัตโนมัติ ส่งผลให้ข้อผิดพลาดเพิ่มขึ้น ประชาชนรอคิวนาน ปัญหาเพิ่มเติมมาจาก Silo mentality ที่ทำให้หน่วยงานต่าง ๆ ยากต่อการประสานงานร่วมกัน สถานการณ์นี้ต้องการการเปลี่ยนแปลงเชิงระบบ โครงสร้าง และวัฒนธรรมอย่างทั่วถึง²

ในบริบทของมหาวิทยาลัยราชภัฏ การนำระบบประเมินผลการปฏิบัติงานดิจิทัลมาใช้เผชิญความท้าทาย

จากการออกแบบที่ไม่เน้นผู้ใช้เป็นศูนย์กลาง (User-Centered Design) ระบบมีการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้ (UI) ที่ซับซ้อน ไม่สอดคล้องกับหลักการ UX/UI ที่ดี ผลการศึกษาพบว่าบุคลากรประสบปัญหาการใช้งานอย่างมีนัยสำคัญ ปัญหาหลักมาจากการขาดการรับฟังเสียงของผู้ใช้งานจริง ผู้พัฒนาระบบไม่ยอมรับข้อเสนอแนะเกี่ยวกับจุดอ่อนของ UX/UI และผู้บริหารขาดความเข้าใจหลักการออกแบบที่เน้นผู้ใช้ ส่งผลให้ระบบไม่เชื่อมโยงกับระบบเดิมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้การป้อนข้อมูลซ้ำซ้อนอย่างรุนแรง³

ปัญหาสำคัญของระบบประเมินผลการปฏิบัติงานในมหาวิทยาลัยราชภัฏเกิดจากการออกแบบ UI/UX ที่ไม่ดี³ โครงสร้างหน้าจอซับซ้อน ข้อมูลมากเกินไป ปุ่มและเมนูวางตำแหน่งไม่สอดคล้องกัน ส่งผลให้บุคลากรสับสนและหงุดหงิด ระบบไม่ปฏิบัติตามหลัก Nielsen's Usability Heuristics⁹ โดยเฉพาะการแสดงผลสถานะระบบ ความยืดหยุ่นในการควบคุม และการให้ความช่วยเหลือที่เหมาะสม นอกจากนี้ ระบบขาดการเชื่อมโยงกับระบบเดิมของมหาวิทยาลัย ทำให้บุคลากรต้องป้อนข้อมูลเดียวกันหลายครั้งในระบบต่าง ๆ เพราะไม่สามารถดึงข้อมูลจากระบบทะเบียน สารบรรณ การเงิน เป็นต้น ส่งผลให้เกิดความซ้ำซ้อนอย่างรุนแรง บุคลากรแจ้งปัญหา 50 กว่าประการแต่ผู้พัฒนาไม่ยอมรับข้อเสนอแนะ ผู้บริหารก็ขาดความเข้าใจเกี่ยวกับความสำคัญของ UX/UI Design

ผลกระทบของการออกแบบไม่ดีนี้มีต่อบุคลากรอย่างมีนัยสำคัญในหลายด้าน³ ประการแรก ภาระงานเพิ่มขึ้น 2-3 เท่า เวลาที่ควรใช้กับงานหลักเช่นการสอน วิจัย บริการวิชาการลดลง กลายเป็นใช้กับงานเอกสารเพิ่มขึ้น ประการที่สอง บุคลากรเกิดความเครียด หงุดหงิด ท้อแท้ หดหู่กำลังใจ และอาจนำไปสู่ภาวะ Burnout ในระยะยาว ประการที่สาม คุณภาพและประสิทธิภาพการทำงานลดลง Work-Life Balance เสื่อม บุคลากรป้อนข้อมูลแบบผ่าน ๆ เพื่อให้เสร็จเร็ว ความผิดพลาดเพิ่มขึ้น ประการที่สี่ การยอมรับระบบต่ำ บุคลากรไม่ไว้วางใจ ไม่อยากใช้งาน พยายามหนีหรือใช้น้อยที่สุด ผู้บริหารบังคับ

ใช้ทำให้ความสัมพันธ์เสื่อม ประการที่ห้า ประเด็นจริยธรรม บุคลากรรู้สึกไม่ได้รับการเคารพและรับฟัง ส่งผลต่อแรงจูงใจในการทำงาน ผู้บริหารต้องสร้างกลไกการรับฟังข้อเสนอแนะจากผู้ใช้งาน เพื่อให้บุคลากรรู้สึกว่าความเห็นของพวกเขา มีค่า

สาเหตุของปัญหามาจากการที่ผู้พัฒนาระบบขาดความรู้และทักษะด้าน UX/UI Design ระบบถูกออกแบบจากมุมมองของผู้พัฒนาเพียงฝ่ายเดียว โดยไม่มีการศึกษา วิจัย หรือทำความเข้าใจความต้องการของผู้ใช้งานจริง (User Research) และไม่มีการทดสอบกับผู้ใช้ก่อนการนำไปใช้งาน (User Testing) นอกจากนี้ ผู้บริหารมหาวิทยาลัยขาดความเข้าใจเกี่ยวกับประโยชน์ของการออกแบบที่เน้นผู้ใช้เป็นศูนย์กลาง (Human-Centered Design) มองว่าถ้าระบบทำหน้าที่ได้ตามขั้นตอนก็ดีแล้วโดยไม่คำนึงถึงประสบการณ์ผู้ใช้หรือเวลาที่เสีย สาเหตุใหญ่ที่สุดคือการไม่มีการรับฟังเสียงผู้ใช้จริง แม้บุคลากรแจ้งปัญหาว่า 50 ประการแต่ผู้พัฒนาไม่ยอมรับปรับปรุง ผู้บริหารไม่เห็นประโยชน์ในการใช้งบประมาณเพิ่มเติม

บทความนี้มุ่งศึกษาปัญหา UX/UI ของระบบประเมินผลการปฏิบัติงานในสถาบันอุดมศึกษาภาครัฐ ซึ่งบุคลากรสายวิชาการและสายสนับสนุนต้องใช้งานเป็นประจำ โดยพบปัญหาด้านการออกแบบที่ไม่ตอบสนองความต้องการผู้ใช้ เช่น ขั้นตอนซับซ้อน หน้าตาไม่ชัดเจน ใช้งานยาก ส่งผลให้ผู้ใช้สูญเสียเวลาและประสิทธิภาพ วัตถุประสงค์คือ วิเคราะห์ปัญหา UX/UI ศึกษาผลกระทบต่อบุคลากร และเสนอแนวทางพัฒนาระบบตามหลัก User-Centered Design เพื่อให้ระบบรองรับพฤติกรรมและความต้องการผู้ใช้ได้ดียิ่งขึ้น ขอบเขตการศึกษารวมสถาบันอุดมศึกษาภาครัฐที่ใช้ระบบประเมินผล โดยเน้นบุคลากรสายวิชาการและสายสนับสนุนเป็นกลุ่มผู้ใช้งาน ประโยชน์ที่คาดหวังคือ ได้ข้อมูลเชิงลึกเพื่อปรับปรุงระบบ เสนอแนวทางการพัฒนาระบบใหม่ที่เน้นประสบการณ์ผู้ใช้ และเป็นแนวทางอ้างอิงสำหรับสถาบันอื่นเพื่อยกระดับคุณภาพระบบประเมินผลภาครัฐให้สอดคล้องกับความต้องการผู้ใช้

แนวคิด ทฤษฎีในการศึกษา

1. หลักการ User Experience (UX) และ User Interface (UI) Design

1.1 ความหมายและความสำคัญของ User Experience (UX) และ User Interface (UI) Design

User Experience (UX) และ User Interface (UI)⁴ เป็นแนวคิดสำคัญที่ทำงานประสานกันในการออกแบบผลิตภัณฑ์และบริการดิจิทัล UX หมายถึงประสบการณ์โดยรวมที่ผู้ใช้ได้รับจากการโต้ตอบกับผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เริ่มต้นจนจบ โดยสร้างประสบการณ์ที่ราบรื่น ตอบสนองความต้องการ ลดภาระ และสร้างความพึงพอใจ ขณะที่ UI คือส่วนที่ผู้ใช้มองเห็นและใช้ได้ตอบกับระบบโดยตรง เช่น ปุ่ม ไอคอน เมนู ทั้งสองส่วนจำเป็นต่อการสร้างผลิตภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพ หากการออกแบบ UI/UX ไม่ดี จะทำให้ผู้ใช้หงุดหงิด สับสน และเลิกใช้ระบบ

หลักการออกแบบ UX ที่ดีคือการเน้นผู้ใช้เป็นศูนย์กลาง (User-Centered Design)⁵ ประกอบด้วย (1) Focus on the User - โฟกัสที่ผู้ใช้เป็นหลัก รู้ว่าผู้ใช้ต้องการอะไร มีเป้าหมายอย่างไร มี Pain Point อะไร (2) Usability First - ระบบต้องใช้งานได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ (3) Consistency - ความคงเส้นคงวาในการออกแบบ เช่น ใช้สี ฟอนต์ องค์ประกอบที่เหมือนกัน (4) Context - คำนึงถึงบริบท ว่าผู้ใช้ใช้งานในสถานการณ์ใดบนอุปกรณ์ใด

1.2 ความแตกต่างระหว่างการออกแบบที่ดีและไม่ดี (Good Design vs. Bad Design)

การออกแบบที่ดี (Good Design) และการออกแบบที่ไม่ดี (Bad Design) แตกต่างพื้นฐานในการคำนึงถึงความต้องการผู้ใช้ การออกแบบที่ดีทำงานราบรื่น

จนไม่ต้องสังเกต สะดวกสบาย ช่วยให้ผู้ใช้บรรลุเป้าหมายรวดเร็ว ส่วนการออกแบบที่ไม่ดีทำให้สับสน หงุดหงิด ต้องใช้เวลา ความพยายาม ความเครียดมากขึ้น ปัญหาบ่อยในการออกแบบไม่ดี ได้แก่ Information Overload Mystery Meat Navigation การเพิ่มอุปสรรคที่ไม่จำเป็น และการใช้แอนิเมชันมากเกินไป ผลกระทบต่อผู้ใช้และหน่วยงาน คือความหงุดหงิด ท้อแท้ หดหู่ กังวล ความเครียดส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงาน การใช้เวลาและพลังงานเพิ่มขึ้น เสื่อมความเชื่อใจต่อระบบเทคโนโลยี ดังนั้น Nielsen's Usability Heuristics⁹ จึงมีบทบาทสำคัญในการแยกแยะว่าระบบออกแบบดีหรือไม่ดี หลักการเช่น Visibility of System Status การเชื่อมโยงระหว่างระบบและโลกความเป็นจริง User Control and Freedom Standards and Conventions Error Prevention ช่วยให้ผู้ออกแบบวัดและประเมินการออกแบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ⁸

ในบริบทของระบบสารสนเทศภาครัฐ เช่น ระบบประเมินผลการปฏิบัติงานของมหาวิทยาลัยราชภัฏ หลักการเหล่านี้ช่วยลดปัญหา UX/UI ตั้งแต่ระยะเริ่มต้น ตัวอย่างเช่น การแสดงสถานะการบันทึกข้อมูลช่วยให้บุคลากรมั่นใจว่าข้อมูลถูกจัดเก็บแล้ว การใช้ภาษาที่ใกล้เคียงกับการสื่อสารประจำวันแทนศัพท์เทคนิคช่วยลดความสับสน การให้ฟีดแบ็ก Undo ช่วยป้องกันข้อผิดพลาดได้ทันทีโดยไม่ต้องเริ่มใหม่ และความสม่ำเสมอของอินเตอร์เฟซช่วยลดเวลาในการเรียนรู้ ทั้งหมดนี้ส่งผลให้ระบบเป็นมิตรกับผู้ใช้จริง ซึ่งเป็นเหตุผลที่ Nielsen ยืนยันว่าหลักการเหล่านี้ยังคงมีประสิทธิภาพและเป็นพื้นฐานที่ไม่ล้าสมัยสำหรับการออกแบบที่เน้นผู้ใช้เป็นศูนย์กลาง⁹ สามารถเขียนเป็นแผนระบบงานและกระบวนการทำงานของระบบได้ดัง Figure 1

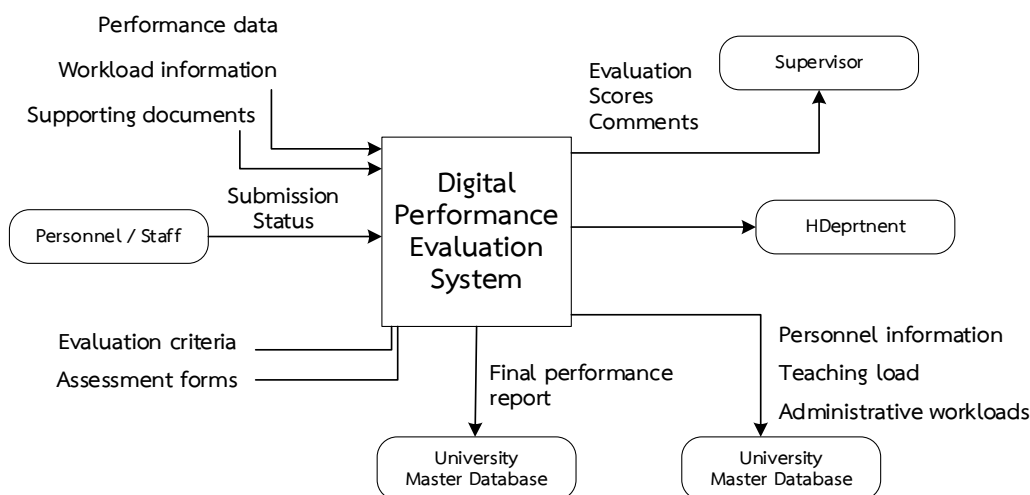


Figure 1 Digital Performance Evaluation System Diagram

ที่มา: ภาพประกอบโดยผู้เขียน จัดทำขึ้นเพื่อแสดงโครงสร้างการทำงานของระบบ *Digital Performance Evaluation System* เพื่อใช้ประกอบการศึกษาและพัฒนาแบบจำลองระบบสารสนเทศ

2. ระบบประเมินผลการปฏิบัติงานในภาครัฐ

การประเมินผลการปฏิบัติงานในสถาบันอุดมศึกษาภาครัฐเป็นกระบวนการสำคัญเพื่อวัดผลสัมฤทธิ์ว่าบรรลุเป้าหมายและประเมินคุณภาพงาน¹¹ ตามพระราชบัญญัติระเบียบข้าราชการพลเรือน พ.ศ. 2551 ผู้บังคับบัญชามีหน้าที่ประเมินบุคลากรเพื่อใช้ในการพิจารณาแต่งตั้ง เลื่อนเงินเดือน และพัฒนาประสิทธิภาพการปฏิบัติงาน การประเมินผลการปฏิบัติงานมีความสำคัญหลายด้าน คือเป็นเครื่องมือช่วยให้นักการบรรลุเป้าหมายตามวิสัยทัศน์ พันธกิจและวัตถุประสงค์อย่างมีประสิทธิภาพ สร้างความยุติธรรม พัฒนาบุคลากรและมีคุณค่าในการกำหนดนโยบาย อย่างไรก็ตามความสำเร็จขึ้นอยู่กับกรอบการออกแบบระบบที่เหมาะสม โดยเฉพาะด้านการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและหลัก User-Centered Design หากกรอบการออกแบบไม่ดีจะส่งผลเสียต่อบุคลากรและการบรรลุวัตถุประสงค์¹²

การนำระบบดิจิทัลเข้ามาใช้ในภาครัฐเป็นการปฏิรูปเชิงกลยุทธ์แต่เผชิญความท้าทายหลายประการ¹³ ได้แก่ ความท้าทายด้านโครงสร้างพื้นฐาน ระบบเครือข่ายและอุปกรณ์ไม่ทั่วถึง ทำทลายด้านบุคลากร ขาดแคลนผู้มีทักษะด้าน IT และดิจิทัล ทำทลายด้านโครงสร้างองค์กร ภาวะเปราะบางซับซ้อนและความแตกต่างของระดับทักษะ

ดิจิทัล ทำทลายด้านความไม่เชื่อมโยงระหว่างระบบและข้อมูล เพราะหน่วยงานดำเนินการแยกส่วนขาดบูรณาการและทำทลายด้านการออกแบบระบบเชิงผู้ใช้ (User-Centered Design) ระบบออกแบบไม่ดีทำให้ผู้ใช้หงุดหงิดและเพิ่มภาระงาน² รวมทั้งปัญหาความต่อเนื่องของนโยบาย แม้มีแผนพัฒนารัฐบาลดิจิทัล แต่ยังขาดการสนับสนุนและติดตามอย่างต่อเนื่องจากหน่วยงานภาครัฐ¹⁴

3. ปัญหาที่พบบ่อยในระบบสารสนเทศภาครัฐ

3.1 ปัญหาด้านการออกแบบ (Design Problems) ในระบบสารสนเทศภาครัฐ

ปัญหาด้านการออกแบบของระบบสารสนเทศในภาครัฐเกิดจากการขาดความเข้าใจเกี่ยวกับหลักการออกแบบที่เน้นผู้ใช้เป็นศูนย์กลาง (User-Centered Design) ปัญหาเชิงการออกแบบประกอบด้วย¹⁴ (1) ความซับซ้อนที่ไม่จำเป็น ระบบส่วนใหญ่พยายามให้ฟีเจอร์ครบถ้วนโดยไม่คำนึงว่าผู้ใช้จริงต้องการอะไร ส่งผลให้ลิงค์ปุ่ม เมนูมากจนเกินไป ทำให้ผู้ใช้สับสน (2) ขาดการเข้าใจผู้ใช้ ผู้ออกแบบส่วนใหญ่เป็นผู้เชี่ยวชาญด้านเทคนิค ไม่ใช่ด้านพฤติกรรมผู้ใช้ จึงออกแบบจากมุมมองของผู้พัฒนาแทนที่จะพิจารณาความต้องการของผู้ใช้ (3) ขาดการทดสอบกับผู้ใช้ก่อนเปิดใช้งาน เพราะงบประมาณและเวลาจัดสรรให้กับการทดสอบมีจำกัด

ความเสียหายจากการออกแบบที่ไม่ดี¹⁵ ได้แก่ (1) ผู้ใช้เวลา ความพยายาม ทรัพยากรมากขึ้น (Increased Friction) นำไปสู่การสิ้นเปลือง งบประมาณ เวลาการทำงาน ในสถาบันอุดมศึกษา บุคลากรต้องใช้เวลาจากงานหลักไปบนข้อมูลในระบบที่ออกแบบไม่ดี ส่งผลให้ประสิทธิภาพลดลง (2) การไม่ยอมรับระบบ (Low User Acceptance) ผู้ใช้หลีกเลี่ยงการใช้งาน หรือใช้น้อยที่สุด ส่งผลให้การลงทุนไม่คุ้มค่า (3) ผลกระทบต่อความเชื่อใจ เมื่อประสบการณ์ใช้ระบบแห่งหนึ่งไม่ดี บุคลากรจะสูญเสียความเชื่อใจในการใช้งานระบบสารสนเทศอื่น ๆ ของหน่วยงานในอนาคต ดังนั้น การให้ความสำคัญต่อการออกแบบระบบที่ดีและทำความเข้าใจผู้ใช้จึงถือเป็นการลงทุนที่จำเป็น ไม่ใช่เพียงแค่การบันทึกข้อมูล

3.2 ข้อมูลซ้ำซ้อนและภาระงาน (Duplicate Data Entry & Administrative Burden) ในระบบสารสนเทศภาครัฐ

ปัญหาข้อมูลซ้ำซ้อนและภาระงานเพิ่มเติม เป็นปัญหารูปแบบที่พบบ่อยในระบบสารสนเทศหน่วยงานภาครัฐ มีสาเหตุจากการขาดการเชื่อมโยงและบูรณาการข้อมูล บุคลากรต้องป้อนข้อมูลการทำงาน ผลงาน และข้อมูลส่วนตัวซ้ำซ้อนในระบบประเมินผล ระบบบริหารบุคลากร และระบบฐานข้อมูลอื่น ๆ ส่งผลให้สูญเสียเวลา แรงงาน และทรัพยากรจำนวนมาก¹⁶ ระบบที่ไม่ออกแบบตามหลัก User-Centered Design ยิ่งทำให้ร้ายแรง บุคลากรต้องใช้เวลาเรียนรู้ระบบหลายระบบ ด้วยวิธีการที่แตกต่างกัน ผลกระทบคือ ประสิทธิภาพลดลง ความเครียดเพิ่มขึ้น ข้อผิดพลาดในการป้อนข้อมูล และสำคัญที่สุดคือ ความไม่น่าเชื่อถือของข้อมูล เพราะข้อมูลในระบบต่าง ๆ อาจไม่ตรงกัน ทำให้เกิดปัญหาในการวิเคราะห์และตัดสินใจ ไทยต้องสร้างนโยบาย Data Integration Policy เพื่อบูรณาการข้อมูลภายใต้มาตรฐานเดียวกัน

3.3 การขาดการเชื่อมโยงระบบ (Lack of Interoperability) ในระบบสารสนเทศภาครัฐ

ปัญหาข้อมูลซ้ำซ้อนและภาระงานเพิ่มเติม เป็นปัญหารูปแบบที่พบบ่อยในระบบสารสนเทศหน่วยงาน

ภาครัฐ มีสาเหตุจากการขาดการเชื่อมโยงและบูรณาการข้อมูล เพราะหน่วยงานพัฒนาระบบแยกกันตามความต้องการของตนเองโดยไม่มีการประสานงานหรือกำหนดมาตรฐานข้อมูลที่สอดคล้องกัน ในระบบประเมินผลการปฏิบัติงาน บุคลากรจำเป็นต้องป้อนข้อมูลการทำงาน ผลงาน และข้อมูลส่วนตัวซ้ำซ้อนในระบบประเมินผล ระบบบริหารบุคลากร และระบบฐานข้อมูลอื่น ๆ ส่งผลให้สูญเสียเวลา แรงงาน และทรัพยากรอย่างมาก ภาระงานนี้ร้ายแรงยิ่งขึ้นเมื่อระบบต่าง ๆ ไม่ได้ออกแบบตามหลัก User-Centered Design เพราะบุคลากรต้องใช้เวลาเรียนรู้วิธีการใช้ระบบหลายระบบด้วยรูปแบบป้อนข้อมูลที่แตกต่างกัน ไทยต้องสร้างนโยบาย Data Integration Policy เพื่อเชื่อมโยงแลกเปลี่ยนข้อมูลภายใต้มาตรฐานชุดข้อมูลเดียวกัน

ผลกระทบจากปัญหาดังกล่าว ได้แก่ การเสื่อมลดประสิทธิภาพการปฏิบัติงาน ความเครียดและเหนื่อยใจของบุคลากร ความผิดพลาดในการป้อนข้อมูลจากการพิมพ์ซ้ำหลายครั้ง และที่สำคัญที่สุดคือ ความไม่น่าเชื่อถือของข้อมูล เนื่องจากข้อมูลในระบบต่าง ๆ อาจไม่ตรงกัน ทำให้เกิดปัญหาในการวิเคราะห์และตัดสินใจ

4. ผลกระทบต่อบุคลากร

4.1 ภาระงานและความเครียด (Workload & Stress) ต่อบุคลากรในสถาบันอุดมศึกษาภาครัฐ

ปัญหาภาระงานและความเครียดของบุคลากรจากการใช้ระบบสารสนเทศที่ออกแบบไม่ดีมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อสุขภาพจิตใจ สุขภาพกาย และความพึงพอใจในการทำงาน การวิจัยจาก Eagle Hill Consulting¹⁸ เปิดเผยว่า 65 เปอร์เซ็นต์ของเจ้าหน้าที่ภาครัฐรู้สึกเหนื่อยหน่ายเมื่อเทียบกับ 44 เปอร์เซ็นต์ในภาคเอกชน ภาระงานที่มากเกินไปคิดเป็น 43 เปอร์เซ็นต์ของการรู้สึกเหนื่อยหน่าย และ 86 เปอร์เซ็นต์ของบุคลากรที่เหนื่อยหน่ายกล่าวว่า ส่งผลต่อสุขภาพและความเป็นอยู่เป็นอย่างมาก ในสถาบันอุดมศึกษาภาครัฐไทย บุคลากรต้องใช้เวลาจากงานหลักไปบนข้อมูลซ้ำซ้อนในหลายระบบที่ยุ่งยากและซับซ้อน

ผลกระทบปรากฏในหลายด้าน ได้แก่ (1) ประสิทธิภาพการทำงาน 78 เปอร์เซ็นต์บอกว่าลดความมุ่งมั่น และ 71 เปอร์เซ็นต์บอกว่าลดผลการทำงาน (2) ความปรารถนาในการเดินหน้านงาน 57 เปอร์เซ็นต์ไม่อยากมีความเสี่ยงมากขึ้น และ 42 เปอร์เซ็นต์ต้องการออกจากตำแหน่ง (3) ความสัมพันธ์ระหว่างเพื่อนร่วมงาน 33 เปอร์เซ็นต์บอกว่าส่งผลต่อความสัมพันธ์กับสหาย (4) การคิดตัดสินใจและการทำงานร่วมกัน ความเครียดทำให้ผู้บริหารและบุคลากรต้องใช้พลังงานจัดการวิกฤตกังวลแทนที่จะสร้างสรรค์และสนับสนุนบุคลากรอื่น ดังนั้น การออกแบบระบบที่ดี ให้ความสนใจต่อประสบการณ์ผู้ใช้ และการบูรณาการระบบต่าง ๆ จึงมีความจำเป็นเพื่อลดภาระงานและความเครียดของบุคลากร¹⁹

4.2 ความเหนื่อยหน่าย (Burnout) ต่อบุคลากรในสถาบันอุดมศึกษาภาครัฐ

ภาวะเหนื่อยหน่าย (Burnout) เป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อบุคลากรในสถาบันอุดมศึกษาภาครัฐไทย โดยมีสามมิติหลัก¹² ได้แก่ ความเหนื่อยล้าทางอารมณ์ ความเหน็ดเหนื่อยและการตัดตัว และความรู้สึกขาดประสิทธิภาพ ในบริบทของการใช้ระบบสารสนเทศที่ออกแบบไม่ดี บุคลากรใช้พลังงานมากเกินไปป้อนข้อมูลซ้ำซ้อนและเรียนรู้ระบบยุ่งยากหลายระบบ จากข้อมูล คนกรุงเทพฯ 7 ใน 10 มีอาการหมดไฟในการทำงาน แสดงให้เห็นว่าปัญหานี้มีขนาดใหญ่และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

ปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมการทำงาน²⁰ เช่น ความยุ่งยากในการใช้ระบบ ความไม่สนับสนุนจากหัวหน้างาน และภาระงานที่มากเกินไป เป็นสาเหตุหลักของ Burnout อาการรวมถึงความเหนื่อยล้าทางอารมณ์ สูญเสียพลัง ขาดแรงจูงใจ ประสิทธิภาพลดลง และรู้สึกไร้ค่า ผลกระทบระยะยาวทำให้เกิดซึมเศร้า เครียดเรื้อรัง นอนไม่หลับ บุคลากรอาจ Quiet Quitting ส่งผลต่อผลประโยชน์สถาบัน ค่าใช้จ่ายมหาศาล การลดภาระงานออกแบบระบบที่เป็นมิตรผู้ใช้ การให้การสนับสนุน และสร้างสภาพแวดล้อมที่ดี จึงมีความสำคัญเชิงยุทธศาสตร์ต่อรักษาคุณภาพชีวิตและประสิทธิภาพของบุคลากร

4.3 ประสิทธิภาพการทำงานที่ลดลง (Decreased Productivity) ต่อบุคลากรในสถาบันอุดมศึกษาภาครัฐ

ประเด็นความลดลงของประสิทธิภาพการทำงาน (Decreased Productivity) ของบุคลากรในสถาบันอุดมศึกษาภาครัฐเกิดจากระบบสารสนเทศที่ออกแบบไม่ดีและขาดการเชื่อมโยงกัน²² ผลผลิตแรงงานของประเทศไทยเติบโตเพียง 3.58% ต่อปี โดยในช่วงปี 2020-2023 หลังโควิด-19 มีอัตราการเติบโตเฉลี่ยติดลบถึง -1.6% ต่อปี ในสถาบันอุดมศึกษา บุคลากรเผชิญภาระงานซ้ำซาก เช่น ป้อนข้อมูลซ้ำในหลายระบบ รอคอยสนองจากระบบที่ช้า และใช้เวลานานเรียนรู้ระบบแตกต่างกัน ส่งผลให้เวลาที่ควรใช้กับงานมีคุณค่าถูกสูญเสียไป ความเครียดและคับข้องใจจากการใช้งานระบบยุ่งยากยังลดความสามารถในการตัดสินใจ

ผลกระทบส่งผลในหลายมิติ²³ ได้แก่ (1) เวลาร่นานของผลงาน (Turnaround Time) เพิ่มขึ้น (2) สูญเสียโอกาสทำงานเชิงกลยุทธ์หรือสร้างสรรค์เพราะเวลาใช้ไปกับงานบริหารที่ไม่จำเป็น (3) คุณภาพงานลดลง จากการที่งานหลายอย่างพร้อมกันภายใต้ความกดดัน ทำให้ข้อผิดพลาดเพิ่มขึ้น (4) เป้าหมายองค์กรไม่สามารถบรรลุได้อย่างเต็มที่ เมื่อประสิทธิภาพบุคลากรลดลง

การลงทุนในเทคโนโลยีที่ออกแบบไม่ดีกลับกลายเป็นภาระแทนที่จะเพิ่มประสิทธิภาพ ดังนั้น การออกแบบระบบสารสนเทศที่คำนึงถึงประสบการณ์ผู้ใช้ (User Experience) การบูรณาการระบบให้เชื่อมโยงกัน และการออกแบบที่ใช้งานง่าย เป็นการลงทุนที่จำเป็นเพื่อฟื้นฟูประสิทธิภาพการทำงานและสนับสนุนเป้าหมายของสถาบันอุดมศึกษา

4.4 ความพึงพอใจและการยอมรับระบบแต่ยังไม่ตอบสนองในการใช้งาน (User Satisfaction & Acceptance)

ปัญหาด้านความพึงพอใจและการยอมรับระบบ (User Satisfaction & Acceptance)²³ เป็นความท้าทายสำคัญสำหรับสถาบันอุดมศึกษาภาครัฐไทย ตามทฤษฎี Technology Acceptance Model (TAM) ของ Davis ความตั้งใจและการยอมรับของผู้ใช้ขึ้นอยู่กับความรู้ความ

เป็นประโยชน์และความสะดวกในการใช้ ในสถาบันอุดมศึกษาภาครัฐไทย บุคลากรแม้ว่าจะยอมรับระบบ แต่ในทางปฏิบัติระบบยังไม่ตอบสนองต่อความต้องการจริง บุคลากรยอมรับระบบเนื่องจากความบังคับจากองค์กรมากกว่าความเชื่อมั่น หาก System Usability Scale (SUS)²⁵

ปัญหาความพึงพอใจและการยอมรับที่ยังไม่ตอบสนองส่งผลให้เกิดปัญหาร้ายแรง²⁶ คือ (1) Quiet Quitting บุคลากรปฏิบัติตามระบบเพราะถูกบังคับ แต่ไม่ให้ความสำคัญกับการทำงาน (2) ขาดแรงจูงใจในการปรับปรุง บุคลากรไม่ให้ข้อเสนอแนะหรือร่วมมือปรับปรุง (3) สิ้นเปลือง การลงทุนในระบบที่ไม่ตอบสนองกลายเป็นการสิ้นเปลืองเงินและเวลา

ดังนั้น การออกแบบระบบที่ดีและให้ความสำคัญต่อการทำความเข้าใจความต้องการของผู้ใช้เป็นสิ่งจำเป็นเพื่อให้ได้ระบบที่มีความพึงพอใจและการยอมรับจริง ๆ จากผู้ใช้

ข้อค้นพบจากการวิเคราะห์ แสดงให้เห็นว่าระบบมีปัญหาหลัก 4 ประการ ได้แก่

1. ประเด็นปัญหาด้าน UX/UI ที่พบ

1.1 ปัญหาด้านการออกแบบ User Interface

การวิเคราะห์ระบบประเมินผลการปฏิบัติงานของสถาบันอุดมศึกษาภาครัฐแห่งหนึ่งพบว่า ปัญหาด้านการออกแบบ User Interface (UI) ถือเป็นปัญหาหลักที่ส่งผลกระทบต่ออย่างมีนัยสำคัญต่อประสิทธิภาพผู้ใช้งาน การศึกษาค้นคว้าได้จำแนกปัญหา UI ออกเป็น 3 ประเด็นหลักโดยอาศัยกรอบแนวคิด Nielsen's Usability Heuristics และหลักการของ User Experience Design ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ประเด็นที่ 1 ความซับซ้อนที่ไม่จำเป็น - Information Overload และขาดการจัดลำดับข้อมูล

ปัญหาแรกและสำคัญที่สุดของระบบประเมินผลการปฏิบัติงานคือ หน้าจอมีข้อมูลมากเกินไป ทำให้บุคลากรรู้สึกสับสน สอดคล้องกับหลักการ Nielsen ข้อที่ 8 Aesthetic and Minimalist Design ที่ควรเรียบง่ายไม่มี

ข้อมูลที่จำเป็น ระบบนี้ปรากฏ Visual Hierarchy ที่ไม่ชัดเจน ข้อมูลมีความสำคัญเท่ากันทั้งหมด บุคลากรเห็นฟิลด์การกรอกข้อมูลเกือบ 50 ฟิลด์ในหนึ่งหน้า บางช่องจำเป็น บางช่องทางเลือก แต่ระบบไม่แสดงความแตกต่างนัยอย่างชัดเจน ปุ่ม บันทึก และ ยกเลิก มีขนาดและสีเดียวกัน ทำให้ผู้ใช้ไม่ทราบปุ่มไหนเป็นการกระทำหลัก ความรู้สึกนี้เรียกว่า Information Overload ซึ่งเมื่อจำนวนข้อมูลเกิน Cognitive Load ผู้ใช้รู้สึกเหนื่อย สับสน หดหู่ กาลังใจ ผลกระทบต่อบุคลากร ได้แก่ ใช้เวลานานกรอกข้อมูล ความเครียดและหงุดหงิด รู้สึกว่าระบบออกแบบเพื่อรับรองหลักปกติของผู้ใช้ทั้งหมด ไม่เพื่อให้ง่ายต่อการใช้ ผู้ใช้ใหม่ต้องเรียนรู้เวลานานยิ่งขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพลดลง

ประเด็นที่ 2 ความไม่สอดคล้อง (Inconsistency) – ปุ่มและเมนูวางตำแหน่งไม่เหมือนกันในแต่ละหน้า

ปัญหาที่สองคือ ปุ่มและเมนูวางตำแหน่งไม่เหมือนกันในแต่ละหน้า ซึ่งละเมิดหลักการ Nielsen ข้อที่ 4 Consistency and Standards ระบบ UI ที่ดีควรมีความสอดคล้องกันตลอด ทำให้ผู้ใช้สร้างสัญชาตญาณและคาดหมายได้ การศึกษาพบว่า ปุ่ม บันทึก ในหน้าที่ 1 อยู่ที่ยกกลางขวา แต่ในหน้าที่ 2 อยู่ยกลงซ้าย ในหน้าที่ 3 อยู่ตรงกลาง ปัญหาเหล่านี้สร้างความสับสนให้ผู้ใช้ที่ต้องใช้ไปกลับหลายหน้า ผลกระทบต่อบุคลากรรุนแรง ผู้ใช้ต้องใช้เวลามากขึ้นค้นหาปุ่มและเมนู ไม่สามารถอาศัยสัญชาตญาณได้ ความไม่สอดคล้องทำให้เกิดข้อผิดพลาด เช่น กดปุ่มผิด หรือกดในตำแหน่งที่ไม่ใช่ปุ่ม ผู้ใช้ใหม่รู้สึกว่าระบบ ไม่ได้ออกแบบอย่างมืออาชีพ สร้างความไม่มั่นใจในการใช้ระบบโดยรวม ความสอดคล้องในการจัดวางองค์ประกอบจึงมีความสำคัญต่อการปรับปรุง User Experience

ประเด็นที่ 3 ขาด Feedback - ระบบไม่แสดงสถานะการทำงาน ผู้ใช้ไม่ทราบว่าข้อมูลถูกบันทึกหรือไม่

ปัญหาที่สามและสำคัญที่สุดในบริบทของความสำเร็จของบุคลากรคือ ระบบไม่แสดงสถานะการ

ทำงาน ผู้ใช้ไม่ทราบว่าคุณข้อมูลถูกบันทึกแล้วหรือยัง ปัญหา
นี้จะละเมิดหลักการ Nielsen ข้อที่ 1 Visibility of System
Status ซึ่งเป็นหลักการพื้นฐานที่สำคัญที่สุดในการ
ออกแบบระบบที่ใช้งานง่าย

ลักษณะของปัญหานี้ประกอบด้วยหลายประเด็น
โดยเมื่อผู้ใช้กดปุ่ม บันทึก ระบบก็ประมวลผลข้อมูล แต่ไม่
มีการแสดงสำแดงว่าระบบกำลังทำงาน (Loading state)
ผู้ใช้จึงไม่ทราบว่าปุ่มได้รับการคลิกหรือไม่ หรือกำลัง

ประมวลผลข้อมูล ตามปกติ ระบบที่ออกแบบดีควรแสดง
Spinner หรือ Progress bar เพื่อให้ผู้ใช้ทราบว่าระบบ
กำลังทำงาน เมื่อการบันทึกเสร็จสิ้น ระบบก็ไม่มีแสดง
ข้อความยืนยัน (Confirmation message) ว่า บันทึก
ข้อมูลสำเร็จ หรือแสดง Error message หากเกิด
ข้อผิดพลาด ผู้ใช้จึงไม่แน่ใจว่าข้อมูลของเขาได้ถูกบันทึก
ลงระบบแล้วหรือไม่

Table 1 Summary of UX/UI Issues and Violated Nielsen's Heuristics

UX/UI Issues Identified	Violated Nielsen's Heuristics	Characteristics of the Issues	Impact on Users
Information Overload	Aesthetic and Minimalist Design	Nearly 50 input fields are displayed on a single page without clear distinction between required and optional fields	Causes confusion, increases completion time, and creates user fatigue during data entry
Inconsistency	Consistency and Standards	Save buttons are placed in different positions across different pages	Makes buttons difficult to locate, increases user errors, and leads to more mistakes
Lack of Feedback	Visibility of System Status	No loading state or confirmation message is displayed during or after processing	Creates uncertainty about whether data have been successfully saved

1.2 ผลกระทบของปัญหา Feedback ที่ขาดหายนี้มี ความรุนแรง บุคลากรประสบความเครียดและความ ไม่มั่นใจอย่างมาก ไม่ว่าจะเป็น

1.2.1 ความกังวล ผู้ใช้ต้องกังวลว่าข้อมูลของพวกเขา
เขาได้ถูกบันทึกหรือไม่ บ่อยครั้งต้องกลับมาตรวจสอบ
(Refresh page) หลายครั้ง ทำให้เป็นการทำงานซ้ำที่ไม่
จำเป็น

1.2.2 ความเหนื่อยหน่ายจากสัญญาตญาณ เมื่อ
ผู้ใช้กดปุ่มแล้ว กิจกรรมของระบบไม่ชัดเจน บุคลากรจึง
ต้องใช้ความเห็น Cognitive Load สูงในการคาดเดาและ
ติดตามว่าเกิดอะไรขึ้น เหตุการณ์นี้ส่งผลต่อการทำงาน
โดยรวม

1.2.3 ความสูญเสียของข้อมูล เนื่องจากไม่มี
Confirmation ผู้ใช้อาจลบข้อมูลโดยไม่ตั้งใจ หรือไม่ทราบ
ว่าข้อมูลของพวกเขาไม่ได้ถูกบันทึก ส่งผลให้ต้องใช้เวลา
ในการค้นหาและสร้างข้อมูลใหม่

1.2.4 การสูญเสียความเชื่อมั่น ผู้ใช้จึงสูญเสีย
ความเชื่อใจในระบบ บ่อยครั้งพูดว่า ผมกลัวจะเสียข้อมูล
เลยกรอกแล้วถ่ายรูปแล้ว (หมายถึงการเก็บสำเนาข้อมูล)

1.3 ความเชื่อมโยงระหว่างปัญหา UI กับผลกระทบ ต่อบุคลากร

ปัญหาการออกแบบ User Interface ทั้ง 3 ประเด็น
ข้างต้นนั้นไม่ได้เป็นปัญหาแยกต่างหาก แต่เป็นส่วนหนึ่ง

ของการขาดการนำหลัก User-Centered Design มาใช้ในการพัฒนาระบบ ปัญหาเหล่านี้มีความเชื่อมโยงกัน ดังนี้

เมื่อหน้าจอ ซับซ้อนและไม่มี Visual Hierarchy บุคลากรจะต้องใช้เวลานานในการค้นหาและกรอกข้อมูล นอกจากนี้ เมื่อ ปุ่มและเมนูไม่สอดคล้องกัน ผู้ใช้จะต้องใช้ความเห็นพิเศษเพื่อหาปุ่มในแต่ละหน้า และเมื่อ ระบบไม่มี Feedback และผู้ใช้จะมีความไม่มั่นใจว่าการกระทำของพวกเขาสำเร็จแล้วหรือไม่ ภาระงานนี้รวมกันส่งผลให้เกิด Cognitive Overload ซึ่งนำไปสู่ความเครียด ความหงุดหงิด และลดลงในประสิทธิภาพการทำงาน

นอกจากนี้ ปัญหาการออกแบบเหล่านี้ยังสะท้อนให้เห็นถึง ความขาดสมการระหว่างผู้พัฒนาและผู้ใช้ ระบบถูกออกแบบจากมุมมองของผู้พัฒนา โดยเน้นการทำให้ระบบปฏิบัติตามระเบียบและข้อกำหนดทั้งหมดให้ครบถ้วน แทนที่จะเป็นการออกแบบให้ผู้ใช้งานจริง ซึ่งเป็นปัญหาพื้นฐานที่ส่งผลให้เกิดปัญหา UI ทั้ง 3 ประเด็นนี้

1.4 ปัญหาด้านการมีส่วนร่วมและการสื่อสาร (Lack of User Participation and Communication)

ปัญหาพื้นฐานที่สำคัญที่สุดของระบบประเมินผลการปฏิบัติงานคือ ระบบออกแบบโดยผู้พัฒนาเพียงฝ่ายเดียว ไม่มีการทดสอบกับผู้ใช้จริง ไม่ได้ศึกษาความต้องการหรือสัมผัสกับบุคลากร ผลลัพธ์คือ ระบบไม่สอดคล้องกับบริบทการทำงานจริง ละเมิดหลักการ User-Centered Design แม้จะมีการแจ้งปัญหา แต่ไม่มีการปรับแก้ บุคลากรส่งรายงานปัญหาและข้อเสนอแนะหลายครั้ง เช่น ขอเปิดช่วงเวลายันที่เพิ่มเติมหรือแก้ไขข้อมูลได้ง่ายขึ้น อย่างไรก็ตาม การตอบสนองช้าและไม่มีการปรับแก้ชัดเจน ความล้มเหลวในการฟังเสียงผู้ใช้ส่งผลให้บุคลากรสูญเสียความเชื่อมั่นและหมดความหวัง นอกจากนี้ ขาดช่องทางสื่อสารที่ชัดเจนสำหรับรายงานปัญหา ผู้ใช้ต้องค้นหาเบอร์โทรศัพท์หรือ Email ผู้ดูแลระบบเอง ส่งผลให้การรายงานปัญหากระจัดกระจายและไม่เป็นระบบ

ผลกระทบต่อบุคลากรรุนแรง พวกเขารู้สึกว่าความต้องการไม่ได้รับการฟัง เกิดความหงุดหงิด ความไม่พอใจ สูญเสียงานในการใช้ระบบ ปัญหาด้านการมีส่วนร่วม

และการสื่อสารนี้เป็นรากเหง้าของปัญหา UX/UI ทั้งหมด เพราะถ้ามีการฟังเสียงผู้ใช้งานตั้งแต่ต้น ปัญหาเหล่านั้นก็ไม่เกิดขึ้น

2. ผลกระทบต่อบุคลากร (Impacts on Personnel)

2.1 ภาระงานที่เพิ่มขึ้น พบว่า เวลาในการป้อนข้อมูลเพิ่มขึ้น 2-3 เท่า เมื่อเทียบกับระบบเก่า ในขณะที่ระบบเดิมบุคลากรสามารถสรุปผลการปฏิบัติงานได้ในเวลา 30-45 นาที ระบบใหม่ต้องใช้เวลา 90-150 นาที บุคลากรต้องทำงานซ้ำซ้อนกับระบบอื่นที่มีอยู่ เพราะข้อมูลส่วนหนึ่งต้องป้อนในระบบประเมินผล แล้วก็ต้องป้อนอีกครั้งในระบบบริหารบุคลากร ส่งผลให้ เสียเวลาแก้ไขข้อผิดพลาดจากระบบที่ซับซ้อน ทำให้ภาระงาน (Workload) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

2.2 ความเครียดและความเหนื่อยหน่าย ภาระงานที่เพิ่มขึ้นนำไปสู่ ความหงุดหงิดจากการใช้งานที่ยุ่งยาก บุคลากรรู้สึกอย่างไม่ชอบ การที่ต้องกรอกข้อมูลซ้ำ ๆ และจัดการกับขั้นตอนที่ไม่ชัดเจน นอกจากนี้ยังมี ความกดดันจากเวลาที่จำกัดในการป้อนข้อมูล เพราะระบบเปิดเฉพาะในช่วงเวลาใดช่วงเวลาหนึ่ง บุคลากรจึงต้องรีบให้ทันหรือเสี่ยงจะสูญเสียข้อมูล ความรู้สึกที่สำคัญที่สุดคือ ความรู้สึกว่างงานไม่คุ้มค่า เนื่องจากบุคลากรรู้สึกว่างงานเอกสารมากกว่างานจริง ส่งผลให้เกิดความเหนื่อยหน่าย (Burnout) ซึ่งเป็นภาวะที่เกิดจากการทำงานที่เครียดเรื้อรัง

2.3 ผลกระทบต่อประสิทธิภาพ โดยผลกระทบสำคัญที่สุดคือ เวลาที่ควรใช้กับงานหลัก เช่น การสอน การวิจัย ลดลง เพราะบุคลากรต้องสูญเสียเวลาให้กับกรอกข้อมูล นอกจากนี้ คุณภาพของข้อมูลที่ป้อนลดลงเนื่องจากบุคลากรป้อนแบบผ่าน ๆ ไม่ให้รายละเอียดเพื่อให้ได้มาเร็วขึ้น ส่งผลให้ ความผิดพลาดเพิ่มขึ้นจากความซับซ้อนของระบบ ซึ่งรวมกันแล้วทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของบุคลากรลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

2.4 ความพึงพอใจและการยอมรับ ผลสุดท้ายคือระดับความพึงพอใจต่อระบบต่ำ บุคลากรแสดง ความต้านทานและไม่อยากใช้งาน เมื่อต้องจำเป็นต้องใช้ระบบ ส่งผลให้ ขาดความไว้วางใจในระบบและผู้พัฒนา ผลรวมของปัญหาทั้งหมดนี้คือ ระบบที่ลงทุนด้วยเจตนาเพื่อเพิ่ม

ประสิทธิภาพ กลับกลายเป็นแหล่งความเครียดและความไม่พอใจ ทำให้เป้าหมายเดิมล้มเหลว และนำไปสู่ความจำเป็นในการปรับปรุงระบบรักษา

การวิเคราะห์ประเด็น แสดงให้เห็นว่า

1. ความล้มเหลวของการออกแบบที่ขาดหลักฐานเชิงประจักษ์จากผู้ใช้งาน (Lack of Evidence-Based Design) ผลการศึกษาพบว่าระบบประเมินผลการปฏิบัติงานมีปัญหา UX/UI อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับผลการประเมินความใช้ได้ของระบบ (Heuristic Evaluation) ที่พบว่าการละเมิดหลักการของ Nielsen ในหลายข้อ โดยเฉพาะข้อที่ 1 (Visibility of System Status) และข้อที่ 8 (Aesthetic and Minimalist Design) สิ่งนี้สะท้อนให้เห็นว่ากระบวนการพัฒนาระบบขาดขั้นตอน User Research ที่แท้จริง ตามที่ระบุในวิธีดำเนินการวิจัยว่าไม่มีการสัมภาษณ์หรือสังเกตพฤติกรรมผู้ใช้งานก่อนพัฒนา การที่บุคลากรแจ้งปัญหาผ่านระบบช่วยเหลือกว่า 50 ประเด็น แต่ไม่ได้รับการแก้ไข ยืนยันได้ว่าช่องทางการสื่อสารระหว่างผู้พัฒนาและผู้ใช้งานขาดประสิทธิภาพ (Feedback Loop Failure) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Md Manjurul Islam (2023)²⁷ ที่ระบุว่า Human-Centered Design (HCD) ต้องเริ่มจากการทำความเข้าใจผู้ใช้อย่างลึกซึ้ง หากขาดขั้นตอนนี้ ระบบจะตอบสนองเฉพาะความต้องการเชิงเทคนิคหรือระเบียบบริหาร แต่ไม่ตอบสนองความต้องการในการใช้งานจริง (Usability Needs)

2. นัยสำคัญของภาระงานที่เพิ่มขึ้นต่อประสิทธิภาพองค์กร (Implications of Increased Workload on Organizational Efficiency) ข้อมูลจากการสังเกตและวัดเวลาการทำงาน (Observation & Time Measurement) พบว่าเวลาในการป้อนข้อมูลเพิ่มขึ้นจาก 30-45 นาที เป็น 90-150 นาที หรือเพิ่มขึ้นประมาณ 2-3 เท่า ตัวเลขเชิงประจักษ์นี้มีความสำคัญอย่างยิ่งในการอภิปรายผลกระทบ เพราะแสดงให้เห็นว่าเทคโนโลยีที่ควรลดภาระงาน กลับกลายเป็นอุปสรรคต่อผลิตภาพแรงงาน (Labor Productivity) สอดคล้องกับข้อมูลของ Supasyn Itthiphathwong (2568)²² ที่ชี้ว่าผลิตภาพแรงงานไทยมี

ความเสี่ยงหากมีการจัดการเวลาไม่ดี การที่บุคลากรต้องเสียเวลาไปกับงานบริหารซ้ำซ้อน (Duplicate Data Entry) เนื่องจากระบบไม่เชื่อมโยงกัน (Lack of Interoperability) ส่งผลให้เวลาสำหรับงานหลักด้านการสอนและวิจัยลดลง ซึ่งเป็นหัวใจสำคัญของสถาบันอุดมศึกษา ผลกระทบนี้ไม่เพียงแต่ลดประสิทธิภาพส่วนบุคคล แต่ยังส่งผลต่อประสิทธิภาพรวมขององค์กรในระยะยาว

3. ความสัมพันธ์ระหว่างการออกแบบระบบและสุขภาพจิตของบุคลากร (Correlation between System Design and Personnel Well-being) ผลการวิเคราะห์เนื้อหาจากข้อร้องเรียนและปัญหาที่แจ้งเข้ามา (Content Analysis from Issue Logs) พบคำสำคัญที่เกี่ยวข้องกับความเครียด ความไม่มั่นใจ และความรู้สึกไร้ค่า ซึ่งนำไปสู่ภาวะเหนื่อยหน่าย (Burnout) การที่ระบบไม่แสดงสถานะการทำงาน (Feedback) ทำให้ผู้ใช้เกิด Cognitive Load สูง ต้องใช้พลังงานจิตใจในการคาดเดาสถานะระบบตลอดเวลา สิ่งนี้สอดคล้องกับทฤษฎีภาระงานทางปัญญา (Cognitive Load Theory) และงานวิจัยของ Eagle Hill Consulting (2568)¹⁹ ที่พบว่าภาระงานที่มากเกินไปเป็นสาเหตุหลักของ Burnout ในภาครัฐ ดังนั้น ปัญหา UX/UI จึงไม่ใช่เรื่องความสวยงามเท่านั้น แต่เป็นประเด็นด้านสุขภาพองค์กร (Organizational Well-being) ที่ผู้บริหารต้องให้ความสำคัญเทียบเท่ากับผลสัมฤทธิ์ทางการงาน

4. บทเรียนด้านการจัดการโครงการเทคโนโลยีสารสนเทศ (Lessons Learned in IT Project Management) จากความล้มเหลวในการรับฟังข้อเสนอแนะกว่า 50 ประเด็น ชี้ให้เห็นถึงปัญหาในการจัดการโครงการ (Project Management) ที่ขาดความยืดหยุ่นและไม่ให้ความสำคัญกับขั้นตอน Usability Testing ก่อนการใช้งานจริง (Implementation) สอดคล้องกับรายงานของ OpenKey (2025)³⁰ และ RADIN Dynamics³³ ที่ระบุว่า 50-70% ของโครงการ Digital Transformation ล้มเหลวเนื่องจากขาดการยอมรับจากผู้ใช้ (User Adoption) กรณีศึกษาที่ยืนยันว่า การลงทุนด้านเทคโนโลยีโดยไม่ลงทุนด้านกระบวนการออกแบบที่

เน้นผู้ใช้ (UCD Process) จะนำไปสู่ความสูญเสียทรัพยากร (Sunk Cost) ทั้งงบประมาณและเวลาของบุคลากร การแก้ไขจึงต้องเริ่มที่กระบวนการจัดซื้อจัดจ้างและการบริหารโครงการที่บังคับให้มีขั้นตอนการทดสอบกับผู้ใช้จริงเป็นเงื่อนไขสำคัญ

แนวทางในการยกระดับระบบสารสนเทศภาครัฐ

1. ข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนาระบบ

1.1 ระยะสั้น (Quick Wins)

ข้อเสนอแนะสำหรับปรับปรุงระบบสารสนเทศประกอบด้วยสามประการหลัก ประการแรก ปรับปรุง User Interface ให้เรียบง่ายขึ้นเป็นเร่งด่วน โดยลดข้อมูลที่ไม่จำเป็นออกจากหน้าจอเพื่อให้ผู้ใช้โฟกัสที่ข้อมูลหลัก การปรับปรุงนี้ต้องระมัดระวังเพื่อไม่กระทบความสมบูรณ์ข้อมูลจำเป็น จัด Visual Hierarchy ให้ชัดเจนโดยแสดงข้อมูลหลักและทางเลือก ใช้การเปลี่ยนขนาด สี ตำแหน่ง ยังต้องใช้ Layout สอดคล้องกันทั่วระบบ ปุ่ม เมนู อยู่ตำแหน่งเดียวกัน เพื่อให้ผู้ใช้สร้างสัญชาตญาณได้ ประการที่สอง เพิ่ม Feedback และ Help อย่างเป็นระบบ แสดงสถานะการทำงานชัดเจน เช่น เมื่อผู้ใช้กดบันทึก ต้องแสดง Loading state และเมื่อเสร็จแล้วแสดง Success message เพื่อยืนยันว่าบันทึกแล้ว ให้คำแนะนำ (Tooltip) ที่จุดซับซ้อน เช่น เลื่อนเมาส์บนปุ่มหรือฟิลด์ ระบบแสดง Tooltip อธิบายวิธีใช้งาน จัดทำคู่มือการใช้งานที่เข้าใจง่าย เขียนในภาษาเข้าใจ พร้อมตัวอย่างประกอบ และประการที่สาม ปรับปรุงการป้องกันข้อมูลให้ง่ายขึ้น ใช้ Auto-complete และ Auto-populate ลดเวลาและข้อผิดพลาด เพิ่ม Validation ป้องกันข้อผิดพลาด เช่น ตรวจสอบหมายเลขโทรศัพท์ อนุญาตให้ผู้ใช้แก้ไขและย้อนกลับได้ง่าย ๆ การลบและสร้างใหม่ไม่ควรยุ่งยากต่อไป

1.2 ระยะกลาง (System Enhancement)

ข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนาระบบประเมิณผล การปฏิบัติงานในระยะกลางประกอบด้วยสามประการหลัก ประการแรก พัฒนาการเชื่อมโยงระบบให้ดีขึ้น ระบบประเมิณผลควรเชื่อมโยงกับระบบทะเบียน ระบบสารบรรณ และระบบอื่น ๆ ในสถาบัน เพื่อให้ข้อมูลสามารถ

เรียกจากจุดเดียวได้ เช่น ข้อมูลอาจารย์ตั้งจากระบบทะเบียนโดยไม่ต้องป้อนใหม่ วิธีนี้ลดการป้อนข้อมูลซ้ำซ้อนและลดข้อผิดพลาด พัฒนา API สำหรับการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างระบบ ประการที่สอง เพิ่มความยืดหยุ่นให้ระบบ อนุญาตให้บุคลากรกำหนดช่วงเวลาการป้อนข้อมูลเอง ปรับแต่งหน้าจอตามความต้องการผู้ใช้ได้ เช่น บางคนต้องการข้อมูลด้านการสอนก่อน คนอื่นต้องการข้อมูลด้านการวิจัย สร้างทางลัด (Shortcuts) สำหรับผู้ใช้ที่ชำนาญ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ ประการที่สาม สร้างกลไกการรับฟังเสียงของผู้ใช้อย่างเป็นระบบ จัดทำช่องทางรายงานปัญหาที่ชัดเจน สร้าง Feedback Loop อย่างเป็นระบบ มีทีมงานรับผิดชอบการตอบสนองและปรับปรุงระบบ กลไกนี้ช่วยให้ผู้ใช้รู้สึกว่าคุณเห็นมีค่า และช่วยให้ผู้พัฒนาปรับปรุงระบบให้ตรงกับความต้องการจริง

1.3 ระยะยาว (Strategic Changes)

ข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนาระบบประเมิณผล การปฏิบัติงานในระยะยาวประกอบด้วยสามประการหลัก ประการแรก นำหลัก Human-Centered Design มาใช้ในการพัฒนาระบบ เริ่มด้วยการทำความเข้าใจผู้ใช้ผ่านการสัมภาษณ์ การสังเกต และการรวบรวมข้อมูลจากผู้ใช้งานจริง ดำเนินการ Co-design ให้บุคลากรมีส่วนร่วมในการออกแบบตั้งแต่ขั้นตอนแรก และสำคัญที่สุดคือ ทำ Usability Testing ก่อนนำระบบไปใช้งาน เพื่อแยกปัญหาและแก้ไขล่วงหน้า ประการที่สอง พัฒนาศักยภาพของทีมพัฒนา ด้วยการฝึกอบรมด้าน UX/UI Design อย่างเป็นระบบ ศึกษาหลักการและแนวปฏิบัติที่ดี จากกรณีศึกษาและโครงการอื่น แลกเปลี่ยนเรียนรู้กับสถาบันอื่น ปรับปรุงความสามารถด้านการคิดเชิงออกแบบที่เน้นผู้ใช้ ประการที่สาม ปรับปรุงกระบวนการจัดซื้อจัดจ้างเน้นคุณภาพมากกว่าราคา กำหนดเกณฑ์ด้าน Usability เช่น ให้ผู้ขายรวมการทดสอบกับผู้ใช้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการ ทำการตรวจรับงานที่เข้มงวด ตรวจสอบว่าระบบตรงตามเกณฑ์ Usability และคุณภาพก่อนอนุมัติการใช้งาน

2. ข้อเสนอแนะสำหรับนักพัฒนาและผู้บริหาร

2.1 สำหรับนักพัฒนาระบบ

นักพัฒนาระบบสารสนเทศต้องตระหนักว่า การพัฒนาระบบที่ดีไม่ได้เป็นเรื่องของเทคโนโลยีเพียงอย่างเดียว แต่เป็นเรื่องของการเข้าใจผู้ใช้ ดังนั้น ผู้พัฒนาควรศึกษาหลักการ UX/UI Design อย่างจริงจัง ไม่ว่าจะเป็นผ่านการอ่านหนังสือ การอบรม หรือการแลกเปลี่ยนกับผู้เชี่ยวชาญด้าน UX/UI ทดสอบกับผู้ใช้จริงอย่างสม่ำเสมอ ตลอดกระบวนการพัฒนา ไม่ใช่รอจนกว่าระบบจะเสร็จสิ้นแล้วจึงมาทดสอบ เปิดรับฟังข้อเสนอแนะและปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง โดยไม่ถือว่าระบบที่เสร็จเรียบร้อยแล้วนั้นไม่ต้องปรับปรุง

2.2 สำหรับผู้บริหาร

ผู้บริหารต้องตระหนักว่า การลงทุนในเทคโนโลยีที่

ดีนั้นก็เท่ากับการลงทุนในการเข้าใจและตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งาน ดังนั้น ผู้บริหารควรให้ความสำคัญกับ User Experience เท่าเทียมกับการปฏิบัติตามระเบียบและข้อกำหนด เนื่องจากทั้งสองมีความสำคัญเท่าเทียมกัน สนับสนุนงบประมาณและทรัพยากรสำหรับการพัฒนาที่มีคุณภาพ บอกรับว่าการพัฒนาระบบที่ดีต้องใช้เวลานาน งบประมาณ และบุคลากรที่เพียงพอ สร้างวัฒนธรรมองค์กรที่เปิดรับการเปลี่ยนแปลงและการมีส่วนร่วม ความสำคัญของวัฒนธรรมนี้คือจะทำให้ผู้ใช้ไม่ต้านทานเมื่อมีการนำระบบใหม่มาใช้

จากข้อเสนอดังกล่าวสามารถเขียนเป็น System Architecture Diagram ตาม Figure 2

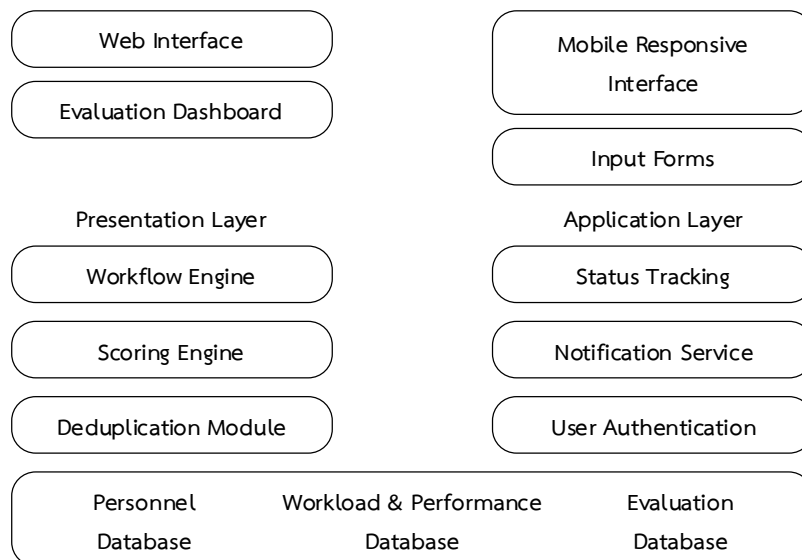


Figure 2 Proposed System Design

ที่มา: ภาพประกอบโดยผู้เขียน จัดทำขึ้นเพื่อแสดงโครงสร้างระบบตามแนวคิด *Proposed System Design* เพื่อใช้ในการศึกษาและพัฒนาโมเดลระบบสารสนเทศ

เอกสารอ้างอิง

1. ราชกิจจานุเบกษา. พระราชบัญญัติการบริหารงานและการให้บริการภาครัฐผ่านระบบดิจิทัล พ.ศ. 2562 [อินเทอร์เน็ต]. 2562 [เข้าถึงเมื่อ 21 พ.ย. 2568]. เข้าถึงได้จาก:

<https://ratchakitcha.soc.go.th/documents/17081915.pdf>

2. สำนักงานคณะกรรมการธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์. Government e-Service ยกระดับขีดความสามารถภาครัฐ เพื่อให้บริการประชาชน [อินเทอร์เน็ต]. 2564 [เข้าถึงเมื่อ 21 พ.ย. 2568]. เข้าถึงได้จาก:

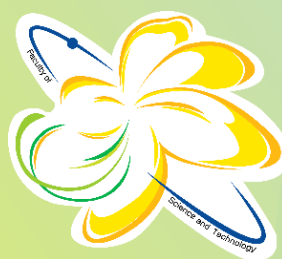
- <https://www.eta.or.th/th/Useful-Resource/Digital-Service/The-Power-and-Development-of-Government-e-Services.aspx>
3. ไทยพับลิก้า. ลักลั่น ข้ำซ้อน ย้อนแย้ง: ทรัพยากรที่สูญเปล่าในการจัดทำโครงการภาครัฐ. [อินเทอร์เน็ต]. 2564 [เข้าถึงเมื่อ 25 พ.ย. 2568]. เข้าถึงได้จาก: <https://thaipublica.org/2021/06/pitikhun-nilthanom-17/>
 4. Cotactic. User Experience คืออะไร ทำไมต้องให้มืออาชีพออกแบบ [อินเทอร์เน็ต]. 2567 [เข้าถึงเมื่อ 21 พ.ย. 2568]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.cotactic.com/blog/user-experience/>
 5. Palo-it. ความแตกต่างของ UX/UI ที่ร่วมสร้างประสบการณ์ที่ดีในการใช้งาน [อินเทอร์เน็ต]. 2567 [เข้าถึงเมื่อ 25 พ.ย. 2568]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.palo-it.com/th/blog/what-is-ux-and-ui>
 6. Sennalabs. User-Centric Design คืออะไร? สำคัญกับ UX/UI อย่างไร [อินเทอร์เน็ต]. 2568 [เข้าถึงเมื่อ 25 พ.ย. 2568]. เข้าถึงได้จาก: <https://sennalabs.com/blog/what-is-user-centric-design-and-how-is-it-important-for-ux-ui>
 7. Interaction Design Foundation. Bad Design vs. Good Design: 5 Examples We Can Learn From [Internet]. 2024 [cite 2025 Nov 25]. Available from: <https://www.interaction-design.org/literature/article/bad-design-vs-good-design>
 8. Born to Dev. มารู้จัก Usability Heuristic แนวทางเชื่อว่าแอปเรามีประสิทธิภาพดี ๆ [อินเทอร์เน็ต]. 2565 [เข้าถึงเมื่อ 20 ธ.ค. 2568]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.borntodev.com/2022/12/08/usability-heuristic/>
 9. Nielsen J. How I Developed the 10 Usability Heuristics. Jakob Nielsen on UX. [Internet]. 2024 [cite 2025 Nov 25]. Available from: <https://jakobnielsenphd.substack.com/p/usability-heuristics-history>
 10. Exvention Co., Ltd. 10 Usability หนึ่งในศาสตร์การออกแบบ UX/UI ขั้นเทพ [อินเทอร์เน็ต]. 26 ธ.ค. 2565 [เข้าถึงเมื่อ 25 พ.ย. 2568]. เข้าถึงได้จาก: <https://exvention.co.th/10-usability-principles/>
 11. ศูนย์อำนวยการรักษาผลประโยชน์ของชาติทางทะเล. การประเมินผลการปฏิบัติราชการของข้าราชการ [อินเทอร์เน็ต]. 2566 [เข้าถึงเมื่อ 20 ธ.ค. 2568]. เข้าถึงได้จาก: <https://thai-mecc.go.th/wp-content/uploads/2023/04/การประเมินผลการปฏิบัติราชการของข้าราชการ.pdf>
 12. สำนักงานคณะกรรมการข้าราชการพลเรือน สำนักงานอำนวยการกระทรวงมหาดไทย. คู่มือการประเมินผลการปฏิบัติราชการ ผู้บริหารของส่วนราชการ. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการข้าราชการพลเรือน กระทรวงศึกษาธิการ; 2565.
 13. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. คู่มือพนักงานใหม่ มธ. สายสนับสนุนวิชาการ. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์; 2568.
 14. ธรินต์ เลิศสุชีเกษม. การปรับตัวขององค์การภาครัฐสู่รัฐบาลดิจิทัล: ศึกษากรณีการปรับตัวของกระทรวงการต่างประเทศสู่การเป็นรัฐบาลดิจิทัลตามกรอบของแผนพัฒนารัฐบาลดิจิทัลของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2563–2565. สารนิพนธ์หลักสูตรปริญญารัฐประศาสนศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชารัฐประศาสนศาสตร์. กรุงเทพฯ: คณะรัฐศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2565.
 15. Boztepe S, Linde P, Smedberg A. Design making its way to the city hall: tensions in design capacity building in the public sector. In: International Association of Societies of

- Design Research Congress 2023. [Internet]. 2023 [cite 2025 Dec 20]. Available from: <https://dl.designresearchsociety.org/cgi/viewcontent.cgi?article=1183&context=iasdr>
16. กลุ่มพัฒนาระบบบริหาร กรมหม่อนไหม. คู่มือการประเมินสถานะของหน่วยงานภาครัฐในการเป็นระบบราชการ 4.0. [อินเทอร์เน็ต]. 2568 [เข้าถึงเมื่อ 25 พ.ย. 2568]. เข้าถึงได้จาก: <https://qsds.go.th/newopdc/wp-content/uploads/sites/7/2025/03/PMQA2568newcompressed.pdf>
17. ไทคอมนาคมแห่งชาติ. Gov Cloud 2025 กับภารกิจเปลี่ยนภาครัฐไทยให้ขับเคลื่อนด้วยข้อมูล [อินเทอร์เน็ต]. 2568 [เข้าถึงเมื่อ 21 พ.ย. 2568]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.ntplc.co.th/news/detail/gov-cloud-2025-and-gdcc-open-data>
18. Kaewanuchit C, Sawangdee Y. A path model of job stress using Thai Job Content Questionnaire (Thai-JCQ) among Thai immigrant employees. *J Public Health Soc Dev* 2016;6:15-28.
19. Eagle Hill Consulting. Running on empty: why burnout at work is surging among government employees. [Internet]. 2025 [cite 2025 Nov 25]. Available from: <https://www.eaglehillconsulting.com/insights/government-employees-burnout/>
20. ธนนันต์ นุ่มแสง, ธนิตา ตันตระกูลโรจน์. การทดสอบความเที่ยงตรงและความเชื่อมั่นของแบบประเมินกลยุทธ์ในการรับมือกับความเครียดแบบสั้น ฉบับภาษาไทย. *วารสารสมาคมจิตแพทย์แห่งประเทศไทย* 2561;63:189-98.
21. Maslach C, Schaufeli WB, Leiter MP. Job burnout. *Annu Rev Psychol* [Internet]. 2001 [cite 2025 Nov 25]. Available from: <https://www.annualreviews.org/content/journals/10.1146/annurev.psych.52.1.397>
22. Itthiphawatwong S. Labor productivity-wage gap: impacts and risks to Thai economy [Internet]. 2025 [cite 2025 Nov 25]. Available from: <https://www.krungsri.com/en/research/research-intelligence/productivity-2025>
23. Nature. Hybrid working from home improves retention without damaging productivity. *Nature* [Internet]. 2024 [cite 2025 Nov 21]. Available from: <https://www.nature.com/articles/s41586-024-07500-2>
24. รชฏ จันทน์น้อย, อัจฉรา เคนเจริญโสภณ. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการยอมรับเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อใช้ในการปฏิบัติงาน. *วารสารการวิจัยและพัฒนา* 2560;15:23-35.
25. ธนิตา เจริญรัตน์, พิชญ์ พงษ์สวัสดิ์. ปัจจัยที่ส่งผลต่อการยอมรับเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ในระบบราชการไทย: กรณีศึกษากระทรวงการพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์. *วารสารการบริหารภาครัฐ* 2566;16:145-68.
26. Brooke J. SUS: a retrospective. *J Usability Stud* 2013;8:29-40.
27. Islam MM. The power of user-centric design: enhancing digital experiences [Internet]. 2023 [cite 2025 Nov 21]. Available from: <https://medium.com/design-bootcamp/the-power-of-user-centric-design-enhancing-digital-experiences-64ad09c254e7>
28. Tzimourta KD. Human centered design and development in digital health: approaches, challenges, and emerging trends. *Cureus* 2025;17:e85897.

29. OpenKey. Mobile key & wallet access for hotels [Internet]. 2025 [cite 2025 Dec 20]. Available from: https://www.openkey.co/?utm_source=chatgpt.com
30. RADIN Dynamics. AI powered CRM for manufacturing [Internet]. 2025 [cite 2025 Dec 20]. Available from: <https://radindynamics.com/the-crm-implementation-crisis-50-fail-due-to-poor-user-adoption/>



PBRU



Faculty of Science and Technology
Phetchaburi Rajabhat University



Tel. 0 3270 8633 Fax. 0 3270 8661

Website: <http://sciencejournal.pbru.ac.th>

E-mail: sciencejournal@mail.pbru.ac.th