ISSN 2985-1580 (Print) ISSN 2985-1599 (Online)
วารสารคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสร้างสรรค์
Journal of Computer and Creative Technology

วัตถุประสงค์วารสาร เพื่อส่งเสริมและสนับสนุนให้คณาจารย์ นักวิชาการ นิสิต นักศึกษา และผู้สนใจทั่วไป ได้มีโอกาสเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ

ขอบเขตวารสาร ดังนี้

- การประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีเพื่อการวิจัย พัฒนา และสร้างสรรค์
- การศึกษาและบูรณาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสู่การเรียนรู้ตลอดชีวิต
- สหวิทยาการด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาท้องถิ่นและสังคม

กำหนดการออกวารสาร

ออกปีละ 3 ฉบับ ดังนี้ ฉบับที่ 1 ประจำเดือน มกราคม ถึง เมษายน (Issue 1— January to April)
ฉบับที่ 2 ประจำเดือน พฤษภาคม ถึง สิงหาคม (Issue 2— May to August)
ฉบับที่ 3 ประจำเดือน กันยายน ถึง ธันวาคม (Issue 3—September to December)

ประเภทบทความ บทความวิจัย (Research Articles) และ บทความวิชาการ (Academic Articles)

การรับตีพิมพ์บทความ บทความภาษาไทย (Thai Articles) และ บทความภาษาอังกฤษ (English Articles)

เงื่อนไขตีพิมพ์บทความ

บทความที่ส่งเข้าจะได้รับการพิจารณาเบื้องต้นโดยกองบรรณาธิการเกี่ยวกับขอบเขตของวารสารและรูปแบบการเขียนบทความ จากนั้นบทความที่ผ่านการพิจารณาเบื้องต้นจะถูกส่งไปพิจารณาประเมินคุณภาพของบทความจากคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Reviewer) อย่างน้อยสองท่านที่มีความเชี่ยวชาญตรงตามสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องจากหลากหลายสถาบัน รูปแบบการประเมินบทความเป็นแบบผู้ทรงคุณวุฒิไม่ทราบชื่อผู้นิพนธ์และผู้นิพนธ์ไม่ทราบชื่อผู้ทรงคุณวุฒิ (Double-Blind Peer Review)

กองบรรณาธิการขอสงวนสิทธิ์ที่จะไม่พิจารณาประเมินบทความที่เคยตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารหรือสิ่งพิมพ์อื่น หรือกำลังอยู่ในระหว่างการพิจารณาเสนอขอตีพิมพ์ในวารสารหรือสิ่งพิมพ์อื่น ๆ นอกจากนี้ วารสารขอให้ผู้นิพนธ์เคร่งครัดในการเขียนบทความภายใต้สัญญาอนุญาตครีเอทีฟคอมมอนส์ (Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International : CC BY-NC-ND 4.0) หากมีการใช้ข้อมูลของผู้นิพนธ์อื่นจะต้องระบุที่มา โดยห้ามดัดแปลง ห้ามใช้เพื่อการค้า พร้อมทั้งขออนุญาตเจ้าของลิขสิทธิ์และแสดงหนังสือที่ได้รับการยินยอมต่อกองบรรณาธิการก่อนที่บทความจะได้รับการตีพิมพ์

Citation:
บทความในวารสารนี้อยู่ภายใต้สัญญาอนุญาตครีเอทีฟคอมมอนส์ (Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International : CC BY-NC-ND 4.0)

ISSN 2985-1580 (Print)
ISSN 2985-1599 (Online)

คณะทำงานวารสาร

ที่ปรึกษาบริหาร

รองศาสตราจารย์ ดร.ฉลอง สุขทอง	อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์
รองศาสตราจารย์ ดร.จิรายุ ทรัพย์สิน	รองอธิการบดี ฝ่ายยุทธศาสตร์การยกระดับคุณภาพการศึกษา
รองศาสตราจารย์ ดร.อำนวย วัฒนกรสิริ	รองอธิการบดี ฝ่ายเทคโนโลยีและการสื่อสารองค์กร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์จีระเดช อินทเจริญศานต์	คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
รองคณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์

ที่ปรึกษาวารสาร

รองศาสตราจารย์ ดร.โอฬาริก สุรินต๊ะ	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
นายโกสินธุ์ ศิริรักษ์	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

บรรณาธิการ	อาจารย์ ดร.วิจิตรา โพธิสาร	มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์
ผู้ช่วยบรรณาธิการ	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริลักษณ์ หวังชอบ	มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์

กองบรรณาธิการภายในมหาวิทยาลัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วาฤทธิ์ นวลนาง	มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย เจือจันทร์	มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันชัย สุขตาม	มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขจรศักดิ์ สงวนสัตย์	มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์
อาจารย์ ดร.ประฎิชญา สร้อยจิตร	มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์
อาจารย์ ดร.จักรพงษ์ วารี	มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์
อาจารย์ ดร.นุชจรี บุญเกต	มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์

กองบรรณาธิการภายนอกมหาวิทยาลัย

ศาสตราจารย์ ดร.ปรัชญนันท์ นิลสุข	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร.สุรพล บุญลือ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.สิทธิชัย บุษหมั่น	มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.เนติรัฐ วีระนาคินทร์	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.รัตนโชติ เทียนมงคล	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมนึก พ่วงพรพิทักษ์	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุวิช ถิระโคตร	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุวัฒน์ บรรลือ	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พีรญา ทองเฉลิม	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนล สวนประดิษฐ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประวิทย์ สิมมาทัน	มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัจฉรา ชุมพล	มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

Citation:
บทความในวารสารนี้อยู่ภายใต้สัญญาอนุญาตครีเอทีฟคอมมอนส์ (Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International : CC BY-NC-ND 4.0)

ISSN 2985-1580 (Print)
ISSN 2985-1599 (Online)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาสิทธิ์ หิรัญรัตน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์
อาจารย์ ดร.ปิยวัจน์ ค้าสบาย	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
อาจารย์ ดร.อาทิตยาพร โรจรัตน์	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อาจารย์ ดร.นวัฒกร โพธิสาร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์
ดร.สุริยา คลังฤทธิ์	นักวิชาการอิสระ
Prof. Dr.Yingtao Liang	Nanning Normal University, China
Prof. Dr.Surya Prakash	Shri Ram College of Commerce University of Delhi, India
Assoc. Prof.Dr.Deepjyoti Choudhury	Assam University, India
Assoc. Prof.Dr.Yuvin Lin	Guangxi Minzu University, China
Asst. Prof. Dr.Venkateswarlu Nalluri	Chaoyang University of Technology, Taiwan
Asst. Prof. Dr.Alok Kumar Sharma	Chaoyang University of Technology, Taiwan
Asst. Prof. Dr.Inam Ullah	Gachon University, Republic of Korea
Asst. Prof. Dr.Inam Ullah Khan	Multimedia University, Malaysia
Asst. Prof. Dr.Richard G. Mayopu	Satya Wacana Christian University, Indonesia
Dr.Sanouphab Phomkeona	National University of Laos, Lao People's Democratic Republic
Dr.Sonxay Luangoudom	Champasak University, Lao People's Democratic Republic
Dr.On Thi My Linh	Thai Nguyen University of Education, Vietnam
Dr.Emmanuel Okafor	King Fahd University of Petroleum and Minerals Dhahran, Saudi Arabia

ทีมสนับสนุนงานวารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์

อาจารย์กฤษฎา นวลนาง และ อาจารย์เอกราวี	สื่อดิจิทัล/ เว็บไซต์วารสาร
อาจารย์สุวัฒน์ กล้วยทอง และ อาจารย์กัญญาณี สมอ	ประชาสัมพันธ์
นายทวีวัฒน์ มูลจัด นายพลวัต บุญนาค และ นายสิทธิศักดิ์ สุขเสริม	เลขานุการวารสาร
นายไกรศักดิ์ วงคล่อง ยินดีงาม และ นางชนัญชิดา จารุเสฏฐิโน	การเงินและพัสดุ
นางยุรีรัตน์ ดวงแว่ว และ นางสาวรัตนา จันทร์หอม	แผนและโครงการ
นางสาวธัญรัตน์ วิวาห์สุข และ นางสาวนงค์นภา สวยรูป	ธุรการ

สำนักงาน

สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ศึกษา
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์
186 หมู่ 1 ถ.สุรินทร์-ปราสาท ต.นอกเมือง อ.เมือง จ.สุรินทร์ 32000
โทรศัพท์ 044 – 558344, 088 723 5944 อีเมล์ jcct@srru.ac.th

Citation:
บทความในวารสารนี้อยู่ภายใต้สัญญาอนุญาตครีเอทีฟคอมมอนส์ (Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International : CC BY-NC-ND 4.0)

ISSN 2985-1580 (Print)
ISSN 2985-1599 (Online)

บทบรรณาธิการ

วารสารคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสร้างสรรค์ (Journal of Computer and Creative Technology) ได้ถูกจัดให้เป็น วารสารกลุ่มที่ 2 (TCI Tier 2) โดย ศูนย์ TCI ให้คำรับรองคุณภาพวารสาร ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2568 - 31 ธันวาคม 2572 โดยเปิดรับบทความในขอบเขต ดังนี้ 1) การประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีเพื่อการวิจัย พัฒนา และสร้างสรรค์ 2) การศึกษาและบูรณาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสู่การเรียนรู้ตลอดชีวิต และ 3) สหวิทยาการด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาท้องถิ่นและสังคม โดยกำหนดออกปีละ 3 ฉบับ ได้แก่ ฉบับที่ 1 ประจำเดือน มกราคม - เมษายน ฉบับที่ 2 ประจำเดือน พฤษภาคม - สิงหาคม และฉบับที่ 3 ประจำเดือน กันยายน - ธันวาคม ทั้งบทความวิจัยและบทความวิชาการ รูปแบบการตีพิมพ์บทความภาษาไทยและบทความภาษาอังกฤษ

สำหรับฉบับนี้เป็นปีที่ 4 ฉบับที่ 2 ประจำเดือน พฤษภาคม - สิงหาคม พ.ศ. 2569 มีบทความ จำนวน 16 บทความ แบ่งเป็นบทความวิจัย จำนวน 16 เรื่อง ซึ่งผ่านการประเมินคุณภาพของบทความจากคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Reviewer) อย่างน้อยสองท่านที่มีความเชี่ยวชาญตรงตามสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องจากหลากหลายสถาบัน รูปแบบการประเมินบทความเป็นแบบผู้ทรงคุณวุฒิไม่ทราบชื่อผู้นิพนธ์และผู้นิพนธ์ไม่ทราบชื่อผู้ทรงคุณวุฒิ (Double-Blind Peer Review) ทั้งนี้บทความได้มีการแก้ไขตามข้อเสนอของผู้ทรงคุณวุฒิและบรรณาธิการเป็นที่เรียบร้อยแล้ว

กองบรรณาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่าบทความที่เผยแพร่ในวารสารคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสร้างสรรค์ จะเป็นแหล่งเรียนรู้ออนไลน์ที่สำคัญทางคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสร้างสรรค์ เป็นแหล่งเผยแพร่ทางวิชาการให้กับนักวิจัยและนักวิชาการ และเป็นประโยชน์ให้กับผู้อ่านและการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

อาจารย์ ดร.วิจิตรา โพธิสาร
บรรณาธิการ

Citation:
บทความในวารสารนี้อยู่ภายใต้สัญญาอนุญาตครีเอทีฟคอมมอนส์ (Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International : CC BY-NC-ND 4.0)

ISSN 2985-1580 (Print)
ISSN 2985-1599 (Online)

สารบัญ

Article ID

บทนำ I-VII

บทความวิจัย

- A Principal Component Analysis of Key Factors Influencing Enrollment Decisions in a Bachelor of Business Administration Program e3446
  Umaporn Chaisoong, Thitimaporn Waenphet, Nonthakan Nganjaturus, Jandara Suksam, Thanet Yothasiri, Waraluck Maprasom

- การพัฒนาระบบโมบายแอปพลิเคชันเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวจังหวัดพระนครศรีอยุธยา e3495
  อธิบ โพทอง, ก้องภพ จันทร์ประโคน

- การเรียนรู้เชิงลึกเพื่อเพิ่มความแม่นยำและลดเวลาหน่วงของการพยากรณ์ข้อมูลอนุกรมเวลา e3550
  ณภัทร จงกล, ธนัญ จารุวิทยโกวิท

- การออกแบบและพัฒนาสถาปัตยกรรมจีโอเฟนซิงแบบโลว์โค้ดสำหรับการบริหารจัดการการลงเวลาปฏิบัติงานเชิงพื้นที่ในองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น e3674
  สุรพล ชุ่มกลิ่น, กฤษณ์ ชัยวัณณคุปต์, มานิตย์ พ่วงบางโพ

- การพัฒนาระบบควบคุมคุณภาพอากาศในตู้รองเท้าเพื่อป้องกันการเกิดกลิ่นสะสม e3714
  พิมพ์ลิดา สายวิวัฒน์, อภิเษก หงษ์วิทยากร

- การพัฒนาระบบเฝ้าระวังประสิทธิภาพและความปลอดภัยพื้นฐานของระบบให้บริการสารสนเทศ e3760
  ชยพล สุวรรณวร, ชัยพร เขมะภาตะพันธ์

- ระบบตรวจจับและรู้จำป้ายทะเบียนรถจักรยานยนต์ที่ขับขี่บนทางเท้าโดยใช้เทคนิค Deep Learning e3827
  พิเชษฐ์ แก้วเจริญ, ธนัญ จารุวิทยโกวิท

- การยกระดับประสิทธิภาพการให้อาหารหนอนไหมตามช่วงวัยด้วยเทคโนโลยีแชทบอทเพื่อเพิ่มกำลังการผลิตผ้าไหม จังหวัดสุรินทร์ e3896
  สุพัตรา วะยะลุน, ทรงศักดิ์ มีสิทธิ์, ศุภชัย แก้วจันทร์

Citation:
บทความในวารสารนี้อยู่ภายใต้สัญญาอนุญาตครีเอทีฟคอมมอนส์ (Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International : CC BY-NC-ND 4.0)

ISSN 2985-1580 (Print)
ISSN 2985-1599 (Online)

สารบัญ (ต่อ)

Article ID

บทความวิจัย

- การประยุกต์ใช้ AI เพื่อควบคุมระบบปรับอากาศตามปริมาณผู้ใช้งาน e3915
  ธาริน กุรินทร์, ชัยพร เขมะภาตะพันธ์

- รูปแบบการส่งเสริมทักษะการรู้เท่าทันสื่อสำหรับสังคมสูงวัยโดยใช้การมีส่วนร่วมของสมาชิกในครอบครัว e4130
  พีรญา ทองเฉลิม, ปริญา ปริพุฒ

- การเรียนรู้ของเครื่องโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบกระจายย้อนกลับชนิดหน่วงเวลาเพื่อระบุตำแหน่งปัญหาลูปในเครือข่ายสวิตช์เลเยอร์ 2 e4181
  สรเดช เชาวินัย, นิติเศรษฐ์ หมวดทองอ่อน, อภิรดา จิตจริง

- Application of Simplified QFD for Selecting 3D-CAD FOSS in Mechanical Engineering Education: A Case Study in Private Educational Institution e4187
  Chatchawan Sornsiri, Soonthorn Wongsen, Vit Wanvijit

- การออกแบบและพัฒนาแบบนิทรรศการจำลอง 3 มิติเชิงวัฒนธรรม ณ อุทยานวัฒนธรรมสร้างสรรค์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน e4203
  สิทธิศักดิ์ รัตนประภาวรรณ, วัลลภ ศรีสำราญ, พหลยุทธ บุตรจู

- การพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ร่วมกับเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์เพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์และความสามารถในการแก้ปัญหาของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 e4205
  อรรถพล กล่อมรักษ์, ศิวนิต อรรถวุฒิกุล

- การพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจบนฐานข้อมูลบูรณาการเพื่อการชี้เป้าและติดตามการช่วยเหลือครัวเรือนยากจนเชิงพื้นที่: กรณีศึกษาจังหวัดนครราชสีมา e4212
  ฉัฐระพี โพธิ์ปิติกุล

- การใช้ปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ร่วมกับกิจกรรมสะท้อนคิดเพื่อส่งเสริมการคิดเชิงวิพากษ์ของนักศึกษาระดับปริญญาตรี e4324
  วชิระ โมราชาติ, ณรัช ไชยชนะ

Citation:
บทความในวารสารนี้อยู่ภายใต้สัญญาอนุญาตครีเอทีฟคอมมอนส์ (Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International : CC BY-NC-ND 4.0)

May-August 2026, 4(2), e3446
DOI: 10.65205/jcct.2026.e3446
Journal of Computer and Creative Technology
วารสารคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสร้างสรรค์
ISSN 2985-1580 (Print)
ISSN 2985-1599 (Online)

(Research Article)

A Principal Component Analysis of Key Factors Influencing Enrollment Decisions in a Bachelor of Business Administration Program

Umaporn Chaisoong[1,*], Thitimaporn Waenphet[2], Nonthakan Nganjaturus[3], Jandara Suksam[4], Thanet Yothasiri[5], and Waraluck Maprasom[6]

[1,2,3,4,5,6]Program in Digital Business Technology, Faculty of Management Technology, Rajamangala University of Technology Isan Surin Campus, Surin 32000, Thailand;
Email: [1]umaporn.ch@rmuti.ac.th, [2]thitimaporn.wa@rmuti.ac.th, [3]nonthakan.ng@rmuti.ac.th, [4]jandara.su@rmuti.ac.th, [5]prawit.yo@rmuti.ac.th, [6]waraluck.ku@rmuti.ac.th

[*]*Corresponding author:* Umaporn Chaisoong (umaporn.ch@rmuti.ac.th)

Received: 27 January 2026; **Revised:** 14 June 2026; **Accepted:** 1 July 2026; **Published:** 12 July 2026

Abstract

This study aims to identify and extract the key factors influencing students' enrollment decisions in higher education by adopting a data-driven analytical approach. Principal Component Analysis (PCA) was employed within the CRISP-DM framework to systematically analyze quantitative data collected from 571 prospective students across three provinces in Thailand. The survey instrument comprised 45 observed variables. Data suitability tests indicated strong adequacy for factor analysis, with a Kaiser–Meyer–Olkin (KMO) value of 0.963 and a statistically significant Bartlett's Test of Sphericity. The PCA results, using Varimax rotation, revealed five latent components shaping enrollment decisions: financial readiness, institutional support and safety, student identity formation, technological and curriculum relevance, and peer guidance. The findings demonstrate that enrollment decision-making is multidimensional and hierarchical, extending beyond academic reputation to include economic, psychosocial, and experiential considerations. Academically, this study contributes by integrating PCA with educational data mining to provide a structured interpretation of student choice behavior. Practically, the results offer evidence-based insights to support curriculum development, targeted communication strategies, and enrollment policy design in higher education institutions.

Keywords: Enrollment Decision, Principal Component Analysis, Data Mining, Higher Education, Surin

Copyright © 2026 Journal of Computer and Creative Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC-ND).

Citation:
Chaisoong, U., Waenphet, T., Nganjaturus, N., Suksam, J., Yothasiri, T., & Maprasom, W. (2026). A Principal Component Analysis of Key Factors Influencing Enrollment Decisions in a Bachelor of Business Administration Program. *Journal of Computer and Creative Technology, 4*(2), e3446. https://doi.org/10.65205/jcct.2026.e3446

(Research Article)

1. Introduction

Over the past decade, higher education institutions worldwide have faced increasingly intense competition for student enrollment, driven by demographic decline, reduced birth rates, and the rapid expansion of alternative learning pathways such as online education and lifelong learning models. These structural changes have reshaped how prospective students evaluate educational opportunities, making enrollment decisions more complex and multifaceted than in previous generations (Marginson, 2016; OECD, 2021). Rather than relying solely on institutional reputation or anticipated employment outcomes, students now consider a wider range of factors, including financial circumstances, perceived educational value, personal aspirations, and alignment between institutional offerings and individual goals (Hemsley-Brown & Oplatka, 2016). Moreover, Azzone & Soncin (2020) found that factors driving students' university choice in Italian higher education institutions included the university's geographical location, regional employment opportunities, university reputation, and ease of access. This research suggests that decision-making regarding higher education enrollment has become increasingly complex, involving multiple interconnected considerations rather than a single determining factor.

In Thailand, the continuing decline in the number of secondary school graduates has intensified competition among higher education institutions and increased pressure to develop more effective recruitment and curriculum management strategies. Many universities now use a public relations strategy that leverages new media and famous people to reach prospective students while developing international programs aligned with current trends and future labour market needs. (Somyoonsab, 2017). However, students' enrollment decisions ultimately depend on how well a program and an institution meet their needs and expectations (Kanjanasamranwong et al., 2017). As a result, understanding the factors that shape students' enrollment decisions has become a strategic priority rather than merely an academic concern (Daniel, 2015). Although previous studies have identified numerous determinants of educational choice, many have examined these variables independently or using descriptive approaches, resulting in fragmented findings and a limited understanding of the underlying decision-making structure. Moreover, educational decision-making data are often characterized by high dimensionality and substantial intercorrelations among variables, making it difficult to distinguish the most influential determinants using conventional analytical techniques (Romero & Ventura, 2020). Similar concerns have been highlighted in recent factor-analytic studies, which emphasize that students' educational choices emerge from the interaction of institutional, economic, social, family, and personal considerations rather than from isolated factors alone (Lee et al., 2026). Consequently, there is a growing need for analytical approaches capable of identifying latent structures that can explain how these factors collectively influence enrollment behavior.

To address this challenge, the present study employs Principal Component Analysis (PCA) within a structured data-analytic framework to identify and consolidate the principal factors influencing students' decisions to enroll in a Bachelor of Business Administration program. PCA is particularly suitable for reducing large sets of interrelated variables to a smaller number of interpretable components while preserving substantial information from the original dataset (Jolliffe & Cadima, 2016). By uncovering the latent structure underlying enrollment decisions, this study contributes to a deeper understanding of student choice behavior and provides evidence that can support institutional planning and decision-making. The findings are expected to inform curriculum development, student recruitment strategies, and targeted communication initiatives, thereby supporting more effective enrollment management and

enhancing institutional competitiveness in an increasingly challenging higher education environment (Daniel, 2015; Romero & Ventura, 2020).

2. Research Objectives

The objectives of this study are threefold:

1. To identify the principal components that influence students' decisions to enroll in a Bachelor of Business Administration program.
2. To classify and reduce the dimensionality of enrollment decision factors with statistical significance.
3. To apply data-driven analytical results to the development of targeted communication strategies aligned with students' needs.

3. Literature Review

Recent scholarship on higher education enrollment decisions increasingly conceptualizes student choice as a multidimensional and context-dependent process shaped by economic, psychosocial, and institutional factors. While earlier studies predominantly emphasized institutional reputation and employability outcomes, contemporary research demonstrates a shift toward more complex evaluative frameworks incorporating perceived value, student–institution fit, and experiential considerations (Hemsley-Brown & Oplatka, 2016). However, despite this conceptual advancement, empirical studies remain fragmented, often lacking integrative analytical approaches that capture underlying decision structures.

A recurring concern in the literature is that enrollment-related variables are often examined in isolation, resulting in a limited understanding of how economic, social, institutional, and personal influences interact within a broader decision-making framework. Although factor-based approaches have been increasingly adopted to classify related variables, many studies focus primarily on identifying groups of factors without adequately explaining the latent structure that connects them (Lee et al., 2026). Furthermore, the high dimensionality and intercorrelation of educational decision data pose methodological challenges that cannot be adequately addressed by conventional descriptive analyses alone (Romero & Ventura, 2020). These limitations suggest a need for analytical techniques that reduce complexity while preserving meaningful relationships among variables. Consequently, approaches such as Principal Component Analysis (PCA) offer a valuable means of uncovering interpretable latent structures that can support both theoretical understanding and evidence-based decision making in higher education contexts (Jolliffe & Cadima, 2016).

3.1 Changing Landscape of Higher Education Enrollment Decisions

The environment surrounding higher education enrollment has changed considerably over the last decade. Demographic decline, lower birth rates, and the expansion of alternative educational pathways have increased competition among institutions and diversified students' expectations (Marginson, 2016; OECD, 2021). Earlier studies frequently portrayed enrollment decisions as rational choices based primarily on academic reputation or future employment opportunities. More recent evidence, however, suggests that students evaluate educational options based on a broader set of considerations, including affordability, institutional support, personal development opportunities, and perceived compatibility with their future aspirations (Hemsley-Brown & Oplatka, 2016). These findings indicate that enrollment

decisions are increasingly shaped by multiple interconnected influences rather than by a single dominant factor, highlighting the need for analytical approaches capable of capturing complex decision structures.

3.2 Student Choice Theory and Hierarchical Decision-Making

Student Choice Theory, particularly the three-stage model proposed by Hossler & Gallagher (1987), remains a foundational framework for understanding enrollment behavior. Empirical evidence consistently supports the role of financial feasibility and accessibility as primary filters in early decision stages (Hossler et al., 2009). However, more recent studies challenge the linearity of this model, arguing that decision-making processes are increasingly iterative and influenced by dynamic interactions among institutional, social, and psychological factors (Paulsen, 2001). This suggests that while Student Choice Theory provides a useful structural lens, it may oversimplify the complexity of contemporary enrollment behavior, particularly in data-rich environments where multiple factors interact simultaneously.

3.3 Maslow's Hierarchy of Needs in Educational Decision Contexts

Maslow's Hierarchy of Needs offers a complementary explanatory framework by situating enrollment decisions within a layered motivational structure (Maslow, 1943). Empirical studies in higher education consistently demonstrate that financial stability and safety function as foundational conditions, while higher-order motivations such as belonging, esteem, and self-actualization influence later-stage decision preferences (Kuh et al., 2010). However, the application of Maslow's framework in educational research remains largely interpretive rather than empirically validated. While some studies have observed variables with hierarchical needs, few systematically test these relationships using structured multivariate techniques. This highlights a gap between theoretical interpretation and empirical validation.

3.4 Data Mining and Factor-Based Approaches in Enrollment Research

To address the complexity of enrollment decision-making, recent research has increasingly employed data mining and multivariate statistical techniques to uncover latent patterns in high-dimensional datasets (Romero & Ventura, 2020). Principal Component Analysis (PCA) has been widely used for dimensionality reduction and to enhance interpretability (Jolliffe & Cadima, 2016). While factor-based studies in the Thai context consistently identify economic, institutional, and social clusters (Santisirikul et al., 2023; Lertsahapan & Serttasangsri, 2020), most applications remain descriptive, focusing on variable grouping without linking findings to theoretical frameworks or strategic implications. Furthermore, few studies integrate these techniques within structured analytical processes such as CRISP-DM, limiting methodological transparency and reproducibility.

3.5 Mapping Prior Literature to the Five Extracted Components

Synthesizing prior research reveals both convergence and divergence across key dimensions. Financial readiness is consistently identified as a foundational determinant, aligning with both economic models and Maslow's lower-order needs. Institutional support and safety emerge as increasingly salient factors, reflecting a shift toward student well-being and trust-based decision-making. In contrast, identity formation and experiential engagement represent evolving dimensions that extend beyond traditional academic considerations, indicating a transition toward self-development-oriented motivations. Technological relevance and curriculum modernity further reinforce the importance of future-oriented competencies, while peer influence highlights the role of social networks in reducing uncertainty. Despite these consistencies, prior studies often treat these factors independently, lacking a unified structural representation.

3.6 Methodological Contribution: PCA within the CRISP-DM Framework

A critical limitation in existing research lies in the absence of integrated analytical frameworks that combine statistical rigor with practical applicability. While PCA and EFA are widely used, they are often applied in isolation rather than embedded in systematic data-mining processes. By incorporating PCA within the CRISP-DM framework, this study enhances methodological robustness, ensuring a structured progression from data understanding to model evaluation (Provost & Fawcett, 2013; Chaisoong & Tirakoat, 2020). This integration enables not only dimensionality reduction but also the translation of analytical findings into actionable insights.

3.7 Synthesis and Research Gap

In summary, prior literature confirms that enrollment decisions are multidimensional and influenced by interconnected economic, psychosocial, and institutional factors. However, three key gaps remain evident: (1) limited integration of theoretical frameworks such as Student Choice Theory and Maslow's Hierarchy with empirical analysis, (2) insufficient use of structured data-analytic methods to reduce dimensionality and reveal latent decision structures, and (3) a lack of translation from statistical findings to strategic and policy-oriented applications. Addressing these gaps, the present study aims to systematically identify and consolidate key factors in enrollment decisions using PCA within a structured analytical framework, thereby bridging theoretical interpretation and practical decision support in higher education.

4. Conceptual Framework

This research framework integrates theoretical perspectives with data-driven analytics to systematically explain students' enrollment decision-making processes. (see Figure 1).

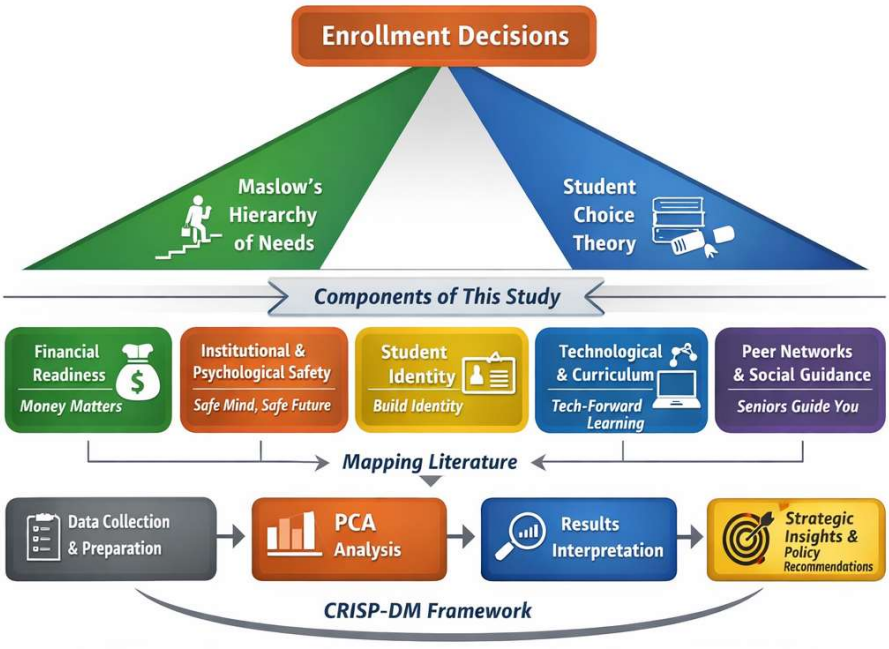


Figure 1. Research Framework
Note: Developed by the Authors and Graphic designed by ChatGPT

ISSN 2985-1580 (Print)
ISSN 2985-1599 (Online)

(Research Article)

From Figure 1., it draws on Maslow's Hierarchy of Needs and Student Choice Theory to conceptualize the hierarchical structure of motivations and decision behaviors. Empirical data are processed within the CRISP-DM framework, encompassing data preparation, Principal Component Analysis (PCA) for analysis, and strategic interpretation of results. The factor extraction yields five core components: financial readiness; institutional safety and support; student identity formation; curriculum and technological modernity; and the role of student networks. Collectively, this framework establishes a coherent link between statistical evidence and higher education policy formulation, enabling institutions to translate analytical insights into strategic management actions in a rigorous, academically verifiable manner.

5. Research Methodology

5.1 Research Design

This study employs a quantitative, data-driven research design to identify and consolidate key factors influencing students' enrollment decisions in a Bachelor of Business Administration program. While the study follows the CRISP-DM (Cross-Industry Standard Process for Data Mining) framework to ensure a systematic and replicable workflow—covering business understanding, data preparation, modeling, and evaluation—the core analytical technique is Principal Component Analysis (PCA), a multivariate statistical method appropriate for high-dimensional, intercorrelated educational data. In this context, CRISP-DM serves as a procedural framework, whereas PCA is used for dimensionality reduction and structural summarization rather than predictive data mining.

5.2 Population and Sample

The population comprised prospective students and individuals with the potential to apply for a Bachelor of Business Administration program within the study area. Data were collected via an online questionnaire (Google Forms) using purposive sampling to ensure alignment with the research objectives. A total of 571 valid responses were obtained from three provinces—Buriram, Surin, and Sisaket—representing the primary recruitment region of Rajamangala University of Technology Isan, Surin Campus.

The sample size meets established guidelines for factor/component analysis, which recommend at least 5–10 respondents per observed variable. With 45 observed variables, the achieved sample exceeds the minimum requirement, supporting stable component extraction and reliable estimation.

5.3 Research Instrument and Variables

Data were collected using a structured questionnaire developed from a comprehensive literature review on higher education enrollment behavior, educational marketing, Student Choice Theory, and Maslow's Hierarchy of Needs. The instrument employed a five-point Likert scale and included 45 observed variables (see Table 1.). To support international readability, the English version of all questionnaire items is provided alongside the original Thai items in Appendix A (and/or Bilingual Labels within Table 1.).

Content validity was assessed using the Index of Item–Objective Congruence (IOC) by three subject-matter experts, yielding values between 0.70 and 1.00, indicating strong alignment between items and constructs. The instrument was pilot-tested for clarity and consistency prior to full deployment.

Table 1. Question Items and Factor

No.	Question Items	Factor
1	Does your family have sufficient financial stability?	phy1
2	Does your family have enough savings for higher education expenses?	phy2
3	Does your family income adequately support your education?	phy3
4	Are educational expenses manageable for you?	phy4
5	Do you receive sufficient financial support?	phy5
6	Are tuition fees reasonable and affordable?	phy6
7	Are transportation costs manageable?	phy7
8	Is the institution located in a safe area?	safety8
9	Is the campus environment safe for students?	safety9
10	Are there adequate security systems in the institution?	safety10
11	Are academic support services sufficient?	safety11
12	Do you receive recommendations from teachers?	social12
13	Do your parents support your educational choices?	social13
14	Do your peers influence your decision?	social14
15	Are there activities that promote student interaction?	social15
16	Do alumni influence your decision?	social16
17	Is the program curriculum attractive?	esteem17
18	Is the institution well recognized?	esteem18
19	Do program rankings influence your decision?	esteem19
20	Does the institution offer diverse learning experiences?	esteem20
21	Does the institution have a good reputation?	esteem21
22	Does the curriculum align with current technology trends?	self22
23	Does the program enhance problem-solving skills?	self23
24	Does the institution support career opportunities?	self24
25	Does the curriculum align with labor market needs?	self25
26	Are modern technologies integrated into learning?	self26
27	Does the program promote innovation and creativity?	self27
28	Are learning resources sufficient?	self28
29	Are facilities modern and adequate?	self29
30	Are learning materials useful and up-to-date?	self30
31	Does the institution provide career guidance?	self31
32	Are extracurricular activities well organized?	self32
33	Is communication between students and staff effective?	self33
34	Are students supported in academic development?	self34
35	Are learning opportunities diverse?	self35
36	Are academic advising services available?	self36
37	Are internship opportunities provided?	self37
38	Does the institution support new student adaptation?	self38
39	Does the curriculum respond to societal needs?	self39

Table 1. Question Items and Factor (Cont.)

No.	Question Items	Factor
40	Are instructors knowledgeable and competent?	self40
41	Are collaborative learning activities encouraged?	self41
42	Are academic consultations accessible?	self42
43	Are learning resources regularly updated?	self43
44	Are student–faculty interactions encouraged?	self44
45	Does the institution provide career pathways after graduation?	self45

5.4 Data Collection Procedure

Data were collected online between February and March 2025 to ensure broad and efficient access to the target population. Prior to analysis, data quality checks were conducted. Responses with substantial incompleteness or patterned answering (e.g., Straight-Lining) were removed. The remaining dataset was screened to ensure adequacy for multivariate analysis.

5.5 Data Analysis Techniques

Data analysis followed a structured multi-stage procedure.

5.5.1 Data Preprocessing

1. Missing values: Cases with excessive missingness were excluded; remaining item-level missing values were minimal and handled using mean imputation due to the ordinal Likert structure and low missing rate.

2. Outlier detection: Multivariate outliers were examined using Mahalanobis distance ($p < .001$ Threshold), and influential cases were reviewed and removed where justified.

3. Assumptions and transformation: Variables were inspected for distributional anomalies; although PCA does not require strict normality, extreme skewness was mitigated where necessary (e.g., Winsorization). Variables were standardized (Z-scores) to ensure comparability and to prevent scale dominance.

5.5.2 Suitability for Component Analysis

The Kaiser–Meyer–Olkin (KMO) Measure of Sampling Adequacy and Bartlett's Test of Sphericity were applied to evaluate factorability. The KMO statistic assesses the proportion of common variance among variables relative to partial correlations; values above 0.60 indicate adequacy, with values above 0.90 considered "excellent" (Kaiser, 1974; Hair et al., 2019). Bartlett's Test assesses whether the correlation matrix differs significantly from the identity matrix, indicating sufficient intercorrelations for extraction.

5.5.3 Principal Component Analysis (PCA)

PCA was employed to reduce dimensionality and summarize the variance structure of the dataset (Jolliffe & Cadima, 2016). Components were retained based on eigenvalues greater than 1. To enhance interpretability for managerial applications, an orthogonal Varimax rotation was applied, maximizing variance of loadings within components and minimizing cross-loadings. A loading threshold of ≥ 0.50 was adopted to indicate meaningful associations between variables and components. The total variance explained and rotated component matrix were examined to ensure a stable and interpretable solution.

5.6 Strategic Application of Analytical Results

The extracted components provide empirically grounded dimensions for decision support in higher education management. Specifically, the results inform (i) targeted communication strategies aligned with student segments, (ii) curriculum development responsive to technological relevance and identity formation, and (iii) enrollment policy design addressing financial and psychosocial needs. By embedding PCA within a structured CRISP-DM workflow, the study ensures that statistical findings are translated into actionable insights, enhancing institutional competitiveness and evidence-based planning.

6. Results

This section presents the empirical findings in alignment with the three research objectives. The results are reported in a structured, step-by-step manner, with a focus on statistical procedures and numerical outcomes. Interpretations and theoretical implications are intentionally reserved for the Discussion section.

6.1 Identification of the Principal Components Influencing Students' Decisions to Enroll in the Bachelor of Business Administration Program

To address the first research objective, the dataset's suitability for component extraction was evaluated prior to analysis. The Kaiser–Meyer–Olkin (KMO) Measure of Sampling Adequacy yielded a value of 0.963, exceeding the recommended threshold of 0.60 and indicating excellent sampling adequacy.

Bartlett's Test of Sphericity was statistically significant (χ^2 = 12,840.517, df = 990, $p < .001$), confirming that the correlation matrix significantly differed from an identity matrix.

Additionally, individual Measures of Sampling Adequacy (MSA) for all variables exceeded 0.90, indicating that all observed variables were suitable for inclusion and no variables required removal.

These results confirm that the dataset satisfies the statistical assumptions required for Principal Component Analysis and is appropriate for dimensionality reduction (see Table 2.).

Table 2. Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy (KMO) & Bartlett's Test of Sphericity

KMO and Bartlett's Test		
Kaiser–Meyer–Olkin Measure of Sampling Adequacy.		0.963
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	12840.517
	df	990
	Sig.	.000

6.2 Classification and Dimensionality Reduction of Enrollment Decision Factors into Statistically Significant Components

Principal Component Analysis (PCA) was applied to 45 observed variables to reduce dimensionality and identify significant factor groupings. Components were retained based on the eigenvalue > 1 criterion, and Varimax rotation was used to enhance interpretability. A factor loading threshold of ≥ 0.50 was applied, and variables below this threshold were excluded from the final structure.

The analysis resulted in five principal components comprising 23 retained variables. All retained variables exhibited loadings ranging from 0.500 to 0.717, indicating strong associations with their respective components.

The five components collectively explained 50.549% of the total variance, demonstrating that the reduced structure preserved a substantial proportion of the dataset's variability. The first two components accounted for the largest shares of variance (13.60% and 13.40%), while the remaining components contributed between 5.80% and 8.90%.

The rotated component matrix revealed a clear structure: Component 1 (7 Variables), Component 2 (8 Variables), Component 3 (4 Variables), Component 4 (2 Variables), and Component 5 (2 Variables). These findings indicate that high-dimensional enrollment data can be effectively reduced into a smaller set of statistically meaningful components.

Table 3. Component Loadings Matrix Obtained from the Varimax-Rotated Solution

Component 1	Component 2	Component 3	Component 4	Component 5
self34 (0.651)	self42 (0.598)	phy3 (0.712)	esteem17 (0.663)	social12 (0.717)
self26 (0.591)	esteem21 (0.557)	phy1 (0.674)	self22 (0.658)	safety8 (0.564)
self41 (0.561)	self28 (0.550)	phy2 (0.663)		
self33 (0.532)	safety10 (0.546)	phy4 (0.662)		
safety11 (0.513)	self43 (0.525)			
self37 (0.506)	social14 (0.515)			
esteem19 (0.500)	esteem20 (0.512)			

Note. Varimax rotation was applied. Only factor loadings ≥ 0.50 are reported.

Table 3. presents the Varimax-rotated component loadings derived from Principal Component Analysis (PCA) applied to 45 observed variables. Components were retained based on the eigenvalue-greater-than-one criterion, and variables with factor loadings below 0.50 were excluded. The final solution consists of five principal components comprising 23 retained variables, indicating a clear and interpretable factor structure.

Table 4. Component Statistics and Explained Variance

Component	SS Loadings	% of Variance	Cumulative %
1	6.130	13.6	13.60
2	6.050	13.4	27.10
3	4.000	8.9	36.00
4	3.820	8.5	44.40
5	2.590	5.8	50.20

Table 4. presents the five principal components were retained based on their eigenvalues, collectively explaining 50.20% of the total variance. Component 1 accounts for the highest variance at 13.6%, followed closely by Component 2 at 13.4%, indicating their dominant contribution to the model. Components 3 to 5 contribute moderate proportions of variance, ranging from 5.8% to 8.9%, reflecting their complementary roles. The cumulative variance increases progressively across components, demonstrating an effective reduction of dimensionality while preserving a substantial portion of the dataset's information.

Table 5. Kaiser–Meyer–Olkin (KMO) Measure of Sampling Adequacy

Question Item	MSA	Question Item	MSA
phy1	0.943	Esteem21	0.934
phy3	0.941	self22	0.961
phy4	0.938	self23	0.949
Phy5	0.940	self24	0.931
Phy7	0.931	self37	0.928
safety8	0.933	self38	0.946
Safety9	0.946	self40	0.959
social12	0.939	self41	0.947
social14	0.951	self42	0.949
esteem16	0.928	self43	0.949
esteem17	0.967	self44	0.974
esteem19	0.935	self45	0.973
Overall = 0.963			

From Table 5., the findings further confirm the robustness of the dataset for PCA. The overall KMO value remained at 0.963, which is classified as "excellent," while the individual Measures of Sampling Adequacy (MSA) for all variables exceeded 0.90. Collectively, these results indicate that all questionnaire items were of high quality and that no variables required removal from the analysis.

Table 6. Total Variance Explained

Component	Initial Eigenvalues		Extraction Sums of Squared Loadings		Rotation Sums of Squared Loadings	
	Total	% of Variance	Total	% of Variance	Total	% of Variance (Cumulative)
1	17.567	39.038	17.567	39.038	6.153	13.674
2	1.564	3.476	1.564	3.476	6.056	27.133
3	1.444	3.210	1.444	3.210	4.051	36.135
4	1.121	2.491	1.121	2.491	3.867	44.728
5	1.050	2.334	1.050	2.334	2.622	50.549

From Table 6., shows that five components with eigenvalues greater than one were retained, collectively accounting for 50.549% of the total variance. The Extraction Sums of Squared Loadings confirm that these retained components preserved the same level of explanatory power. After Varimax rotation, the variance was more evenly distributed across components, thereby enhancing interpretability while maintaining the overall cumulative explained variance.

Interpretation of Factor Extraction Results found that the extracted components provide a clear, system-level representation of students' enrollment decision-making processes were as follows:

Component 1: Build Identity reflects institutional learning experiences and student identity formation through engagement, interaction, skill development, and institutional attachment.

(Research Article)

Component 2: Safe Mind, Safe Future highlights the importance of psychological support, safety, recognition, and a caring institutional environment.

Component 3: Money Matters captures financial readiness and affordability as prerequisite conditions for enrollment decisions.

Component 4: Tech-Forward Learning emphasizes curriculum reputation and technological relevance as signals of future opportunity and social value.

Component 5: Seniors Guide You underscores the role of peer networks and perceived safety in reducing uncertainty during the decision process.

Evaluation of PCA and CRISP-DM: The evaluation of the analytical process within the CRISP-DM framework demonstrates that PCA was appropriately and effectively applied to behavioral educational data. During the Data Understanding and Data Preparation phases, questionnaire data were systematically transformed and validated, ensuring readiness for factor extraction. In the Modeling phase, PCA with Varimax rotation successfully reduced dimensionality while producing a stable and interpretable factor structure with minimal cross-loadings.

During the Evaluation phase, the extracted components collectively explained students' enrollment decisions across economic, social, psychological, and institutional dimensions, aligning well with the study's objectives and broader higher education policy contexts. These findings confirm that PCA, when embedded within the CRISP-DM framework, offers not only statistical rigor but also strong interpretive and strategic value.

6.3 The Data-Driven Analytical Findings Enabled the Development of Targeted Communication Strategies Tailored to Students' Needs

Regarding the third research objective, the extracted components provide a solid empirical basis for translating analytical findings into targeted communication strategies aligned with students' needs. Each principal component corresponds to a distinct decision dimension that can be directly mapped onto institutional messaging and policy design. Financial readiness underscores the importance of communicating affordability, scholarships, and financial support mechanisms, while institutional support and safety highlight the strategic value of emphasizing student well-being, counseling services, and secure learning environments. Components related to identity formation and technological relevance suggest that students increasingly respond to narratives centered on personal development, meaningful engagement, and future-oriented competencies. Additionally, the role of peer guidance indicates that student networks and senior mentorship function as effective mechanisms for reducing uncertainty during the enrollment process. Methodologically, embedding PCA within the CRISP-DM framework ensures that these insights emerge from a structured, transparent, and reproducible analytical workflow. Consequently, the findings not only satisfy the third objective but also demonstrate how data-driven analysis can inform evidence-based communication and enrollment strategies in a competitive higher education context.

7. Conclusion

This study employed a quantitative, data-driven approach to investigate the key factors influencing students' enrollment decisions in a Bachelor of Business Administration program. Principal Component Analysis (PCA) was applied to 45 observed variables to perform dimensionality reduction and identify underlying factor structures. Components were retained based on the eigenvalue-greater-than-one criterion, and variables with factor loadings below 0.50 were excluded from the analysis. As a result, five

principal components were extracted, comprising a total of 23 retained variables. The dataset was confirmed to be highly suitable for analysis (KMO = 0.963, $p < .001$), and the extracted components collectively explained 50.549% of the total variance.

The findings demonstrate that enrollment decisions can be represented through a structured set of interrelated factors derived from high-dimensional data. The components are presented according to their relative contribution to explained variance, with the first two components accounting for the largest proportions, followed by the remaining components. This ordering reflects their statistical importance within the model and enhances the transparency of the analytical results.

Methodologically, integrating PCA within the CRISP-DM framework strengthens analytical rigor by ensuring a systematic and reproducible process from data preparation to model evaluation. The resulting component structure provides a coherent and interpretable representation of enrollment decision factors, offering a robust empirical foundation for further interpretation and application in higher education research and strategic planning contexts.

8. Discussion

The results of this study provide empirical support for all three research objectives and offer a structured interpretation of students' enrollment decision-making processes. First, the identification of five principal components confirms that enrollment decisions are not determined by isolated variables but by multidimensional clusters of interrelated factors. This finding is consistent with prior research suggesting that higher education choice is influenced by a combination of economic, psychosocial, and institutional dimensions rather than purely academic considerations (Hemsley-Brown & Oplatka, 2016; Marginson, 2016; Azzone & Soncin, 2020).

Second, the dimensionality reduction achieved through PCA demonstrates that complex decision-related variables can be systematically grouped into a smaller number of statistically meaningful components. The retained five-component structure, explaining over 50% of the total variance, indicates that the extracted factors capture a substantial portion of the variability in students' decision patterns. Importantly, the extracted components are presented according to their relative contribution to the explained variance, with Component 1 and Component 2 accounting for the largest proportions, followed by Components 3, 4, and 5. This ordering is derived from the explained variance obtained through PCA rather than subjective interpretation, thereby enhancing the transparency and interpretability of the findings. These findings are consistent with Jolliffe and Cadima (2016), who emphasized that PCA is particularly effective for reducing data dimensionality while maintaining meaningful structural relationships among variables. Similarly, Romero and Ventura (2020) argued that dimensionality reduction techniques are increasingly valuable in Educational Data Mining because they simplify complex educational datasets and facilitate knowledge discovery without compromising analytical quality. Furthermore, the identified components are partially consistent with the findings of Kanjanasamranwong et al. (2017), who reported that institutional quality and reputation, institutional environment, social factors, and economic and financial factors were among the key determinants of students' decisions to enroll in higher education institutions.

From a theoretical perspective, the findings align with both Student Choice Theory and Maslow's Hierarchy of Needs (Maslow, 1943). The components associated with financial readiness and institutional safety reflect foundational decision conditions, consistent with cost-related filtering mechanisms and

lower-level needs. In contrast, components related to identity formation, peer influence, and technological relevance correspond to higher-order motivations, including belonging, esteem, and self-development. However, rather than implying a strictly linear hierarchy, the results suggest that these factors operate in an interconnected and context-dependent manner.

Third, the application of the extracted components demonstrates how data-driven analytical results can support decision-making processes. The transformation of high-dimensional survey data into interpretable structures enables clearer categorization of enrollment factors, facilitating their use in strategic planning and communication design. Unlike previous studies that relied primarily on descriptive analysis (Santisirikul et al., 2023; Lertsahapan & Serttasangsri, 2020), most applications remain descriptive, focusing on variable grouping without linking findings to theoretical frameworks or strategic implications. However, the present study employs a data-driven analytical approach, providing a more systematic and reproducible basis for understanding student behavior. These findings are consistent with previous research emphasizing the value of data-driven analytical techniques for identifying latent decision structures and supporting evidence-based decision-making in higher education (Jolliffe & Cadima, 2016; Romero & Ventura, 2020).

Overall, the findings highlight the importance of integrating statistical analysis with theoretical frameworks to capture the complexity of enrollment decisions. The results contribute to the literature by offering both methodological clarity and a structured representation of decision factors, while also providing a foundation for evidence-based applications in higher education contexts.

9. Recommendations

The findings offer several implications for higher education institutions seeking to improve enrollment management. The results indicate that students' decisions are influenced by a combination of financial, institutional, social, and personal factors rather than academic considerations alone. Consequently, universities should consider adopting a more student-centered approach by strengthening financial assistance, support services, opportunities for personal development, technology-enhanced learning environments, and peer-support initiatives. Such efforts may help institutions better respond to students' expectations and enhance their overall attractiveness.

The extracted components also provide a useful evidence base for strategic planning and communication. By understanding the factors that shape enrollment decisions, institutions can develop more targeted communication strategies, improve curriculum relevance, and design support systems that encourage student engagement and institutional commitment.

Several limitations should be acknowledged. The study was conducted within a specific geographical context using purposive sampling, which may restrict the generalizability of the findings. In addition, PCA is intended to identify latent structures and does not establish causal relationships among variables.

Future research should examine broader educational contexts and employ complementary analytical approaches. Techniques such as Association Rule Mining may reveal hidden patterns among enrollment factors, while Structural Equation Modeling can be used to investigate causal relationships and validate the component structure identified in this study.

10. Declaration of Generative AI

The authors declare that generative artificial intelligence was used exclusively for linguistic assistance, including grammar checking, wording improvement, and literature review. No AI tools were involved in data analysis, interpretation, or the generation of research findings. The authors retain full responsibility for the accuracy, integrity, and originality of the work.

11. CRediT Author Statement

Umaporn Chaisoong: Conceptualization, Methodology, Formal Analysis, Writing-Original Draft, Writing-Review and Editing, Supervision, and Project Administration.

Thitimaporn Waenphet: Data Curation, Investigation, Visualization.

Nonthakan Nganjaturas: Data Curation, Investigation, Visualization.

Jandara Suksam: Conceptualization, Methodology, Formal Analysis, Writing-Original Draft.

Thanet Yothasiri: Data Curation, Investigation, Visualization.

Waraluck Maprasom: Conceptualization, Methodology, Formal Analysis, Writing-Original Draft.

The author has read and approved the final manuscript.

12. References

Azzone, G., & Soncin, M. (2020). Factors Driving University Choice: A Principal Component Analysis on Italian Institutions. *Studies in Higher Education, 45*(12), 2426–2438. https://doi.org/10.1080/03075079.2019.1612354

Chaisoong, U., & Tirakoat, S. (2020). The Clustering of Questions Affect to Tourist's Decision Making for Chatbot Design. *2020 17th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology*, 784–787. Institute of Electrical and Electronics Engineers. https://doi.org/10.1109/ecti-con49241.2020.9158069

Daniel, B. (2015). Big Data and Analytics in Higher Education: Opportunities and Challenges. *British Journal of Educational Technology, 46*(5), 904–920. https://doi.org/10.1111/bjet.12230

Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2019). *Multivariate Data Analysis* (8th ed.). Cengage Learning.

Hemsley-Brown, J., & Oplatka, I. (2016). *Higher Education Consumer Choice*. Palgrave Macmillan. https://doi.org/10.1007/978-1-137-49720-8

Hossler, D., & Gallagher, K. S. (1987). Studying Student College Choice: A Three-Phase Model and the Implications for Policymakers. *College and University, 62*(3), 207–221.

Hossler, D., Ziskin, M., Gross, J. P. K., Kim, S., & Cekic, O. (2009). Student Aid and Its Role in Encouraging Persistence. In Smart, J. C. (Ed.), *Higher Education: Handbook of Theory and Research* (24, 389–425). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9628-0_10

Jolliffe, I. T., & Cadima, J. (2016). Principal Component Analysis: A Review and Recent Developments. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 374*(2065), 20150202. https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0202

Kaiser, H. F. (1974). An Index of Factorial Simplicity. *Psychometrika, 39*(1), 31–36. https://doi.org/10.1007/bf02291575

Kanjanasamranwong, P., Urawong, K., Dam, R. M. A., & Dam, S. M. A. (2017). The Opportunities Forecast Model in Choosing to Attend the Prince of Songkhla University of Grade 12 Students, Songkhla Province. *Journal of Education Naresuan University, 19*(2), 12-24. (In Thai)

Kuh, G. D., Kinzie, J., Schuh, J. H., & Whitt, E. J. (2010). *Student Success in College: Creating Conditions that Matter*. Jossey-Bass.

Lee, T. A., Galway, G. J., Bdair, O. M., Sundly, A., Coombs, S. D., & Kennie-Kaulbach, N. R. (2026). Exploratory Factor Analysis of Decision-Making Domains Influencing Students' Pursuit of the PharmD Degree at 2 Canadian Universities. *American Journal of Pharmaceutical Education, 90*(7), 102005. https://doi.org/10.1016/j.ajpe.2026.102005

Lertsahapan, S., & Serttasangsri, C. (2020). A Study of Decision Making Factors Education in Private Vocational Institution Udon Thani Province. *Santapol College Academic Journal, 6*(2), 95-102. (In Thai)

Marginson, S. (2016). *Higher Education and the Common Good*. MUP Academic.

Maslow, A. H. (1943). A Theory of Human Motivation. *Psychological Review, 50*(4), 370–396. https://doi.org/10.1037/h0054346

OECD. (2021). *Education at a Glance 2021: OECD indicators*. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/b35a14e5-en

Paulsen, M. B. (2001). The Economics of Human Capital and Investment in Higher Education. In Paulsen, M. B., & Smart, J. C. (Eds.), *The Finance of Higher Education: Theory, Research, Policy, and Practice* (55–94). Agathon Press.

Provost, F., & Fawcett, T. (2013). *Data Science for Business: What You Need to Know about Data Mining and Data-Analytic Thinking*. O'Reilly Media.

Romero, C., & Ventura, S. (2020). Educational Data Mining and Learning Analytics: An Updated Survey. *WIREs Data Mining and Knowledge Discovery, 10*(3), e1355. https://doi.org/10.1002/widm.1355

Santisirikul, B., Arreerard, T., & Arreerard, W. (2023). Affecting Factors on the Choice of Pursuing a Bachelor's Degree Using Exploratory Factor Analysis. Journal of Research and Development Institute, Rajabhat Maha Sarakham University, 10(3), 549–566. (In Thai)

Somyoonsab, N. (2017). The Influencing Promotional Strategies towards the Decision to Study in Private University, International Programs. *Journal of Humanities and Social Sciences, Rajapruk University, 2*(3), 73-83. (In Thai)

May-August 2026, 4(2), e3495
DOI: 10.65205/jcct.2026.e3495
Journal of Computer and Creative Technology
วารสารคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสร้างสรรค์
ISSN 2985-1580 (Print)
ISSN 2985-1599 (Online)

(Research Article)

Development of a Mobile Application System for Promoting Tourism in Phra Nakhon Si Ayutthaya Province

Atip Phothong[1,*] and Kongpop Chaprakon[2]

[1,2]Program in Information Technology, Faculty of Science and Technology,
Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University, Phranakhon Si Ayutthaya 13000, Thailand;
Email: [1]atip@aru.ac.th, [2]kongpopssxs@gmail.com

[*]*Corresponding author:* Atip Phothong (atip@aru.ac.th)

Received: 4 February 2026; **Revised:** 21 May 2026; **Accepted:** 23 May 2026; **Published:** 17 July 2026

Abstract

This research aimed to: 1) develop a mobile application system to promote tourism in Phra Nakhon Si Ayutthaya Province, and 2) assess user satisfaction with the developed system. The participants consisted of 250 individuals, including Thai tourists, international tourists, local entrepreneurs, and officials from relevant agencies, selected using purposive sampling. The research instruments included a mobile application system developed for the Android operating system using Visual Studio Code, a system performance evaluation form, and a user satisfaction questionnaire. The research findings revealed that the overall performance of the mobile application system developed to promote tourism in Phra Nakhon Si Ayutthaya Province was at a high level (M = 4.37, SD = 0.58). In addition, overall user satisfaction with the system was also at a high level (M = 4.29, SD = 0.61). These findings indicate that the developed mobile application effectively enhances access to tourism information, improves usability, and enriches the overall user experience for promoting tourism in Phra Nakhon Si Ayutthaya Province.

Keywords: Mobile Application, Promotion of Tourism in Ayutthaya Province, Android Operating System

Copyright © 2026 Journal of Computer and Creative Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC-ND).

Citation:
Phothong, A, & Chaprakon, K. (2026). Development of a Mobile Application System for Promoting Tourism in Phra Nakhon Si Ayutthaya Province. *Journal of Computer and Creative Technology, 4*(2), e3495. https://doi.org/10.65205/jcct.2026.e3495

(Research Article)

การพัฒนาระบบโมบายแอปพลิเคชันเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวจังหวัดพระนครศรีอยุธยา

อธิบ โพทอง[1,*] และ ก้องภพ จันทร์ประโคน[2]

[1,2]สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13000 ประเทศไทย;
Email: [1]atip@aru.ac.th, [2]kongpopssxs@gmail.com

[*]*ผู้ประพันธ์บรรณกิจ:* อธิบ โพทอง (atip@aru.ac.th)

รับบทความ: 4 กุมภาพันธ์ 2569; **แก้ไขบทความ:** 21 พฤษภาคม 2569; **ตอบรับบทความ:** 23 พฤษภาคม 2569;
เผยแพร่บทความ: 17 กรกฎาคม 2569

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อพัฒนาระบบโมบายแอปพลิเคชันเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวจังหวัดพระนครศรีอยุธยา และ 2) เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อระบบดังกล่าว กลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ นักท่องเที่ยวชาวไทย นักท่องเที่ยวชาวต่างชาติ ผู้ประกอบการในพื้นที่ และเจ้าหน้าที่จากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง จำนวน 250 คน ซึ่งได้มาโดยการคัดเลือกแบบเจาะจง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วยระบบโมบายแอปพลิเคชันเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ซึ่งพัฒนาบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ด้วยโปรแกรม Visual Studio Code แบบประเมินประสิทธิภาพของระบบ และแบบสอบถามความพึงพอใจของผู้ใช้งาน ผลการวิจัยพบว่า ระบบโมบายแอปพลิเคชันเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวจังหวัดพระนครศรีอยุธยามีประสิทธิภาพโดยรวมอยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.37 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.58) นอกจากนี้ ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจต่อระบบโดยรวมอยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.29 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.61) ผลการวิจัยสะท้อนให้เห็นว่าระบบโมบายแอปพลิเคชันเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวจังหวัดพระนครศรีอยุธยาทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งในด้านการเข้าถึงข้อมูล การอำนวยความสะดวกในการใช้งาน และการยกระดับประสบการณ์ของผู้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: โมบายแอปพลิเคชัน, การส่งเสริมการท่องเที่ยวจังหวัดพระนครศรีอยุธยา, ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

Copyright © 2026 Journal of Computer and Creative Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC-ND).

การอ้างอิง:
อธิบ โพทอง, และ ก้องภพ จันทร์ประโคน. (2569). การพัฒนาระบบโมบายแอปพลิเคชันเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวจังหวัดพระนครศรีอยุธยา. *วารสารคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสร้างสรรค์, 4*(2), e3495. https://doi.org/10.65205/jcct.2026.e3495

(Research Article)

1. บทนำ (Introduction)

จังหวัดพระนครศรีอยุธยาเป็นแหล่งมรดกโลกทางวัฒนธรรมที่มีความสำคัญทั้งในด้านประวัติศาสตร์ ศิลปวัฒนธรรม และเศรษฐกิจการท่องเที่ยว โดยมีศักยภาพสูงในการดึงดูดนักท่องเที่ยวทั้งชาวไทยและชาวต่างชาติ (Ratanapongtra et al., 2018) อย่างไรก็ตาม การท่องเที่ยวในพื้นที่ยังคงเผชิญข้อจำกัดด้านการเข้าถึงข้อมูลแหล่งท่องเที่ยว การประชาสัมพันธ์ และการเชื่อมโยงข้อมูลเพื่อสนับสนุนการวางแผนการเดินทางอย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้ประสบการณ์ของนักท่องเที่ยวอาจไม่ต่อเนื่องและไม่สะดวกเท่าที่ควร (Rodphan, 2020; Chullasapya, 2021) ขณะเดียวกัน พฤติกรรมของนักท่องเที่ยวยุคดิจิทัลมีแนวโน้มพึ่งพาเทคโนโลยีผ่านอุปกรณ์เคลื่อนที่ในการค้นหาข้อมูล วางแผนการเดินทาง และตัดสินใจเลือกสถานที่ท่องเที่ยวมากขึ้น ทำให้ระบบสารสนเทศเพื่อการท่องเที่ยวในรูปแบบโมบายแอปพลิเคชันกลายเป็นเครื่องมือสำคัญในการตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้ในปัจจุบัน (Manna et al., 2025)

แม้ว่าจะมีการพัฒนาสื่อและแอปพลิเคชันเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวในจังหวัดพระนครศรีอยุธยาอยู่บ้าง แต่ส่วนใหญ่ยังเน้นการประชาสัมพันธ์เฉพาะด้าน หรือมีข้อจำกัดในการบูรณาการข้อมูลแหล่งท่องเที่ยว การนำทาง และการใช้งานที่เหมาะสมกับบริบทของพื้นที่ไว้ในระบบเดียวอย่างครบถ้วน (Rodphan, 2020) นอกจากนี้ งานศึกษาบางส่วนยังสะท้อนว่าข้อมูลการท่องเที่ยวมีลักษณะกระจัดกระจาย และรูปแบบการนำเสนอข้อมูลยังไม่เอื้อต่อการใช้งานจริงในระดับพื้นที่ ซึ่งทำให้การเข้าถึงแหล่งท่องเที่ยวมรดกโลกและการวางแผนเส้นทางท่องเที่ยวยังขาดความสะดวกและความต่อเนื่อง (Chullasapya, 2021) ช่องว่างดังกล่าวชี้ให้เห็นถึงความจำเป็นของการพัฒนาระบบโมบายแอปพลิเคชันที่สามารถรวบรวมข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยวที่สำคัญของจังหวัดไว้ในระบบเดียว พร้อมสนับสนุนการค้นหา การแสดงรายละเอียด การนำทาง และการวางแผนเส้นทางอย่างเป็นระบบ

จากเหตุผลดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงมุ่งพัฒนาระบบโมบายแอปพลิเคชันเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวจังหวัดพระนครศรีอยุธยา โดยออกแบบให้ตอบสนองต่อปัญหาการเข้าถึงข้อมูลท่องเที่ยวในพื้นที่จริง และสามารถสนับสนุนการใช้งานของนักท่องเที่ยวได้อย่างมีประสิทธิภาพ ความใหม่ของงานอยู่ที่การบูรณาการข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยว แผนที่ และฟังก์ชันสนับสนุนการตัดสินใจไว้ในแอปพลิเคชันเดียว เพื่อยกระดับการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมและสนับสนุนแนวทางการท่องเที่ยวดิจิทัลในระดับพื้นที่ให้มีความเป็นรูปธรรมมากยิ่งขึ้น (Thinnukool et al., 2025)

2. วัตถุประสงค์งานวิจัย (Research Objectives)

2.1 เพื่อพัฒนาระบบโมบายแอปพลิเคชันเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวจังหวัดพระนครศรีอยุธยา

2.2 เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อระบบแอปพลิเคชันเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวจังหวัดพระนครศรีอยุธยา

3. การทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)

3.1 การพัฒนาโมบายแอปพลิเคชันท่องเที่ยวด้วย Google Maps API

การพัฒนาโมบายแอปพลิเคชันเพื่อการท่องเที่ยวโดยใช้ Google Maps API เป็นแนวทางที่ช่วยสนับสนุนการแสดงข้อมูลเชิงพื้นที่ การค้นหาสถานที่ และการแนะนำเส้นทางการเดินทางได้อย่างมีประสิทธิภาพ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าเทคโนโลยีแผนที่ดิจิทัลช่วยเพิ่มความสะดวกในการเข้าถึงข้อมูลแหล่งท่องเที่ยว การวางแผนการเดินทาง และความพึงพอใจของผู้ใช้งาน (Chormuan et al., 2015; Puttitaweesri et al., 2019) ดังนั้น Google Maps API จึงเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาโมบายแอปพลิเคชันเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยว

3.2 แนวคิดเกี่ยวกับระบบสารสนเทศเพื่อการท่องเที่ยว

ระบบสารสนเทศเพื่อการท่องเที่ยวมีบทบาทสำคัญในการรวบรวม จัดการ และเผยแพร่ข้อมูลแหล่งท่องเที่ยว เส้นทางการเดินทาง และบริการที่เกี่ยวข้อง เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจของนักท่องเที่ยว (Digital Economy Promotion Agency, 2020) งานศึกษาที่เกี่ยวข้องกับจังหวัดพระนครศรีอยุธยาพบว่า การใช้แอปพลิเคชันและสื่อดิจิทัลช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเข้าถึงข้อมูลและส่งเสริมประสบการณ์การท่องเที่ยวได้ (Tanprayoon & Tamalee, 2018; Phra Nakhon Si Ayutthaya Province, 2021) ดังนั้น การพัฒนาระบบโมบายแอปพลิเคชันเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวจังหวัดพระนครศรีอยุธยา จึงเป็น

แนวทางที่เหมาะสมต่อการประยุกต์ใช้ในพื้นที่ท่องเที่ยวเชิงประวัติศาสตร์และวัฒนธรรม (Poodsongkram & Manthung, 2016)

3.3 แนวคิดเกี่ยวกับความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

ความพึงพอใจของผู้ใช้งานเป็นตัวชี้วัดสำคัญที่สะท้อนว่าระบบสามารถตอบสนองต่อความต้องการและความคาดหวังของผู้ใช้ได้อย่างเหมาะสม (Hongmo & Chubchuwong, 2023; Tanusarn, 2016) ในบริบทของแอปพลิเคชันเพื่อการท่องเที่ยว ความพึงพอใจมักเกี่ยวข้องกับคุณภาพของระบบ ความง่ายในการใช้งาน ความสะดวกในการเข้าถึงข้อมูลและประโยชน์ที่ผู้ใช้งานได้รับ (Chullasapya, 2021) ดังนั้น การประเมินความพึงพอใจจึงมีความสำคัญต่อการพิจารณาประสิทธิภาพและความเหมาะสมของระบบในการนำไปใช้งานจริง

3.4 ช่องว่างงานวิจัย (Research Gap)

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับจังหวัดพระนครศรีอยุธยาส่วนใหญ่ยังมุ่งเน้นการประชาสัมพันธ์ การศึกษาศักยภาพแหล่งท่องเที่ยว หรือการพัฒนาเทคโนโลยีเฉพาะด้าน (Ratanapongtra et al., 2018; Hungsa, 2017) แต่ยังไม่ปรากฏงานวิจัยที่พัฒนาระบบโมบายแอปพลิเคชันแบบบูรณาการเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวจังหวัดพระนครศรีอยุธยา โดยเชื่อมโยงข้อมูลแหล่งท่องเที่ยว แผนที่ดิจิทัล และการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานไว้ในระบบเดียวกัน ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเติมเต็มช่องว่างดังกล่าวในบริบทของเมืองมรดกโลก

4. กรอบแนวคิดงานวิจัย (Conceptual Framework)

กรอบแนวคิดการวิจัยนี้พัฒนาขึ้นจากแนวคิดระบบสารสนเทศเพื่อการท่องเที่ยว ซึ่งมุ่งเน้นการจัดการและเผยแพร่ข้อมูลแหล่งท่องเที่ยวผ่านเทคโนโลยีดิจิทัล เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจและอำนวยความสะดวกแก่นักท่องเที่ยว งานวิจัยนี้ได้นำแนวคิดดังกล่าวมาผสานกับความต้องการของผู้ใช้งานและข้อมูลแหล่งท่องเที่ยวของจังหวัดพระนครศรีอยุธยา เพื่อใช้เป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์ ออกแบบ และพัฒนาระบบโมบายแอปพลิเคชันบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ ผลลัพธ์ที่คาดหวังจากกรอบแนวคิดนี้ ได้แก่ ระบบโมบายแอปพลิเคชันที่สามารถสนับสนุนการเข้าถึงข้อมูลการท่องเที่ยวได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตลอดจนผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบและความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

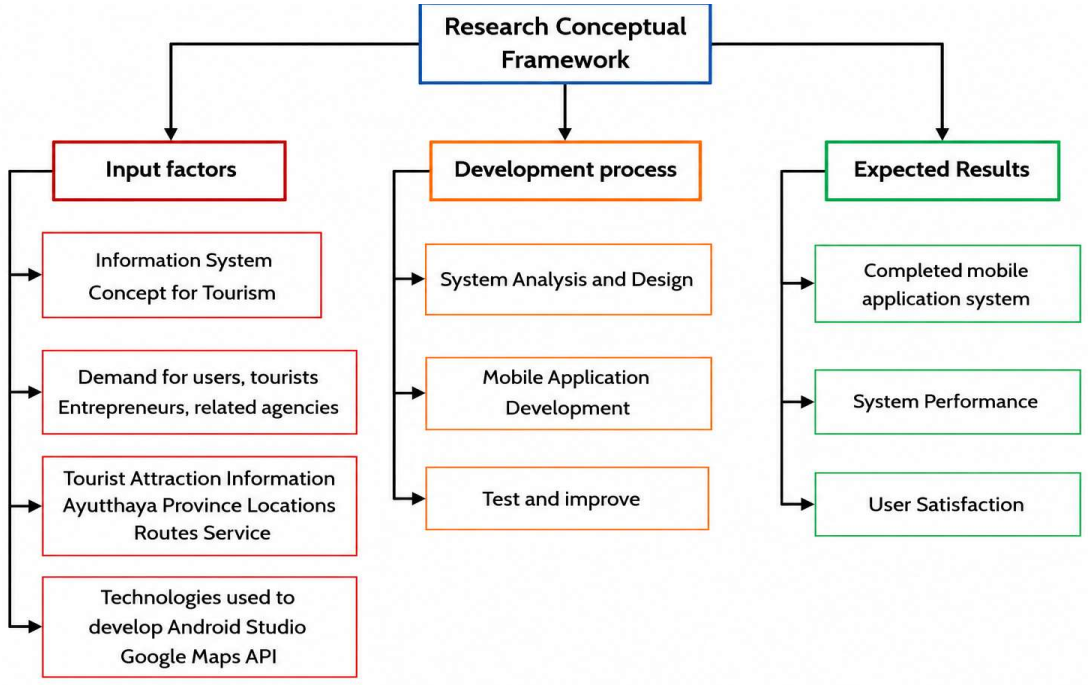


Figure 1. Conceptual Framework Development of a Mobile Application System for Promoting Tourism in Phra Nakhon Si Ayutthaya Province

(Research Article)

5. วิธีดำเนินงานวิจัย (Research Methodology)

การดำเนินการจัดทำการพัฒนาระบบโมบายแอปพลิเคชันเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ได้ดำเนินการตามขั้นตอนการทำงานดังต่อไปนี้

5.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย 1) ผู้เชี่ยวชาญด้านการพัฒนาระบบโมบายแอปพลิเคชันและ 2) นักท่องเที่ยวที่มาท่องเที่ยวจังหวัดพระนครศรีอยุธยา รวมจำนวนทั้งสิ้น 255 คน ประกอบด้วย นักท่องเที่ยว ผู้ประกอบการในพื้นที่ และเจ้าหน้าที่จากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง โดย กลุ่มตัวอย่างแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

1. กลุ่มผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 คน คัดเลือกโดยวิธีการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) โดยเป็นผู้ที่มีประสบการณ์ด้านการพัฒนาระบบโมบายแอปพลิเคชันและการออกแบบประสบการณ์ผู้ใช้ไม่น้อยกว่า 5 ปี เพื่อใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของระบบ

2. กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วยนักท่องเที่ยวที่มาท่องเที่ยวจังหวัดพระนครศรีอยุธยา จำนวนทั้งสิ้น 250 คน ได้แก่ นักท่องเที่ยวผู้ประกอบการในพื้นที่ และเจ้าหน้าที่จากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง โดยกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง

5.2 เครื่องมือในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย

1. ระบบโมบายแอปพลิเคชันเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ซึ่งพัฒนาขึ้นบนระบบปฏิบัติการ Android โดยใช้ Android Studio เป็นสภาพแวดล้อมในการพัฒนา ร่วมกับ Firebase Realtime Database สำหรับจัดการฐานข้อมูล และ Google Maps API สำหรับระบบนำทางเชิงพิกัดภูมิศาสตร์ (GPS) แอปพลิเคชันออกแบบและพัฒนาตามกระบวนการ Rapid Application Development (RAD)

2. แบบประเมินประสิทธิภาพของระบบโดยผู้เชี่ยวชาญ เป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ ครอบคลุม 6 ด้าน ได้แก่ ความเหมาะสมของเนื้อหา การออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้ ความถูกต้องของระบบ การใช้งาน ความน่าสนใจ และความสามารถในการส่งเสริมการมีส่วนร่วม โดยผ่านการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา (IOC) จากผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน มีค่า IOC ระหว่าง 0.67 - 1.00 และมีค่าความเชื่อมั่น (Cronbach's alpha) เท่ากับ 0.89

3. แบบสอบถามความพึงพอใจของผู้ใช้งาน เป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ ประกอบด้วยข้อคำถามเกี่ยวกับความพึงพอใจด้านการใช้งาน ความน่าสนใจ และประสบการณ์โดยรวม ผ่านการตรวจสอบค่า IOC จากผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน มีค่า IOC ระหว่าง 0.67 - 1.00 และมีค่าความเชื่อมั่น (Cronbach's alpha) เท่ากับ 0.92

5.3 การดำเนินการวิจัยและการพัฒนาระบบ

5.3.1 รูปแบบการวิจัย (Research Design)

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยและพัฒนา (Research and Development: R&D) โดยแบ่งการดำเนินการออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ (1) การพัฒนาระบบโมบายแอปพลิเคชันเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวจังหวัดพระนครศรีอยุธยา โดยใช้วงจรการพัฒนาระบบ (System Development Life Cycle: SDLC) แบบ Waterfall Model และ (2) การประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบ

5.3.2 การพัฒนาระบบด้วย SDLC Waterfall Model

การพัฒนาระบบโมบายแอปพลิเคชันในงานวิจัยนี้ ดำเนินการตาม SDLC Waterfall Model ซึ่งประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ดังนี้

1. ขั้นตอนที่ 1 การวิเคราะห์ความต้องการของระบบ (Requirements Analysis) ดำเนินการสำรวจและรวบรวมความต้องการของผู้ใช้งาน ประกอบด้วย นักท่องเที่ยวชาวไทยและต่างชาติ รวมถึงผู้ประกอบการท่องเที่ยวในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา โดยใช้แบบสอบถามและการสัมภาษณ์ เพื่อกำหนดฟังก์ชันการทำงานหลัก ได้แก่ การค้นหาสถานที่ท่องเที่ยว การนำทางด้วย GPS แผนที่โบราณสถาน และการแสดงข้อมูลแหล่งท่องเที่ยวในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา

2. ขั้นตอนที่ 2 การออกแบบ (Design) ได้จัดทำแผนภาพบริบท (Context Diagram) เพื่อแสดงภาพรวมของระบบและความสัมพันธ์ระหว่างระบบกับผู้ใช้งาน ดังแสดงใน Figure 2. รวมทั้งจัดทำแผนภาพกิจกรรม (Activity Diagram) เพื่ออธิบายลำดับการไหลของข้อมูลในแต่ละกระบวนการ เช่น การค้นหา/เลือกดูรายละเอียด/การนำทางผู้ใช้งาน

(Research Article)

ไปยังสถานที่ท่องเที่ยวโดยใช้ GPS การสมัคร/ลงทะเบียนสมาชิก และการบุ๊คมาร์คสถานที่ท่องเที่ยว ดังแสดงใน Figure 3. และ Figure 4. นอกจากนี้ยังได้ดำเนินการออกแบบโครงสร้างฐานข้อมูลในรูปแบบแผนภาพความสัมพันธ์เอนท์ดี (Entity Relationship Diagram: ERD) ดังแสดงใน Figure 5.

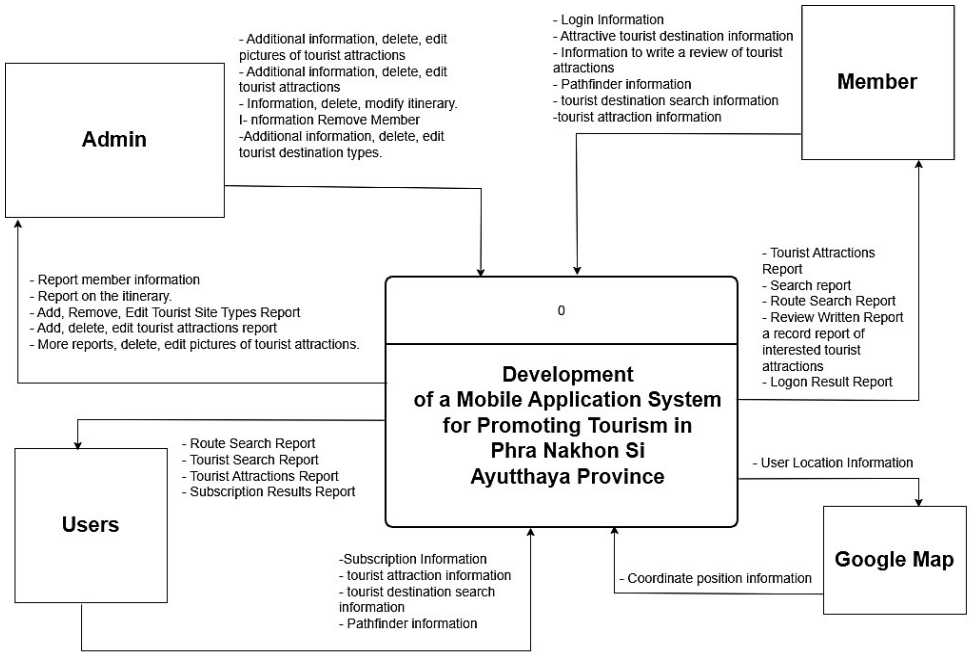


Figure 2. Context Diagram

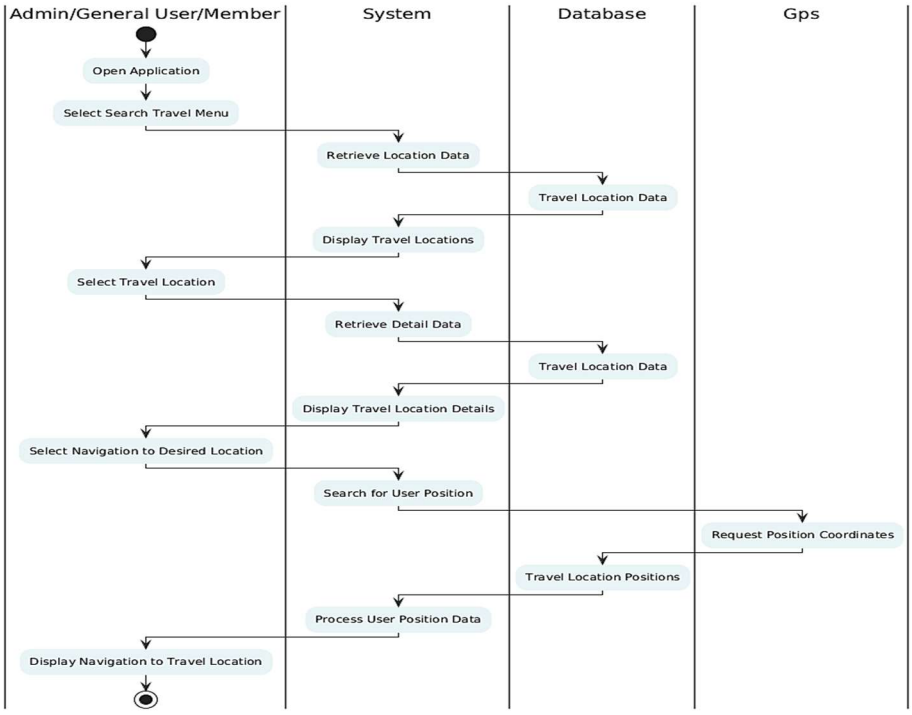


Figure 3. Search/Browse Details/Navigate Users to Tourist Attractions Using GPS

May-August 2026, 4(2), e3495
DOI: 10.65205/jcct.2026.e3495
Journal of Computer and Creative Technology
วารสารคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสร้างสรรค์
ISSN 2985-1580 (Print)
ISSN 2985-1599 (Online)
(Research Article)

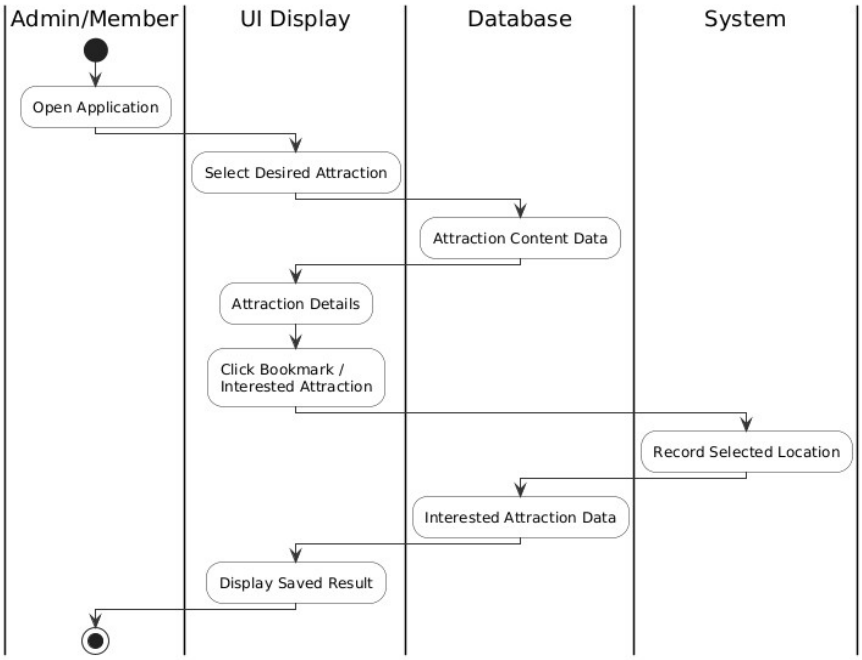


Figure 4. Bookmarking Attractions

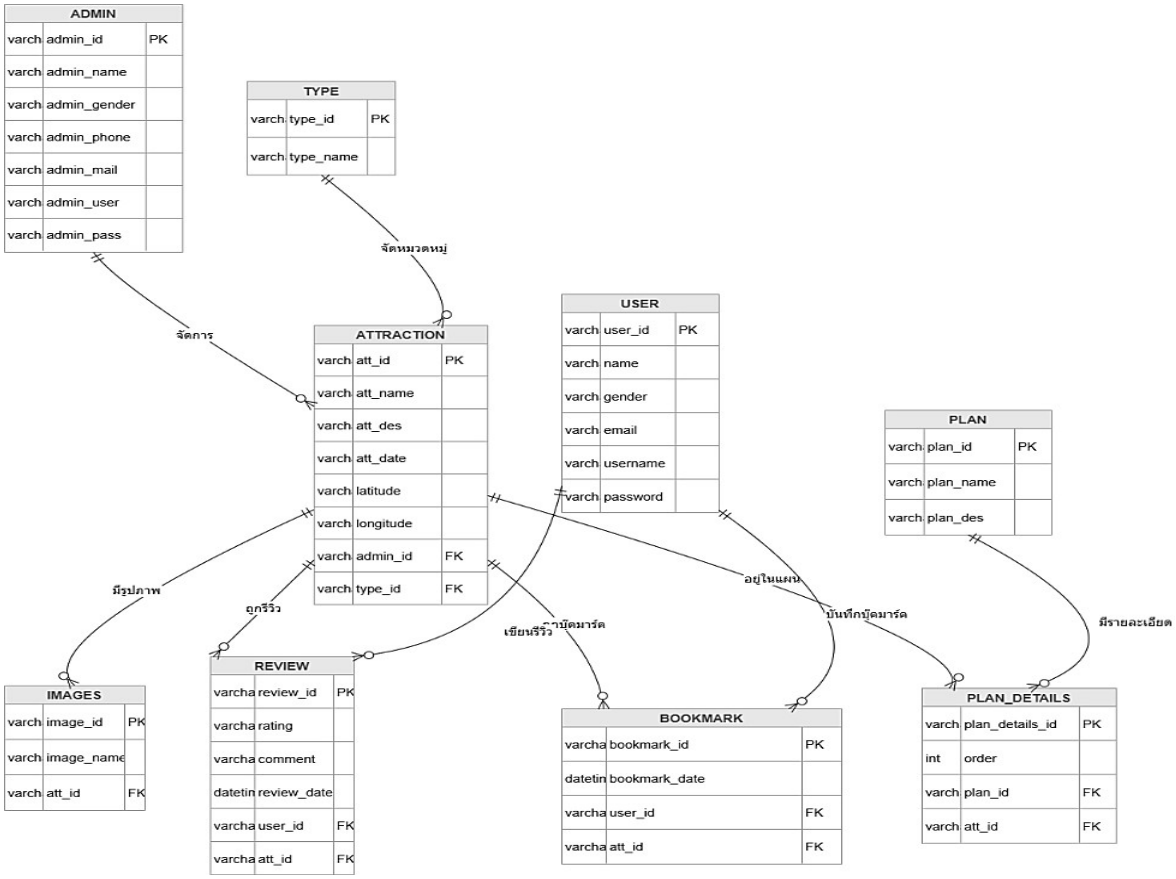


Figure 5. Entity Relationship Diagram

(Research Article)

3. ขั้นตอนที่ 3 การพัฒนาระบบ (Implementation) การพัฒนาระบบโมบายแอปพลิเคชันบนระบบปฏิบัติการ Android โดยใช้ภาษา Dart และ Flutter Framework ผ่าน Visual Studio Code ส่วนเซิร์ฟเวอร์ใช้ PHP Laravel Framework เชื่อมต่อฐานข้อมูล MySQL ระบบรองรับฟังก์ชันหลัก ได้แก่ การค้นหาและแสดงสถานที่ท่องเที่ยว การแสดงรายละเอียดสถานที่ การนำทางด้วย GPS การรีวิวสถานที่ และการประชาสัมพันธ์กิจกรรม โดยยึดตามการออกแบบจากขั้นตอนก่อนหน้าและ Material Design

4. ขั้นตอนที่ 4 การนำไปใช้และประเมินผล (Implementation and Evaluation) ระบบที่พัฒนาขึ้นไปทดลองใช้งานจริง ประกอบด้วยขั้นตอนการติดตั้งแอปพลิเคชัน การแนะนำการใช้งาน การให้กลุ่มตัวอย่างทดลองใช้งานฟังก์ชันหลักของระบบด้วยตนเอง ดำเนินการเก็บข้อมูลการใช้งาน การประเมินประสิทธิภาพโดยผู้เชี่ยวชาญ ภายหลังการใช้งาน กลุ่มตัวอย่างตอบแบบประเมินความพึงพอใจต่อระบบเพื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์ตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยต่อไป

5. ขั้นตอนที่ 5 การบำรุงรักษา (Maintenance) ในระยะของการบำรุงรักษา ดำเนินการจัดทำคู่มือผู้ใช้งานและเก็บความคิดเห็นจากนักท่องเที่ยวเพื่อปรับปรุงระบบ ติดตามการทำงานของระบบ และประสิทธิภาพบน Android หากพบปัญหาจะแก้ไขทันที นำผลประเมินความพึงพอใจมาวิเคราะห์เพื่อเพิ่มฟังก์ชันใหม่ อัปเดตข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยวและกิจกรรม เพื่อให้ระบบมีความสมบูรณ์และตอบสนองต่อความต้องการผู้ใช้งานอย่างต่อเนื่อง

5.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การประเมินประสิทธิภาพของระบบโดยผู้เชี่ยวชาญ และการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานจริง โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. การเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบโดยผู้เชี่ยวชาญ ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 คน ซึ่งคัดเลือกตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ โดยมีขั้นตอน ดังนี้ 1) ดำเนินการติดต่อผู้เขียวชาญเพื่อขอความอนุเคราะห์ในการประเมินประสิทธิภาพของระบบโมบายแอปพลิเคชันเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวจังหวัดพระนครศรีอยุธยา 2) ชี้แจงวัตถุประสงค์ของการวิจัย วิธีการประเมิน และกำหนดระยะเวลาในการเก็บรวบรวมข้อมูล 3) ผู้เชี่ยวชาญทำการประเมินระบบตามแบบประเมินประสิทธิภาพที่จัดเตรียมไว้ และ 4) ดำเนินการตรวจสอบความสมบูรณ์ของแบบประเมินและรวบรวมข้อมูลเพื่อนำไปวิเคราะห์ทางสถิติต่อไป

2. การเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลความพึงพอใจดำเนินการกับกลุ่มผู้ใช้งานจริงระบบโมบายแอปพลิเคชันเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวจังหวัดพระนครศรีอยุธยา โดยมีขั้นตอนดังนี้ คือ จัดเตรียมระบบโมบายแอปพลิเคชันเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวจังหวัดพระนครศรีอยุธยา พร้อม QR Code สำหรับการเข้าถึงระบบและและแบบสอบถามออนไลน์

5.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่ได้จากการประเมินประสิทธิภาพของระบบและความพึงพอใจของผู้ใช้งานถูกนำมาวิเคราะห์โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) เพื่อสรุประดับความคิดเห็นของกลุ่มตัวอย่างต่อโมบายแอปพลิเคชันเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวจังหวัดพระนครศรีอยุธยา

ผลการวิเคราะห์ถูกแปลความหมายตามเกณฑ์การประเมินแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ โดยกำหนดเกณฑ์การแปลผลดังนี้

ค่าเฉลี่ย 4.51 - 5.00 หมายถึง ระดับมากที่สุด (Highest)
ค่าเฉลี่ย 3.51 - 4.50 หมายถึง ระดับมาก (High)
ค่าเฉลี่ย 2.51 - 3.50 หมายถึง ระดับปานกลาง (Moderate)
ค่าเฉลี่ย 1.51 - 2.50 หมายถึง ระดับน้อย (Low)
ค่าเฉลี่ย 1.00 - 1.50 หมายถึง ระดับน้อยสุด (Lowest)

6. ผลการวิจัย (Results)

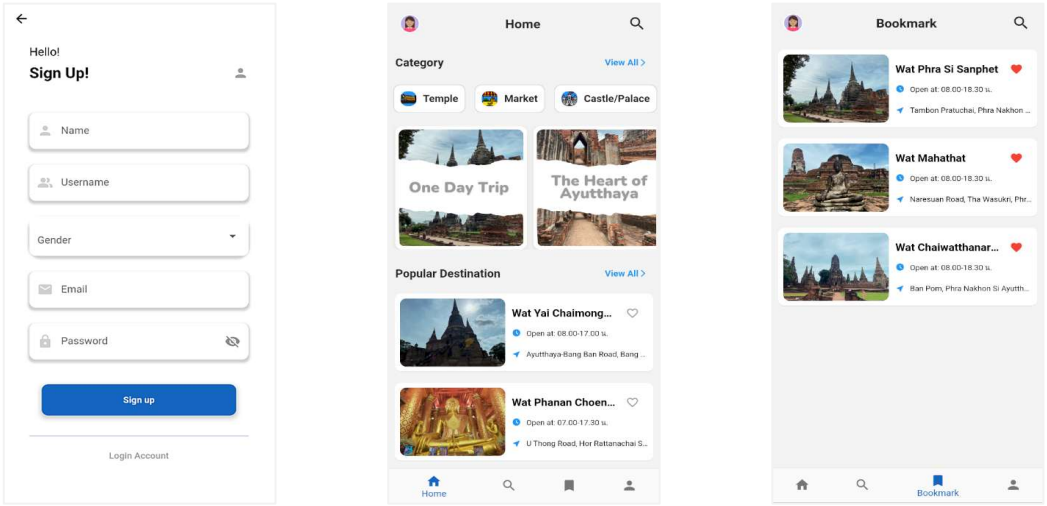
การวิจัยเรื่อง การพัฒนาระบบโมบายแอปพลิเคชันส่งเสริมการท่องเที่ยวจังหวัดพระนครศรีอยุธยา สามารถสรุปผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ได้ 3 ประเด็น ดังนี้

6.1 ผลการออกแบบและพัฒนาระบบโมบายแอปพลิเคชันส่งเสริมการท่องเที่ยวจังหวัดพระนครศรีอยุธยา

ผลการออกแบบและพัฒนาระบบโมบายแอปพลิเคชันส่งเสริมการท่องเที่ยวจังหวัดพระนครศรีอยุธยา พบว่า ระบบที่พัฒนาขึ้นด้วย Flutter (Dart) สามารถรองรับการใช้งานบน อุปกรณ์เคลื่อนที่ระบบปฏิบัติการ Android (Mobile Devices) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยระบบสามารถปรับรูปแบบการแสดงผล (Responsive Layout) ให้เหมาะสมกับขนาดหน้าจอและบริบทการใช้งานของผู้ใช้แต่ละประเภทได้อย่างเหมาะสม

นอกจากนี้ ระบบยังสามารถรองรับการใช้งานตามบทบาทของผู้ใช้งานได้ 2 กลุ่ม ได้แก่ นักท่องเที่ยวหรือสมาชิก และผู้ดูแลระบบ โดยมีโครงสร้างหน้าจอและฟังก์ชันการทำงานของแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันตามภารกิจแต่ละกลุ่มใช้งาน ดังนี้

1. กลุ่มนักท่องเที่ยว จะพบกับหน้าจอหลักจำนวน 13 หน้าจอ ประกอบด้วย เข้าสู่ระบบ สมัครสมาชิก หน้าจอหลัก แสดงรายการประเภท แผนการเดินทางและสถานที่ท่องเที่ยว ค้นหาสภานที่ บุ๊คมาร์ค ข้อมูลส่วนตัว การรีวิวของสมาชิก ประเภทสถานที่ท่องเที่ยว แผนการเดินทาง สถานที่ท่องเที่ยว และเส้นการเดินทาง ตัวอย่างดังแสดงใน Figure 6. ได้แก่ สมัครสมาชิก หน้าจอหลัก การรีวิวของสมาชิก ข้อมูลส่วนตัว และ แผนการเดินทาง



(a) Subscribe Screen (b) Home Screen (c) Bookmark Screen

(d) Profile Screen (e) Itinerary Screen

Figure 6. User Interface for Visitors or Members

2. กลุ่มผู้ดูแลระบบ จะพบกับหน้าจอ จะเข้าถึง Admin Dashboard สำหรับบริหารจัดการฐานข้อมูล MySQL หน้าแรกของการเข้าสู่ระบบสำหรับผู้ดูแลระบบ เข้าสู่ระบบสำหรับผู้ดูแลระบบ รายการข้อมูลหลังบ้านรอดำเนินการสำหรับหัวหน้าฝ่าย การสมัครสมาชิก สถานที่ท่องเที่ยว ประเภทสถานที่ท่องเที่ยว รูปภาพสถานทีท่องเที่ยว รีวิวสถานที่ท่องเที่ยว บุ๊คมาร์ค แผนการเดินทาง รายละเอียดแผนการเดินทาง และการเพิ่มข้อมูลการเป็นผู้ดูแลระบบ ตัวอย่างดังแสดงใน Figure 7. ได้แก่ หน้าจอแสดงข้อมูลสมาชิก

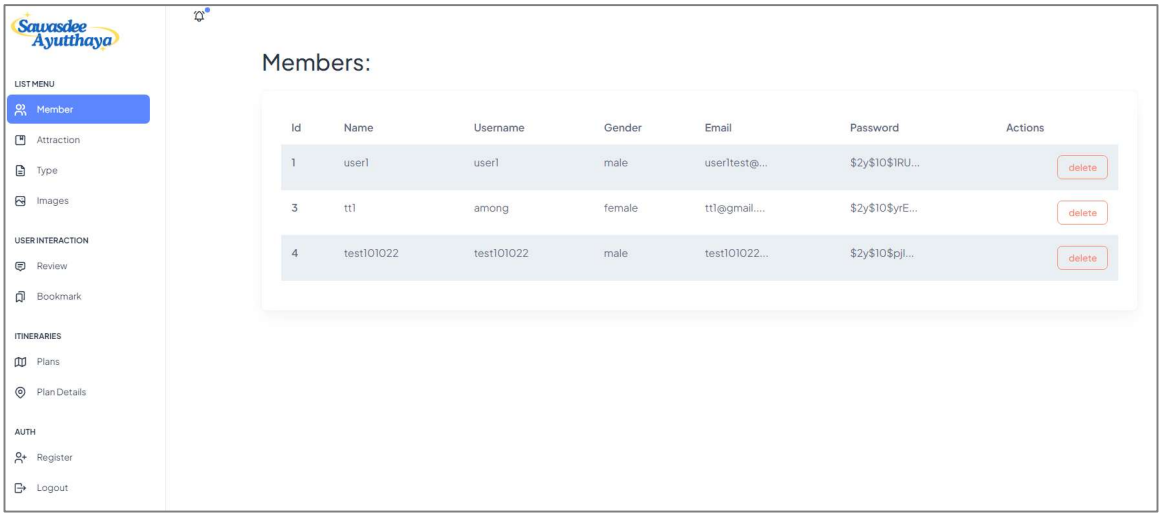


Figure 7. The screen shows the list of attractions.

6.2 ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบโมบายแอปพลิเคชันโดยผู้เชี่ยวชาญ

ผลการประเมินประสิทธิภาพของโมบายแอปพลิเคชันโดยผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ ประสบการณ์ผู้ใช้งาน จำนวน 5 คน พบว่า ค่าเฉลี่ยภาพรวมของประสิทธิภาพระบบอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.37, S.D.= 0.58) ดังแสดงใน Table 1.

Table 1. Result of Mobile Application Performance Evaluation Conducted by Subject Matter Experts

	Topic	$\bar{x}$	S.D.	Evaluation Level
1.	Alignment with research objectives.	4.60	0.55	Highest
2.	Coverage of functions and features.	4.00	0.71	High
3.	Accuracy and reliability of information.	4.40	0.55	High
4.	Appropriate user interface (UI/UX).	4.80	0.45	Highest
5.	Technical performance and system connectivity.	4.00	0.71	High
6.	Practical Ability.	4.40	0.55	High
	Overall	4.37	0.58	High

6.3 ผลการศึกษาความพึงพอใจต่อการใช้งานระบบโมบายแอปพลิเคชันส่งเสริมการท่องเที่ยวจังหวัดพระนครศรีอยุธยา

ผลการศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้งานของกลุ่มตัวอย่างจำนวน 250 คน โดยมีความพึงพอใจรวมกันในด้านต่าง ๆ และมีประโยชน์ต่อการนำไปใช้งานได้จริง มีค่าความพึงพอใจ อยู่ในเกณฑ์วิเคราะห์และระดับคุณภาพ ดังนี้

Table 2. Total Satisfaction Assessment of the Tourism Promotion Mobile Application System of Phra Nakhon Si Ayutthaya Province Functional aspects

	Topic Functional Aspect	$\bar{x}$	S.D.	Evaluation Level
1.	Ease of use; Not hidden.	4.29	0.52	High
2.	Accuracy of determining the user's current location and attractions on the map.	4.47	0.56	High
3.	Application fluidity.	4.20	0.73	High
4.	Accuracy in displaying results from applications.	4.37	0.58	High
5.	Application Speed and Responsiveness.	4.11	0.65	High
	Overall	**4.29**	**0.61**	**High**

เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ พบว่า ผลรวมการประเมินความพึงพอใจของระบบโมบายแอปพลิเคชันส่งเสริมการท่องเที่ยวจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ข้อมูลความคิดเห็นเกี่ยวกับความพึงพอใจมีต่อด้านการใช้งานในภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.29, S.D. = 0.61) และมีจุดเด่นตรง ด้านความแม่นยำในการระบุตำแหน่งปัจจุบันของผู้ใช้และสถานที่ท่องเที่ยวบนแผนที่ ($\bar{x}$ = 4.47, S.D. = 0.56) อยู่ในระดับมาก

Table 3. Satisfaction Assessment of the Ayutthaya Tourism Promotion Mobile Application System Content

	Topic Content Aspect	$\bar{x}$	S.D.	Evaluation Level
1.	The information of the tourist attractions is clear, accurate, and complete.	4.32	0.50	High
2.	Accuracy and completeness of information.	4.55	0.56	Highest
3.	Appropriateness of language and images.	4.59	0.49	Highest
4.	The language in the application is easy to understand.	4.15	0.59	High
5.	The content in the application is interesting to use.	4.44	0.54	High
	Overall	**4.41**	**0.54**	**High**

เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ พบว่า ผลรวมการประเมินความพึงพอใจของระบบโมบายแอปพลิเคชันส่งเสริมการท่องเที่ยวจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ข้อมูลความคิดเห็นเกี่ยวกับความพึงพอใจมีต่อด้านเนื้อหาในภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.41, S.D. = 0.54) และมีจุดเด่นตรง ด้านความเหมาะสมในการใช้ภาษาและรูปภาพ ($\bar{x}$ = 4.59, S.D. = 0.49) อยู่ในระดับดีมาก

Table 4. Total Satisfaction Assessment of the Tourism Promotion Mobile Application System of Ayutthaya Province Design Aspects

	Topic Design Aspects	$\bar{x}$	S.D.	Evaluation Level
1.	The application is modern and beautiful.	4.27	0.49	High
2.	The choice of color of the system is appropriate for the application.	4.52	0.56	Highest
3.	The application is flexible to use with a wide range of screen sizes.	4.56	0.50	Highest

(Research Article)

Table 4. Total Satisfaction Assessment of the Tourism Promotion Mobile Application System of Ayutthaya Province Design Aspects (Cont.)

	Topic Design Aspects	$\bar{x}$	S.D.	Evaluation Level
4.	The size of the buttons and fonts in the app is suitable for use.	4.44	0.53	High
5.	It has an easy-to-understand content categorization.	4.43	0.50	High
	Overall	**4.44**	**0.52**	**High**

เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ พบว่าผลรวมการประเมินความพึงพอใจของระบบโมบายแอปพลิเคชันส่งเสริมการท่องเที่ยวจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ข้อมูลความคิดเห็นเกี่ยวกับความพึงพอใจมีต่อด้านการออกแบบในภาพรวมอยู่ใน ระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.44, S.D. = 0.52) และมีจุดเด่นที่ ด้านแอปพลิเคชันมีความความยืดหยุ่นในการใช้งานที่มีขนาดหน้าจอหลากหลาย ($\bar{x}$ = 4.56, S.D. = 0.50) อยู่ในระดับดีมาก

Table 5. Total Satisfaction Assessment of the Tourism Promotion Mobile Application System of Ayutthaya Province Benefits and Applications

	Topic Benefits and Applications.	$\bar{x}$	S.D.	Evaluation Level
1.	The application can search for a wide range of tourist information.	4.29	0.52	High
2.	The application can help in making decisions about choosing a tourist destination.	4.43	0.56	High
3.	The application has an easy-to-travel sequence plan.	4.21	0.68	High
4.	The application can record and share the experience of walking to attractions.	4.39	0.52	High
5.	The application clearly tells the distance between the location and the user.	4.37	0.57	High
	Overall	**4.34**	**0.57**	**High**

เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ พบว่า ผลรวมการประเมินความพึงพอใจของระบบโมบายแอปพลิเคชันส่งเสริมการท่องเที่ยวจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ข้อมูลความคิดเห็นเกี่ยวกับความพึงพอใจมีต่อด้านประโยชน์ในการใช้งาน ในภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.34, S.D. = 0.57) และมีจุดเด่นที่ ด้านแอปพลิเคชันสามารถช่วยเหลือในการประกอบการตัดสินใจในการเลือกสถานที่ท่องเที่ยว ($\bar{x}$ = 4.43, S.D. = 0.56) อยู่ในระดับมาก

Table 6 Total Satisfaction Assessment of the Tourism Promotion Mobile Application System of Ayutthaya Province Assessment content

	Topic Assessment content	$\bar{x}$	S.D.	Evaluation Level
1.	Functional aspects	4.29	0.61	High
2.	Content	4.41	0.54	High
3.	Design aspects	4.44	0.52	High
4.	Benefits	4.34	0.57	High
	Overall	**4.37**	**0.56**	**High**

(Research Article)

เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ พบว่า ผลรวมการประเมินความพึงพอใจของระบบโมบายแอปพลิเคชันส่งเสริมการท่องเที่ยวจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ข้อมูลความคิดเห็นเกี่ยวกับความพึงพอใจมีต่อด้านการประเมินทั้ง 4 ด้านในภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.37, S.D. = 0.56) และมีจุดเด่นด้านการออกแบบ ($\bar{x}$ = 4.44, S.D. = 0.52) อยู่ในระดับมาก

ผลการศึกษาความพึงพอใจ ผู้ใช้งานเพศชายและเพศหญิงมีความคิดเห็นต่อระบบโมบายแอปพลิเคชันเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวจังหวัดพระนครศรีอยุธยาแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยใช้สถิติ Independent Samples t-test กับข้อมูลจากผู้ใช้งานจำนวน 250 คน (เพศชาย 145 คน และเพศหญิง 105 คน) ผลการวิเคราะห์ดังแสดงใน Table 6.

Table 7 Independent Samples t-test (145 Males and 105 Females)

ด้าน	รายการ	t	p
1. Applications	user-friendliness.	-2.5917[a]	.010
2. Contents	Precise, accurate, and comprehensive locational data.	-2.7498[a]	.006
2. Contents	Appropriateness of language and imagery	-3.9165[a]	<.001
3. Design	The color selection is appropriate.	-2.2393[a]	.026
3. Design	Flexibility in screen dimensions	-3.9724[a]	<.001
3. Design	Button size and font are suitable.	-2.4676	.014
4. Benefits	Effortless travel arrangement	-3.5588	<.001

[a] Levene's test is significant (p < .05), suggesting a violation of the assumption of equal variances

เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ พบว่า ผู้ใช้งานเพศชายและเพศหญิงมีความคิดเห็นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยเพศหญิงมีค่าเฉลี่ย สูงกว่าเพศชายในทุกรายการที่แตกต่าง ได้แก่ ความสะดวกในการใช้งานง่ายไม่ซับซ้อน (t = -2.5917, p = .010) ความชัดเจนถูกต้องและครบถ้วนของข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยว (t = -2.7498, p = .006) ความเหมาะสมในการใช้ภาษาและรูปภาพ (t = -3.9165, p < .001) การเลือกใช้สีของระบบที่เหมาะสม (t = -2.2393, p = .026) ความยืดหยุ่นของแอปพลิเคชันต่อขนาดหน้าจอหลากหลาย (t = -3.9724, p < .001) ขนาดปุ่มและฟอนต์ที่เหมาะสม (t=-2.4676,p=.014) และการวางแผนลำดับการเดินทางที่ง่ายต่อการใช้งาน (t = -3.5588, p < .001)

ผลการศึกษาความพึงพอใจ ผู้ใช้งานชาวไทยและชาวต่างชาติมีความคิดเห็นต่อระบบโมบายแอปพลิเคชันเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวจังหวัดพระนครศรีอยุธยาแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยใช้สถิติ Independent Samples t-test กับข้อมูลจากผู้ใช้งานทั้งสิ้น 249 คน (ชาวไทย 213 คน และชาวต่างชาติ 37 คน) ผลการวิเคราะห์ ดังแสดงใน Table 7

Table 8 Independent Samples t-test (213 Thais and 37 Foreigners)

Aspect	Items	t	p
1. Applications	ease of use	2.72[a]	.007**
2. Content	Location information clarity	3.08	0.002
3. Design aspects	Modern and beautiful	3.92[a]	<.001
4. Benefits	Searching for a wide range of information	5.00	<.001
4. Benefits	Helping to decide on a location	5.73[a]	<.001

[a] Levene's test is significant (p < .05), suggesting a violation of the assumption of equal variances

เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ พบว่า ผู้ใช้งานชาวไทยและชาวต่างชาติมีความคิดเห็นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (p < .05) โดยผู้ใช้งานชาวต่างชาติมีค่าเฉลี่ย) สูงกว่าผู้ใช้งานชาวไทยในทุกรายการที่แตกต่าง ดังนี้ 1) ด้านการใช้งาน พบว่า ความสะดวกในการใช้งาน (t = 2.72, p = .007) 2) ด้านเนื้อหา พบว่า ความชัดเจนข้อมูลสถานที่ (t = 3.08, p

= .002) 3) ด้านการออกแบบ พบว่า ความทันสมัยและสวยงาม (t = 3.92, p < .001) 4) ด้านประโยชน์ พบว่า การค้นหาข้อมูลหลากหลาย (t = 5.00, p < .001) และการช่วยตัดสินใจเลือกสถานที่ (t = 5.73, p < .001)

7. สรุปผลการวิจัย (Conclusion)

การพัฒนาระบบโมบายแอปพลิเคชันเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ได้รับการออกแบบและพัฒนาด้วยวัตถุประสงค์เพื่ออำนวยความสะดวกและส่งเสริมการท่องเที่ยวให้แก่นักท่องเที่ยว โดยมีคุณสมบัติที่สำคัญ เช่น การค้นหาแหล่งท่องเที่ยว การบันทึกข้อมูลสถานที่ที่สนใจ การวางแผนการเดินทาง การแสดงข้อมูลระยะทาง รวมถึงการระบุตำแหน่งปัจจุบันของผู้ใช้ผ่านแผนที่ ทั้งนี้ ระบบได้รับการพัฒนาด้วยการออกแบบเชิงโครงสร้างผ่าน แผนภาพบริบท (Context Diagram) แผนภาพ Use Case Diagram และ Entity Relationship Diagram ที่ช่วยให้การจัดการข้อมูลมีประสิทธิภาพ

1. ผลการวิจัยพบว่าระบบโมบายแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นสามารถส่งเสริมการท่องเที่ยวจังหวัดพระนครศรีอยุธยาได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีการออกแบบโครงสร้างระบบให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการวิจัยและลักษณะเฉพาะของการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมและมรดกโลกของจังหวัดระบบรองรับบทบาทผู้ใช้งานหลัก 2 กลุ่ม ได้แก่ นักท่องเที่ยว (ผู้ใช้งานทั่วไป) และ ผู้ดูแลข้อมูลท่องเที่ยว โดยนักท่องเที่ยวสามารถเข้าถึงข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยวสำคัญ ค้นหา แผนที่นำทางด้วย GPS รายละเอียดโบราณสถาน บุ๊คมาร์ค รีวิวและคะแนนสถานที่ ส่วนผู้ดูแลข้อมูลสามารถจัดการข้อมูลสถานที่ อัปเดตรายละเอียด และดูสถิติการใช้งานของระบบได้

2. ผลจากการประเมินประสิทธิภาพของระบบโมบายแอปพลิเคชันเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวจังหวัดพระนครศรีอยุธยา โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน พบว่า ระบบโมบายแอปพลิเคชันมีประสิทธิภาพอยู่ในระดับ มาก โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่เท่ากับ 4.37 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.58

3. ผลจากการประเมินความพึงพอใจของกลุ่มผู้ใช้งานจำนวน 250 คน ทั้ง 4 ด้านหลัก ในภาพรวมอยู่ในระดับมาก โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่เท่ากับ 4.37 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.56 มีจุดเด่นด้านการออกแบบ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่เท่ากับ 4.44 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.52 ซึ่งจุดเด่นคือ แอปพลิเคชันมีความความยืดหยุ่นในการใช้งานที่มีขนาดหน้าจอหลากหลาย โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่เท่ากับ 4.56 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.50 รองลงมาได้แก่ด้านเนื้อหา โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่เท่ากับ 4.41และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.54 ซึ่งจุดเด่นคือ ความเหมาะสมในการใช้ภาษาและรูปภาพ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่เท่ากับ 4.59 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.49 ด้านประโยชน์ในการใช้งาน โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่เท่ากับ 4.34 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.57 ซึ่งจุดเด่น คือแอปพลิเคชันสามารถช่วยเหลือในการประกอบการตัดสินใจในการเลือกสถานที่ท่องเที่ยว โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่เท่ากับ 4.43 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.56 และด้านการใช้งาน โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่เท่ากับ 4.29 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.61 ซึ่งจุดเด่น ความแม่นยำในการระบุตำแหน่งปัจจุบันของผู้ใช้และสถานที่ท่องเที่ยวบนแผนที่ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่เท่ากับ 4.47 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.56 ผลการประเมินภาพรวมทุกด้านของระบบแอปพลิเคชัน พบว่าระบบมีประโยชน์และตอบโจทย์การใช้งานในระดับ “มาก” ด้วยค่าเฉลี่ยรวม ($\bar{x}$ = 4.37, S.D. = 0.56) โดยจุดเด่นสำคัญที่สุดคือด้านการออกแบบซึ่งส่งเสริมประสบการณ์การใช้งานที่สะดวกและน่าสนใจ ระบบนี้จึงมีศักยภาพในการช่วยสนับสนุนการท่องเที่ยวในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา และสามารถต่อยอดการพัฒนาเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวไทยในยุคดิจิทัลได้อย่างมีประสิทธิภาพในอนาคต ผลการทดสอบ Independent Samples t-test พบว่า ผู้ใช้งานเพศชาย (145 คน) และเพศหญิง (105 คน) มีความคิดเห็นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยเพศหญิงมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าในด้านความสะดวก ความชัดเจนข้อมูล ความเหมาะสมภาษารูปภาพ การเลือกสี อินเทอร์เฟซมีความยืดหยุ่น ขนาดปุ่มฟอนต์ และการวางแผนเส้นทาง ($p < .05$) ส่วนรายการที่เหลือไม่แตกต่าง ($p > .05$) เช่น ความแม่นยำแผนที่ ความรวดเร็ว และการค้นหาข้อมูล สะท้อนระบบมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันทั้งสองเพศ บางรายการ Levene’s test มีนัยสำคัญ ($p < .05$) แสดงความแปรปรวนไม่เท่ากัน และผลการทดสอบ Independent Samples t-test พบว่า ผู้ใช้งานชาวต่างชาติมีความคิดเห็นต่อระบบสูงกว่าผู้ใช้งานชาวไทยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในทุกด้าน ได้แก่ ด้านการใช้งาน (ความสะดวกในการใช้งาน) ด้านเนื้อหา (ความชัดเจนของข้อมูลสถานที่) ด้านการออกแบบ (ความทันสมัยและสวยงาม) และด้านประโยชน์ (การค้นหาข้อมูลหลากหลายและการช่วยตัดสินใจเลือกสถานที่) โดยทุกค่า p ต่ำกว่า .05 แสดงว่าความแตกต่างนี้มีนัยสำคัญเชิงสถิติ

8. อภิปรายผลการวิจัย (Discussion)

1. ระบบโมบายแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นมีบทบาทสำคัญในการส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมจังหวัดพระนครศรีอยุธยา โดยประยุกต์ Flutter ร่วม GPS เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการระบุตำแหน่งปัจจุบันของผู้ใช้และสถานที่ท่องเที่ยวบนแผนที่ ($\bar{x}$ = 4.47, S.D. = 0.56) ซึ่งช่วยลดปัญหา navigation ในพื้นที่โบราณสถานหนาแน่น สนับสนุน Smart Tourism ตามแผน “อยุธยา 2020” (Digital Economy Promotion Agency, 2020) ความแม่นยำดังกล่าวมาจากการรวม GPS กับ Wi-Fi/Cell Tower Triangulation ตามแนวทาง Google Location Accuracy ทำให้ดีกว่า GPS เดี่ยว (Error <20m ในอาคารวัด) สอดคล้อง Digital Cultural Heritage ที่ใช้ Positioning ถ่ายทอดมรดกไทย (Khaosod, 2022) แนวทาง Cross-Platform ยังเข้าถึงหลากอุปกรณ์ สามารถเป็นต้นแบบพื้นที่มรดกอื่นตาม Digital Heritage ของ UNESCO (2015) ที่เน้น Precise Mapping สำหรับ Cultural Sites (Seangmas et al., 2018)

2. ผลการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ 5 คน พบว่าโมบายแอปพลิเคชันมีประสิทธิภาพโดยรวมระดับ “มาก” ($\bar{x}$ = 4.37) โดย UI/UX ได้คะแนนสูงสุด สะท้อนความง่ายในการใช้งานและประสบการณ์ผู้ใช้ที่ดี ซึ่งช่วยลด Learning Curve สำหรับนักท่องเที่ยวต่างชาติในอยุธยา (ReadyPlanet TravelTech, 2025) โดยด้านความถูกต้องข้อมูลและประโยชน์การใช้งานอยู่ในระดับ “มาก” เช่นเดียวกัน สอดคล้องงานวิจัยที่ชี้ว่าความคาดหวังประสิทธิภาพ (เช่น GPS Accuracy) ส่งผลต่อ Adoption ของ Digital Tourism App (Wongsason, 2017) โดยรวม ระบบพร้อมสนับสนุนท่องเที่ยวดิจิทัล ลด Bounce Rate จาก Navigation Error ที่พบในแอป TAGTHAi (Digital Economy Promotion Agency, 2020)

3. ผลการศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้งานในบริบทของการพัฒนาระบบโมบายแอปพลิเคชันเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวจังหวัดพระนครศรีอยุธยา พบว่า ความพึงพอใจของผู้ใช้ใน 4 ด้านอยู่ในระดับ “มาก” โดยด้านการออกแบบมีความยืดหยุ่นในการใช้งาน รองรับขนาดหน้าจอหลายรูปแบบ ด้านเนื้อหามีความเหมาะสมในการใช้ภาษาและรูปภาพ ด้านประโยชน์ช่วยในการตัดสินใจเลือกสถานที่ท่องเที่ยว และด้านการใช้งานมีความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของผู้ใช้และสถานที่ท่องเที่ยว ดังนี้ 1) ด้านการออกแบบ (Design) ผลการประเมินพบว่าด้านการออกแบบมีค่าเฉลี่ยสูงสุด โดยเฉพาะความยืดหยุ่นของการแสดงผลบนอุปกรณ์ที่มีขนาดหน้าจอแตกต่างกัน สะท้อนถึงการออกแบบที่คำนึงถึงประสบการณ์ผู้ใช้ (User Experience) ซึ่งช่วยให้ผู้ใช้สามารถเข้าถึงระบบได้สะดวก และสอดคล้องกับแนวคิดการรับรู้ความง่ายในการใช้งาน (Perceived Ease of Use) ที่ส่งผลต่อการยอมรับเทคโนโลยี (Davis, 1989) 2) ด้านเนื้อหา (Content) ด้านเนื้อหามีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก โดยความเหมาะสมของภาษาและรูปภาพได้รับคะแนนสูง แสดงให้เห็นว่าการนำเสนอข้อมูลที่ชัดเจน เข้าใจง่าย และสอดคล้องกับผู้ใช้ ช่วยเพิ่มความน่าสนใจและความน่าเชื่อถือของแอปพลิเคชัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ชี้ว่าคุณภาพของเนื้อหาเป็นปัจจัยสำคัญต่อความพึงพอใจและความตั้งใจใช้งานของผู้ใช้ (DeLone & McLean, 2003) 3) ด้านประโยชน์ในการใช้งาน (Usefulness) มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.34) โดยแอปพลิเคชันสามารถช่วยสนับสนุนการตัดสินใจเลือกสถานที่ท่องเที่ยวได้อย่างมีประสิทธิภาพ ($\bar{x}$ = 4.43) สะท้อนถึงการออกแบบฟังก์ชันที่ตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดการรับรู้ประโยชน์ (Perceived Usefulness) ที่มีอิทธิพลต่อการยอมรับและการใช้งานเทคโนโลยี (Venkatesh et al., 2003; Davis, 1989) 4) ด้านการใช้งาน (Usability) มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.29) โดยจุดเด่นคือความแม่นยำของระบบระบุตำแหน่ง ($\bar{x}$ = 4.47) ซึ่งช่วยให้ผู้ใช้สามารถค้นหาและวางแผนการเดินทางได้สะดวกและมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น สอดคล้องกับแนวคิดด้านคุณภาพระบบ (System Quality) ที่ส่งผลต่อความพึงพอใจและการใช้งานระบบสารสนเทศ (Venkatesh et al., 2003) 5) ภาพรวม ระบบโมบายแอปพลิเคชันมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก สะท้อนถึงศักยภาพของโมบายแอปพลิเคชันสามารถสนับสนุนการท่องเที่ยวจังหวัดพระนครศรีอยุธยาทั้งด้านการออกแบบ เนื้อหา และการใช้งาน ซึ่งช่วยยกระดับประสบการณ์ผู้ใช้และส่งเสริมการตัดสินใจท่องเที่ยวได้อย่างมีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับแนวคิดความสำเร็จของระบบสารสนเทศที่ชี้ว่าคุณภาพระบบและข้อมูลมีผลต่อความพึงพอใจและการใช้งาน (DeLone & McLean, 2003)

สุดท้ายนี้ ผลการประเมินสะท้อนให้เห็นถึงความสำคัญของการพัฒนาเทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อสนับสนุนการท่องเที่ยวในยุคปัจจุบัน โดยการประยุกต์ใช้โมบายแอปพลิเคชันสามารถช่วยเพิ่มความน่าสนใจในการท่องเที่ยว ส่งเสริมการตัดสินใจของนักท่องเที่ยว และสร้างมูลค่าทางเศรษฐกิจในพื้นที่ได้อย่างยั่งยืน ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดการท่องเที่ยวอัจฉริยะ (Smart Tourism) ที่เน้นการใช้เทคโนโลยีเพื่อยกระดับประสบการณ์และการพัฒนาการท่องเที่ยว (Gretzel et al., 2015) ซึ่งผลการทดสอบ Independent Samples t-test แสดงให้เห็นว่า ความแตกต่างด้านเพศและสัญชาติมีผลต่อการรับรู้คุณภาพ

(Research Article)

ของแอปท่องเที่ยวในบางมิติ โดยผู้ใช้เพศหญิงมักให้คะแนนด้านการออกแบบและความสะดวกสูงกว่า ขณะที่ผู้ใช้ชาวต่างชาติมีแนวโน้มให้คะแนนสูงกว่าผู้ใช้ชาวไทยในด้านข้อมูล การใช้งาน และประโยชน์ของระบบ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่พบว่าความง่ายในการใช้งาน คุณภาพข้อมูล และประสบการณ์ผู้ใช้เป็นปัจจัยสำคัญต่อความพึงพอใจและการยอมรับแอปท่องเที่ยว (Ribeiro-Navarrete et al., 2023; Manna et al., 2025)

ดังนั้น ระบบควรพัฒนาให้รองรับผู้ใช้หลากหลายกลุ่มมากขึ้น โดยเน้นการออกแบบส่วนติดต่อที่ใช้งานง่าย ชัดเจน และรองรับหลายภาษา เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานในกลุ่มนักท่องเที่ยวต่างชาติและผู้ใช้ที่มีความต้องการต่างกัน (Akhmedov & Ganiev, 2024; Manna et al., 2025)

9. ข้อเสนอแนะงานวิจัย (Recommendation)

ผลการวิจัยชี้ว่าแอปพลิเคชันมีศักยภาพในการส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมของจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ควรต่อยอดเป็นเครื่องมือประชาสัมพันธ์และสนับสนุนการตัดสินใจของนักท่องเที่ยว พร้อมพัฒนาฟังก์ชันแนะนำสถานที่ การวางแผนเส้นทาง และการนำทางแบบเรียลไทม์ให้ครบถ้วนยิ่งขึ้น ระบบควรได้รับการปรับปรุงให้รองรับผู้ใช้งานจำนวนมาก อัปเดตข้อมูลอย่างสม่ำเสมอ และรองรับหลายภาษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานจริง โดยเฉพาะกลุ่มนักท่องเที่ยวต่างชาติ สำหรับการวิจัยในอนาคต ควรศึกษากลุ่มตัวอย่างที่หลากหลายมากขึ้น และทดสอบฟังก์ชันใหม่ เช่น การแนะนำเฉพาะบุคคล การประยุกต์ใช้ AI หรือ AR และการประเมินผลระยะยาวต่อพฤติกรรมการท่องเที่ยวและความพึงพอใจของผู้ใช้

10. องค์ความรู้จากงานวิจัย (Contributions)

การพัฒนาระบบโมบายแอปพลิเคชันเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวในพื้นที่เฉพาะสามารถบูรณาการข้อมูลแหล่งท่องเที่ยว แผนที่ และการนำทางไว้ในระบบเดียวได้อย่างมีประสิทธิภาพ และช่วยยกระดับการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมให้เข้าถึงได้สะดวกยิ่งขึ้น นอกจากนี้ ผลการวิจัยยังชี้ว่าองค์ประกอบด้านการออกแบบ เนื้อหา และการใช้งานเป็นปัจจัยสำคัญต่อความพึงพอใจของผู้ใช้งาน โดยเฉพาะความชัดเจนของข้อมูล ความเหมาะสมของภาษาและรูปภาพ และความแม่นยำของการระบุตำแหน่งในเชิงประยุกต์ งานวิจัยนี้สามารถเป็นต้นแบบให้หน่วยงานด้านการท่องเที่ยวและองค์กรท้องถิ่นใช้เป็นเครื่องมือประชาสัมพันธ์ สนับสนุนการตัดสินใจ และต่อยอดสู่ฟังก์ชันแนะนำสถานที่ท่องเที่ยว การวางแผนเส้นทาง และการรองรับหลายภาษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานจริง

11. การเปิดเผยการใช้ปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ (Declaration of Generative AI)

งานวิจัยนี้ได้นำปัญญาประดิษฐ์มาใช้ในการแปลบทคัดย่อจากภาษาไทยเป็นภาษาอังกฤษ โดยใช้โปรแกรม AI เช่น ChatGPT และ Perplexity ซึ่งได้ใช้คำสั่งให้ทำการแปลอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการและไวยากรณ์ การใช้ AI ในขั้นตอนนี้ช่วยเพิ่มความแม่นยำของการสื่อสารเชิงวิชาการและลดความคลาดเคลื่อนจากการแปลด้วยตนเอง

12. การแสดงบทบาทผู้เขียน (CRediT Author Statement)

Atip Phothong: Conceptualization, Methodology, Software, Writing-Onginginal Draft.

Kongpop Chaprakon: Software, Data Curation, Visualization, Formal Analysis, Investigation, Writing-Review & Editing, Supervision.

All authors read and approved the final manuscript.

13. เอกสารอ้างอิง (References)

Akhmedov, A., & Ganiev, A. (2024). The Impact of Digitalization on International Tourism: A Study of Mobile Application Use by Tourists Visiting South Korea. *The 4th International Conference on Humanities Education, Law, and Social Science* (308–318). SciTePress. https://doi.org/10.5220/0013424900004654

Chormuan, S., Jaidee, S., & Kasetpaisit, S. (2015). The Development Android Application for Tourist Case Study in Kanchanaburi Province. *Journal of Western Rajabhat Universities*, *9*(1), 49–60. (In Thai)

Chullasapya, P. (2021). *Factors Using an Application for Continuing Travel Planning: A Case Study of Wongnai Application.* [Unpublished master's thesis]. Thammasat University. (In Thai)

Davis, F. D. (1989). Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology. *MIS Quarterly, 13*(3), 319–340. https://doi.org/10.2307/249008

DeLone, W. H., & McLean, E. R. (2003). The DeLone and McLean Model of Information Systems Success: A Ten-Year Update. (2003). *Journal of Management Information Systems, 19*(4), 9–30. https://doi.org/10.1080/07421222.2003.11045748

Digital Economy Promotion Agency. (2020, March 17). *Digital Platform for Tourism in the New Normal towards Smart Tourism*. https://www.depa.or.th/th/article-view/digital-platform-new-normal-smart-tourism. (In Thai)

Gretzel, U., Sigala, M., Xiang, Z., & Koo, C. (2015). Smart Tourism: Foundations and Developments. Electronic Markets, 25(3), 179–188. https://doi.org/10.1007/s12525-015-0196-8

Hongmo, R., & Chubchuwong, M. (2023). *A Study of Tourists' Satisfaction on New Normal Tourism Components Influencing Destination Loyalty of Thai Tourists: A Case Study of Phuket Province*. *Journal of Social Sciences and Humanities Association of Private Higher Education Institutions of Thailand, 29*(2), 8-23. (In Thai)

Hungsa, A. (2017). *Publication Relations Media in Augmented Reality for Tourism in Phra Nakhon Si Ayuttaya Province*. [Master's thesis, Rajamangala University of Technology Thanyaburi]. Intellectual Repository at Rajamangala University of Technology Thanyaburi. http://www.repository.rmutt.ac.th/dspace/handle/123456789/3339 (In Thai)

Khaosod. (2022). *ONDE Announces the Success of the Digital Cultural Heritage Initiative, Showcasing Thai Cultural Heritage as a Soft Power Reaching the Global Stage*. https://www.khaosod.co.th/pr-news/news_7064413 (In Thai)

Manna, A., Chakraborty, D., Cheah, J.-H., & Sigala, M. (2025). The Digital Tourist: Examining User Experience in Travel Apps Using Machine Learning Approach. *Tourism Recreation Research*, (Latest Articles), 1–18. https://doi.org/10.1080/02508281.2025.2545802

Phra Nakhon Si Ayutthaya Province. (2021, October 9). *Make Travelling Easier by Simply Downloading the App and Exploring Thailand in Your Own Style with the "Cool Tourism, Amazing Thailand" Experience, Available on Both iOS and Android.* https://news.ayutthaya.go.th/news/detail/10810 (In Thai)

Poodsongkram, M., & Manthung, W. (2016). *Travel Guid Application for Planning and Searching Historical Site in Ayutthaya. The 1st Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi National Conference* (344–349). Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi. (In Thai)

Puttitaweesri, P., Kranruang, D., & Rimphati, W. (2019). Development of Smartphone-based Navigation System in Ratchaburi. *Thaksin University Journal*, *22*(1), 97–108. (In Thai).

Ratanapongtra, T., Wongmonta, S., Techakana, J., & Praditphonlert, N. (2018). The Study of Potential of Cultural Heritage Tourist Attraction in Phra Nakhon Si Ayutthaya. *Rajamangala University of Technology Srivijaya Research Journal*, *10*(1), 65–80. (In Thai)

ReadyPlanet TravelTech. (2025). *Why is UX/UI important? Designing a Hotel Website to Meet Tourist needs*. https://blog.readyplanettraveltech.com/ux-ui-สำคัญอย่างไร-ออกแบบเว็บไซต์โรงแรมให้ตอบโจทย์นักท่องเที่ยวออนไลน์ (In Thai)

Ribeiro-Navarrete, B., Martín Martín, J. M., Guaita-Martínez, J. M., & Simón-Moya, V. (2023). Analysing Cooperatives' Digital Maturity Using a Synthetic Indicator. *International Journal of Information Management, 72*, 102678. https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2023.102678

Rodphan, N. (2020). *Travel Experience and Satisfaction of International Tourists to Tourism Management at World Heritage Site in Phra Nakhon Si Ayutthaya Affecting Word of Mouth.* [Unpublished master's thesis]. Dhurakij Pundit University. (In Thai)

Seangmas, K., Siripaprapagon, Y., PrathumKhav, S., Klangrit, S., & Inthayung, S. (2018). The Development of GPS System for Cultural Tourism Promotion in Surin Province. *Research Report*. Mahachulalongkornrajavidyalaya University. http://mcuir.mcu.ac.th:8080/jspui/handle/123456789/230 (In Thai)

Tanprayoon, P., & Tamalee, K. (2018). Ayutthaya World Heritage Tourism Management. *Valaya Alongkorn Review*, *8*(3), 171–184. (In Thai)

Tanusarn, C. (2016). *A Study of Customer Satisfaction in Information System in Organizations.* [Unpublished master's thesis]. Thammasat University. (In Thai)

Thinnukool, O., Phrommas, R., Kongdee, N., Jintapitak, M., Pitupumnak, K., Jarumaneerat, T., & Khuwuthyakorn, P. (2025). Sustainable Tourism Promotion through Mobile Gamification and Reward Systems for Chiang Mai Old Town, Thailand. *Frontiers in Computer Science, 7*, 1710089. https://doi.org/10.3389/fcomp.2025.1710089

UNESCO. (2015). *Imagining Heritage in the Digital Dimension: 50 Minds for the Next 50 Dialogue Series*. UNESCO World Heritage Centre. https://whc.unesco.org/en/50-minds/digital

Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B., & Davis, F. D. (2003). User Acceptance of Information Technology: Toward A Unified View. *MIS Quarterly, 27*(3), 425–478. https://doi.org/10.2307/30036540

Wongsason, M. (2017). *The Expectations and Supporting Factors that Affect the Acceptance of Information Technology for the Performance of Personnel in the Electricity Generating Authority of Thailand*. [Unpublished master's thesis]. Bangkok University. (In Thai)

May-August 2026, 4(2), e3550
DOI: 10.65205/jcct.2026.e3550
Journal of Computer and Creative Technology
วารสารคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสร้างสรรค์
ISSN 2985-1580 (Print)
ISSN 2985-1599 (Online)

(Research Article)

Deep Learning to Enhance the Accuracy and Lag-time of Time Series Data Forecasting

Napatr Chongkol[1,*] and Tanun Jaruvitayakovit[2]

[1,2]Department of Computer Engineering, College of Engineering and Technology,
Dhurakij Pundit University, Bangkok 10210, Thailand; Email: [1]67130350@dpu.ac.th, [2]tanun.jar@dpu.ac.th

[*]*Corresponding author:* Napatr Chongkol (67130350@dpu.ac.th)

Received: 27 March 2026; **Revised:** 2 June 2026; **Accepted:** 6 June 2026; **Published:** 24 August 2026

Abstract

Time series forecasting is crucial in the present, applied in areas such as weather forecasting, finance, and beyond. Gold price forecasting is highly complex due to significant influences from economic factors. Although current studies have explored gold price forecasting using deep learning models, issues of prediction lag persist, affecting the accuracy of directional forecasts. To address this problem, this research focuses on developing a gold price time series forecasting model with improved accuracy and reduced prediction lag. This is achieved by combining the strengths of the LSTM (Long Short-Term Memory) model, which excels at learning long-term dependencies in data, and the CNN (Convolutional Neural Network) model, which efficiently extracts spatial features from data. Additionally, a data grouping method based on price trend characteristics is employed, allowing the model to learn specific patterns of each trend type appropriately. This reduces lag caused by delayed responses to actual data changes and enhances the accuracy of gold price forecasts in both numerical value and directional movement. Consequently, the model demonstrates strong potential for effective application in real-world financial trading decisions. This study uses gold price data from January 2014 to July 2025, totaling 2,943 days. Price trends are classified into three groups uptrend, sideways and downtrend. Four models are trained, which are LSTM, CNN, LSTM_G3, and CNN_G3. The most suitable model for each group is then selected to create the LSTM+CNN_G3 model. The results show that the LSTM+CNN_G3 model achieves the lowest overall MAE (Mean Absolute Error) at 17.68 US dollars and the highest overall MPM (Movement Prediction Metric) at 54.08%, outperforming the baseline LSTM and CNN models that do not use data grouping. This demonstrates that the grouping method effectively reduces prediction lag. In a gold trading simulation, the LSTM+CNN_G3 model yields the highest profit of 1,870 US dollars, representing a 101.87% return on capital. These findings indicate that grouping data by price trends combined with selecting appropriate architectures can improve accuracy and reduce lag, enabling the model to be effectively applied in real-world financial markets.

Keywords: Time Series Forecasting, Gold Price, LSTM, CNN, Trend-Based Data Grouping

Copyright © 2026 Journal of Computer and Creative Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC-ND).

Citation:
Chongkol, N., & Jaruvitayakovit, T. (2026). Deep Learning to Enhance the Accuracy and Lag-time of Time Series Data Forecasting. *Journal of Computer and Creative Technology, 4*(2), e3550. https://doi.org/10.65205/jcct.2026.e3550

May-August 2026, 4(2), e3550
DOI: 10.65205/jcct.2026.e3550
Journal of Computer and Creative Technology
วารสารคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสร้างสรรค์
ISSN 2985-1580 (Print)
ISSN 2985-1599 (Online)

(Research Article)

การเรียนรู้เชิงลึกเพื่อเพิ่มความแม่นยำและลดเวลาหน่วงของการพยากรณ์ข้อมูลอนุกรมเวลา

ณภัทร จงกล[1,*] และ ธนัญ จารุวิทยโกวิท[2]

[1,2]สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10210 ประเทศไทย; Email: [1]67130350@dpu.ac.th, [2]tanun.jar@dpu.ac.th

[*]*ผู้ประพันธ์บรรณกิจ:* ณภัทร จงกล (67130350@dpu.ac.th)

รับบทความ: 27 มีนาคม 2569; **แก้ไขบทความ:** 2 มิถุนายน 2569; **ตอบรับบทความ:** 6 มิถุนายน 2569;
เผยแพร่บทความ: 24 สิงหาคม 2569

บทคัดย่อ

การพยากรณ์อนุกรมเวลาเป็นสิ่งสำคัญในยุคปัจจุบัน ทั้งในด้านการพยากรณ์อากาศ การเงิน และอื่น ๆ โดยเฉพาะการพยากรณ์ราคาทองคำที่มีความซับซ้อนสูงเนื่องจากได้รับอิทธิพลจากปัจจัยทางเศรษฐกิจอย่างมาก แม้ว่าในปัจจุบันจะมีการศึกษาเกี่ยวกับวิธีการพยากรณ์ราคาทองคำโดยใช้แบบจำลองเชิงลึก แต่ยังคงพบปัญหาความล่าช้าในการพยากรณ์ซึ่งส่งผลต่อความแม่นยำของทิศทางที่พยากรณ์ได้ เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการพัฒนาแบบจำลองพยากรณ์อนุกรมเวลาราคาทองคำให้มีความแม่นยำมากขึ้นและลดปัญหาความล่าช้าในการพยากรณ์ โดยอาศัยการผสมผสานจุดเด่นระหว่างโมเดล LSTM (Long Short-Term Memory) ที่มีความสามารถในการเรียนรู้การพึ่งพาระยะยาวของข้อมูล และโมเดล CNN (Convolutional Neural Network) ที่มีความสามารถในการสกัดคุณลักษณะเชิงพื้นที่จากข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ประกอบกับวิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลตามลักษณะของแนวโน้มราคา ซึ่งช่วยให้แบบจำลองสามารถเรียนรู้รูปแบบเฉพาะของแนวโน้มแต่ละประเภทได้อย่างเหมาะสม ลดปัญหาความล่าช้าที่เกิดจากการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลจริงที่ไม่ทันการณ์ และเพิ่มความแม่นยำในการพยากรณ์ราคาทองคำทั้งในด้านตัวเลขและทิศทาง ซึ่งส่งผลให้แบบจำลองมีศักยภาพในการนำไปประยุกต์ใช้ในการตัดสินใจซื้อขายในตลาดการเงินจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ งานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลราคาทองคำตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2557 ถึงกรกฎาคม พ.ศ. 2568 รวม 2,943 วัน โดยจำแนกแนวโน้มราคาออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ ขาขึ้น, ทรงตัว, และขาลง จากนั้นฝึกแบบจำลอง 4 รูปแบบ ได้แก่ LSTM, CNN, LSTM_G3 และ CNN_G3 แล้วเลือกแบบจำลองที่เหมาะสมในแต่ละกลุ่มสร้างเป็นแบบจำลอง LSTM+CNN_G3 ผลการวิจัยพบว่าแบบจำลอง LSTM+CNN_G3 ให้ค่า MAE (Mean Absolute Error) รวมต่ำที่สุดที่ 17.68 ดอลลาร์สหรัฐ และค่า MPM (Movement Prediction Metric) รวมสูงที่สุดที่ 54.08% ซึ่งดีกว่าแบบจำลอง LSTM และ CNN ที่ไม่ได้แบ่งกลุ่มและเป็นโมเดลพื้นฐานของการทำนายข้อมูลอนุกรมเวลา แสดงให้เห็นว่าวิธีการแบ่งกลุ่มช่วยลดปัญหาความล่าช้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเมื่อจำลองการซื้อขายทองคำพบว่าแบบจำลอง LSTM+CNN_G3 ให้กำไรสูงสุดที่ 1,870 ดอลลาร์สหรัฐ คิดเป็น 101.87% ของเงินทุน แสดงให้เห็นว่าการแบ่งกลุ่มข้อมูลตามแนวโน้มราคาร่วมกับการเลือกใช้สถาปัตยกรรมที่เหมาะสมสามารถเพิ่มความแม่นยำและลดปัญหาความล่าช้าได้ ส่งผลให้แบบจำลองมีศักยภาพในการนำไปประยุกต์ใช้จริงในตลาดการเงินได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: การพยากรณ์อนุกรมเวลา, ราคาทองคำ, แอลเอสทีเอ็ม, ซีเอ็นเอ็น, การแบ่งกลุ่มข้อมูลตามแนวโน้ม

Copyright © 2026 Journal of Computer and Creative Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC-ND).

การอ้างอิง:
ณภัทร จงกล, และ ธนัญ จารุวิทยโกวิท. (2569). การเรียนรู้เชิงลึกเพื่อเพิ่มความแม่นยำและลดเวลาหน่วงของการพยากรณ์ข้อมูลอนุกรมเวลา. *วารสารคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสร้างสรรค์, 4*(2), e3550. https://doi.org/10.65205/jcct.2026.e3550

(Research Article)

1. บทนำ (Introduction)

ในยุคปัจจุบัน ข้อมูลอนุกรมเวลาถูกสร้างและรวบรวมไว้ในปริมาณมหาศาลและหลากหลายรูปแบบจากแหล่งต่าง ๆ เช่น ข้อมูลการซื้อขายทางการเงินในตลาดหุ้นและตลาดอนุพันธ์ ข้อมูลเซ็นเซอร์จากอุปกรณ์ IoT ข้อมูลการใช้งานบนโลกออนไลน์และโซเชียลมีเดีย ข้อมูลสภาพอากาศจากสถานีตรวจวัดอัตโนมัติ ตลอดจนข้อมูลการขนส่งและโลจิสติกส์ ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีโดยเฉพาะด้านปัญญาประดิษฐ์ออกแบบวิธีการใหม่ในการทำความเข้าใจ พยากรณ์ และตัดสินใจจากข้อมูลอนุกรมเวลาเหล่านี้ได้อย่างแม่นยำมากขึ้น

การพยากรณ์ราคาทองคำ ซึ่งเป็นสินทรัพย์ปลอดภัยและตัวบ่งชี้เศรษฐกิจที่สำคัญเป็นหนึ่งในกรณีศึกษาที่ท้าทาย เนื่องจากราคาถูกขับเคลื่อนโดยปัจจัยทางเศรษฐกิจมหภาคที่ซับซ้อนเช่น อัตราเงินเฟ้อ อัตราดอกเบี้ย ค่าเงินดอลลาร์สหรัฐ และภาวะความตึงเครียดทางภูมิรัฐศาสตร์ (TP & Sultana, 2024) ซึ่งส่งผลให้ราคาทองคำมีความผันผวนที่สูงและยากต่อการทำนาย การเรียนรู้เชิงลึกได้พัฒนาวิธีการพยากรณ์อนุกรมเวลาและสร้างโมเดลที่มีความสามารถในการเรียนรู้คุณลักษณะที่ซับซ้อนจากข้อมูลปริมาณมากได้โดยอัตโนมัติ แนวคิดพื้นฐานเริ่มต้นจาก RNN (Recurrent Neural Network) ซึ่งมีโครงสร้างที่ออกแบบมาเพื่อประมวลผลข้อมูลเชิงลำดับโดยเฉพาะ เนื่องจากมีหน่วยความจำภายในที่บันทึกบริบทจากขั้นเวลาก่อนหน้า LSTM ได้ถูกพัฒนาขึ้นจากโมเดล RNN โดยมีโครงสร้างเกทที่ซับซ้อนซึ่งช่วยควบคุมการไหลของข้อมูล ทำให้สามารถจดจำและเรียนรู้ระยะยาวในลำดับข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น แนวโน้ม และวัฏจักร นอกเหนือจากสถาปัตยกรรมที่เชี่ยวชาญด้านลำดับแล้ว CNN ซึ่งมีความสามารถด้านการประมวลผลภาพยังสามารถแสดงประสิทธิภาพในการทำนายอนุกรมเวลา เนื่องจากสามารถสกัดคุณลักษณะเชิงพื้นที่จากข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพผ่านการดำเนินการ Convolution

ปัจจุบันโมเดลพยากรณ์ในกลุ่ม RNN ที่นิยมใช้ในการพยากรณ์อนุกรมเวลายังมี ปัญหาความล่าช้า (Lagging Problem) เนื่องจากโมเดลเกิดการตอบสนองช้ากับการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลจริง (Li et al., 2023) โดยส่วนใหญ่มักเกิดที่จุดกลับตัวหรือจุดที่ข้อมูลมีความผันผวนมาก ซึ่งปัญหานี้ส่งผลกระทบโดยตรงต่อการพยากรณ์ทิศทางโดยเฉพาะการกับประยุกต์อนุกรมเวลาที่ต้องใช้ทิศทางในการตัดสินใจ เช่น ราคาทอง

งานวิจัยนี้จึงนำเสนอการผสมผสานจุดเด่นระหว่างโมเดลในกลุ่ม RNN ที่นิยมใช้ในปัจจุบันอย่าง LSTM ควบคู่กับโมเดล CNN และวิธีการแบ่งกลุ่มตามแนวโน้มข้อมูลเพื่อลดปัญหาดังกล่าวและเพิ่มความแม่นยำให้กับการพยากรณ์ เนื่องจากโมเดล CNN ที่นำมาประยุกต์ใช้กับอนุกรมเวลามีความสามารถด้านการสกัดคุณลักษณะเชิงพื้นที่ ซึ่งส่งผลให้ติดตามความผันผวนของข้อมูลได้ทัน และการแบ่งกลุ่มข้อมูลตามแนวโน้มช่วยให้โมเดลสามารถพยากรณ์ทิศทางทางได้แม่นยำมากขึ้น โดยอนุกรมเวลาที่งานวิจัยนี้เลือกใช้คือ ราคาทองคำ ซึ่งเป็นอนุกรมเวลาที่มีความผันผวนสูง เหมาะสำหรับการวัดประสิทธิภาพของโมเดลผ่านการจำลองการเทรด หรือการทดสอบกับข้อมูลจริงในตลาด

2. วัตถุประสงค์งานวิจัย (Research Objectives)

1. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดล LSTM และ CNN สำหรับการพยากรณ์อนุกรมเวลาราคาทองคำ โดยใช้ค่า MAE วัดความคลาดเคลื่อนเชิงปริมาณ และใช้ค่า MPM วัดความถูกต้องของทิศทางที่โมเดลพยากรณ์ได้

2. เพื่อนำเสนอวิธีการลดปัญหาความล่าช้าในการทำนายของโมเดล LSTM และ CNN โดยการแบ่งกลุ่มข้อมูลตามแนวโน้มราคา และเลือกใช้โมเดลที่เหมาะสมในแต่ละกลุ่มในการสร้างโมเดล LSTM+CNN_G3 เพื่อเปรียบเทียบกับโมเดลที่นิยมใช้ในปัจจุบันอย่าง LSTM

3. เพื่อประเมินศักยภาพของโมเดลที่พัฒนาขึ้นในการจำลองการซื้อขายทองคำจริงและเปรียบเทียบกับโมเดล LSTM, CNN และกลยุทธ์ซื้อและถือ (Buy-and-Hold)

3. การทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)

3.1 การพยากรณ์อนุกรมเวลา

อนุกรมเวลาคือลำดับของข้อมูลที่ถูกจัดเรียงตามช่วงเวลาที่เท่า ๆ กัน เช่น รายชั่วโมง รายวัน รายเดือน หรือรายปี ซึ่งการพยากรณ์อนุกรมเวลาเป็นกระบวนการทำนายค่าในอนาคตโดยอาศัยข้อมูลในอดีตและปัจจุบัน ซึ่งตั้งอยู่บนสมมติฐาน

ที่ว่าค่าในอนาคตของอนุกรมเวลาสามารถประมาณได้จากค่าในอดีต การพยากรณ์อนุกรมเวลาถือเป็นเครื่องมือวิเคราะห์ที่สำคัญในหลากหลายสาขา เช่น การเงิน เศรษฐศาสตร์ การตลาด วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม และการจัดการโลจิสติกส์

การพยากรณ์อนุกรมเวลามีองค์ประกอบสำคัญของอนุกรมเวลาประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก (Das & Barman, 2025) ได้แก่ แนวโน้ม คือการเคลื่อนที่ของข้อมูลในระยะยาวที่แสดงทิศทางของการเพิ่มขึ้น ลดลง หรือคงที่ ซึ่งอาจเป็นได้ทั้งแบบเชิงเส้นและไม่เชิงเส้น, ฤดูกาล คือรูปแบบที่เกิดขึ้นซ้ำ ๆ เป็นช่วงวงจรตามช่วงเวลาที่กำหนด และความสุ่ม คือความผันผวนที่ไม่สามารถคาดเดาได้ซึ่งเกิดจากปัจจัยภายนอกหรือความคลาดเคลื่อนในการวัด

3.2 การเรียนรู้เชิงลึก (Deep learning)

การเรียนรู้เชิงลึก เป็นสาขาหนึ่งของการเรียนรู้ของเครื่องที่มีการสร้างและฝึกฝนโครงข่ายประสาทเทียมหลายชั้นเพื่อเรียนรู้รูปแบบและคุณลักษณะที่ซับซ้อนจากข้อมูลปริมาณมาก ในปัจจุบันการเรียนรู้เชิงลึกได้มีการนำมาประยุกต์กับการพยากรณ์อนุกรมเวลา (Giantsidi & Tarantola, 2025) โดยสามารถเอาชนะวิธีการทางสถิติแบบดั้งเดิมในการพยากรณ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้นและการพึ่งพาระยะยาวของข้อมูล โดยการเรียนรู้เชิงลึกมีหลายประเภท เช่น Long Short-Term Memory (LSTM) ซึ่งมีความสามารถในด้านการพยากรณ์อนุกรมเวลา และ Convolutional Neural Network (CNN) เป็นต้น

3.3 โมเดล Long Short-Term Memory (LSTM)

โมเดล Long Short-Term Memory (LSTM) เป็นสถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทเทียมประเภทหนึ่งที่ได้รับการออกแบบมาเพื่อแก้ปัญหาข้อบกพร่องของ Recurrent Neural Networks (RNN) แบบดั้งเดิม (Chen et al., 2024) โดยเฉพาะในเรื่องของการเรียนรู้การพึ่งพาระยะยาวของข้อมูล โมเดล LSTM มีกลไกพิเศษที่เรียกว่า gate ซึ่งประกอบด้วย forget gate, input gate, และ output gate ที่ทำหน้าที่ควบคุมการไหลเวียนของข้อมูล กลไกนี้ทำให้โมเดลสามารถเลือกที่จะจดจำหรือลืมข้อมูลในอดีตได้อย่างเหมาะสม ด้วยคุณสมบัตินี้โมเดล LSTM จึงเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายในการทำนายข้อมูลอนุกรมเวลาทางการเงินรวมถึงการทำนายราคาทองคำ

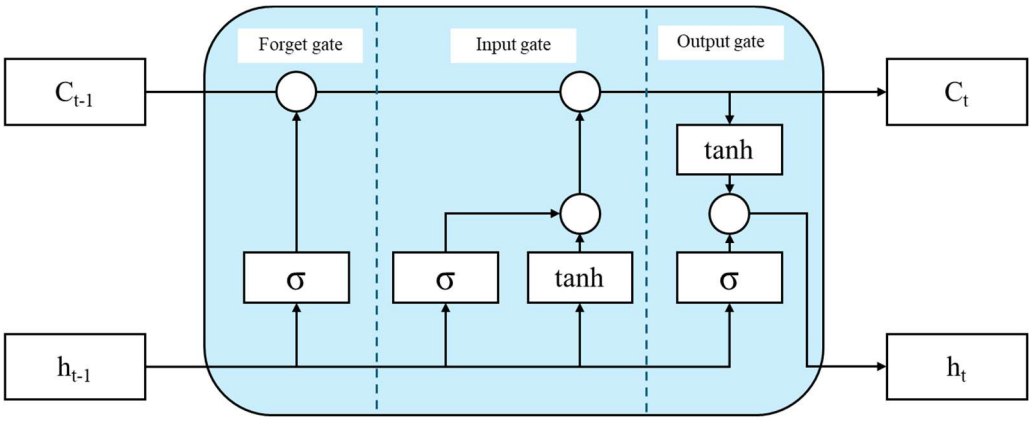


Figure 1. Long Short-Term Memory (LSTM)
Source: Widiputra et al. (2021)

3.4 โมเดล Convolutional Neural Network (CNN)

Convolutional Neural Network (CNN) เป็นที่รู้จักและมีความสามารถในงานด้านการประมวลผลภาพ แต่ในปัจจุบันได้มีงานวิจัยที่นำโมเดล CNN มาประยุกต์ใช้กับงานอนุกรมเวลาอย่างแพร่หลายเนื่องจากโมเดล CNN สามารถใช้ในการสกัดคุณลักษณะที่สำคัญจากข้อมูลอนุกรมเวลาได้เป็นอย่างดี (Chen & Fan, 2025) เช่น ความผันผวนของราคาในระยะสั้น หรือการเกิดรูปแบบกราฟแท่งเทียนที่สำคัญโดยการใช้ Convolution Kernels เลื่อนไปตามลำดับเวลา

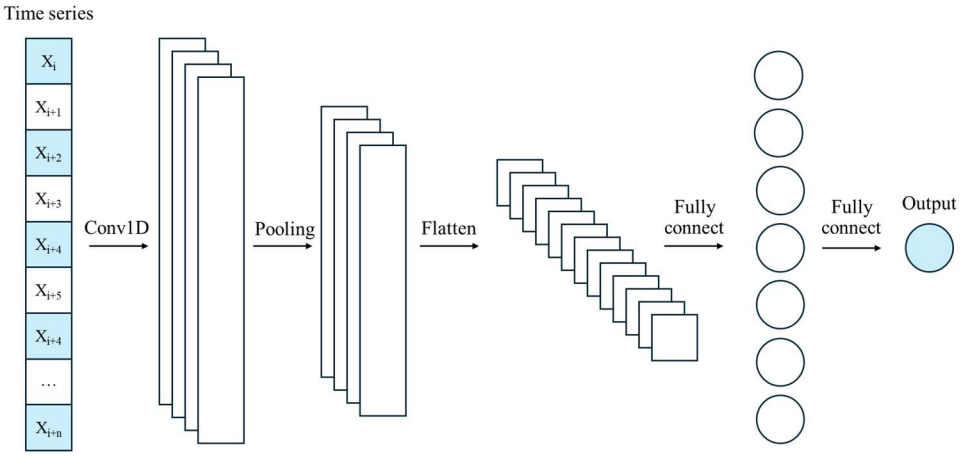


Figure 2. Convolutional Neural Network (CNN)
Source: Ortu et al. (2022)

3.5 มาตรวัดประสิทธิภาพการพยากรณ์

Mean Absolute Error (MAE) เป็นมาตรวัดความแม่นยำที่นิยมใช้ในการประเมินโมเดลการพยากรณ์เชิงปริมาณ โดยข้อดีของ MAE คือมีความหมายที่เข้าใจง่ายโดยมีหน่วยเดียวกับข้อมูลต้นฉบับและไม่ไวต่อค่าผิดปกติ โดย MAE คำนวณจากค่าเฉลี่ยของค่าสัมบูรณ์ของความแตกต่างระหว่างค่าจริงกับค่าพยากรณ์ ดังสมการ (1)

$$\mathrm{MAE} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|y_i - \hat{y}_i| \tag{1}$$

Movement Prediction Metric (MPM) เป็นมาตรวัดที่เสนอโดย Samanta et al. (2020) เพื่อประเมินความแม่นยำในการพยากรณ์ทิศทางของการเปลี่ยนแปลงข้อมูล ซึ่งสัมพันธ์โดยตรงกับปัญหาความล่าช้าในการพยากรณ์อนุกรมเวลา คำนวนได้จากสมการ (2)

$$\mathrm{MPM} = \frac{\mathrm{TU+TD}}{\mathrm{TU+FU+TD+FD}} \tag{2}$$

โดย TU แทนปริมาณการทำนายทิศทางขึ้นที่ถูกต้อง, TD แทนปริมาณการทำนายทิศทางลงที่ถูกต้อง, FU แทนปริมาณการทำนายขึ้นที่ผิดพลาด และ FD แทนปริมาณการทำนายลงที่ผิดพลาด

3.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยของ Lin et al. (2021) เสนอโมเดลแบบใหม่ในการพยากรณ์ทิศทางราคาหุ้นโดยการรวมเทคนิคการวิเคราะห์แผนภูมิแท่งเทียนเข้ากับการเรียนรู้ของเครื่องแบบรวมกลุ่มโดยขั้นแรกจะจำแนกรูปแบบแท่งเทียนจากข้อมูลราคาออกเป็น 13 รูปแบบ จากนั้นฝึกฝนโมเดลการเรียนรู้ 6 ชนิดได้แก่ LR, SVM, KNN, RF, GBDT และ LSTM ทดสอบแยกกันสำหรับแต่ละกลุ่ม เพื่อเลือกโมเดลที่เหมาะสมที่สุดสำหรับรูปแบบราคาแต่ละประเภท และมีการปรับปรุงประสิทธิภาพด้วยการเพิ่มตัวชี้วัดทางเทคนิค 4 กลุ่ม ผลการทดลองกับข้อมูลหุ้นจีนจำนวนมากพบว่า ประสิทธิภาพการทำนายจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการแบ่งกลุ่มและเลือกใช้โมเดลที่เหมาะสม

งานวิจัยของ Mehtab et al. (2020) เปรียบเทียบโมเดลสำหรับพยากรณ์ราคาหุ้น โดยใช้ข้อมูลราคาหุ้นราย 5 นาทีของบริษัท Bharat Forge ในตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศอินเดีย โดยใช้โมเดลทั้งหมด 7 แบบ แบ่งเป็นโมเดล CNN จำนวน 3 แบบ และโมเดล LSTM จำนวน 4 แบบ ซึ่งมีทั้งแบบใช้ข้อมูลตัวแปรเดียวและหลายตัวแปร โดยผลการวิจัยพบว่าโมเดล CNN ที่ใช้ข้อมูลตัวแปรเดียวของสองสัปดาห์ก่อนหน้ามีความแม่นยำสูงที่สุด ขณะที่โมเดล CNN ที่ใช้ข้อมูลข้อมูลตัว

แปรเดียวหนึ่งสัปดาห์ก่อนหน้ามีความเร็วในการประมวลผลสูงที่สุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโมเดลกลุ่ม CNN มีประสิทธิภาพโดยรวมดีกว่าโมเดล LSTM ทั้งในด้านความแม่นยำและความเร็วในการประมวลผล

ผลการศึกษาของ Li et al. (2023) ชี้ให้เห็นว่าการพยากรณ์อนุกรมเวลาทางการเงินด้วย Recurrent Network Model (RNN, LSTM, GRU) มักเผชิญกับปัญหาการล่าช้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงที่แนวโน้มของข้อมูลเกิดการกลับตัว ซึ่งส่งผลให้ค่าพยากรณ์มีลักษณะใกล้เคียงกับค่าอินพุตในอดีตมากกว่าค่าจริง แม้ว่าการปรับปรุงโมเดลด้วยเทคนิคต่าง ๆ เช่น การใช้ข้อมูลหลายตัวแปร (Multivariate) หรือการแยกส่วนข้อมูล (EMD) จะสามารถบรรเทาปัญหาล่าช้าได้บางส่วน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโมเดลพื้นฐานอาจจัดการกับปัญหานี้ได้ไม่มากพอ และการพยายามลดความคลาดเคลื่อนเพียงอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอ หากไม่ได้พิจารณาปัญหาการล่าช้าของแนวโน้มซึ่งส่งผลต่อทิศทางควบคู่ไปด้วย

งานวิจัยของ Samanta et al. (2020) เสนอเมตริกใหม่ชื่อ Movement Prediction Metric (MPM) เพื่อประเมินความแม่นยำในการพยากรณ์ทิศทางการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล ซึ่งสัมพันธ์โดยตรงกับปัญหาการล่าช้า และเสนอวิธีแก้ปัญหาการล่าช้าโดยวิธี Dual Network Solution ผลการทดลองกับข้อมูลความเร็วลมและราคาหุ้น Amazon พบว่าโมเดล DNS ให้ค่า Mean Squared Error (MSE) ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่น และให้ค่า MPM สูงขึ้น ซึ่งบ่งชี้ว่าสามารถลดปัญหาการล่าช้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากงานวิจัยข้างต้นยังไม่มีงานวิจัยใดที่สามารถแก้ปัญหาความล่าช้าของโมเดล LSTM แม้ว่างานวิจัยของ Li et al. (2023) จะมีการปรับปรุงโมเดลด้วยเทคนิคต่าง ๆ แต่ก็ยังมีปัญหาความล่าช้าเกิดขึ้น และยังไม่มีงานวิจัยใดที่นำการแบ่งกลุ่มข้อมูลตามแนวโน้มของข้อมูลมาประยุกต์ใช้ร่วมกับโมเดล CNN ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำแนวคิดจากงานวิจัยต่าง ๆ มาต่อยอด โดย Lin et al. (2021) แสดงให้เห็นว่าการแบ่งกลุ่มข้อมูลก่อนการพยากรณ์ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ ต่อมาได้นำแนวคิดจาก Mehtab et al. (2020) ซึ่งพบว่าโมเดล CNN มีประสิทธิภาพเหนือกว่า LSTM ในบางชุดข้อมูลอนุกรมเวลา รวมถึง Li et al. (2023) ที่ชี้ให้เห็นถึงปัญหาการล่าช้าของโมเดลแบบ Recurrent Network โดยเฉพาะในช่วงที่แนวโน้มข้อมูลเกิดการกลับตัว ซึ่งส่งผลให้ค่าพยากรณ์มีความคลาดเคลื่อนด้านทิศทาง จึงนำมาสู่การเลือกใช้โมเดล LSTM ที่เป็นโมเดลที่นิยมใช้ในข้อมูลอนุกรมเวลา ควบคู่กับโมเดล CNN เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพและศึกษาความล่าช้าของโมเดล และท้ายที่สุดได้นำเมตริก MPM จากงานวิจัยของ Samanta et al. (2020) ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นเพื่อประเมินความแม่นยำในการพยากรณ์ทิศทางที่สัมพันธ์โดยตรงกับปัญหาการล่าช้ามาใช้เป็นเกณฑ์ในการประเมินผลร่วมกับเกณฑ์อื่น ๆ เพื่อให้สามารถตรวจจับและลดปัญหาการล่าช้าของโมเดล

4. กรอบแนวคิดงานวิจัย (Conceptual Framework)

งานวิจัยนี้มีแนวคิดโดยต้องการดึงจุดเด่นของโมเดล LSTM และ CNN เพื่อลดข้อผิดพลาดและลดความล่าช้าของโมเดลโดยวิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลตามแนวโน้มข้อมูลดังแสดงใน Figure 3. โดยอินพุตของงานวิจัยนี้คืออนุกรมเวลาราคาทอง ซึ่งนำมาแยกกลุ่มข้อมูลจากนั้นทำนายค่าราคาปิดของวันถัดไปด้วยโมเดล LSTM และ CNN จะช่วยลดค่าความผิดพลาดของโมเดล เพิ่มอัตราการทายถูกของโมเดล และสามารถนำไปใช้ในการซื้อ-ขายจริง

5. วิธีดำเนินงานวิจัย (Research Methodology)

5.1 การเก็บข้อมูล

ดาวน์โหลดข้อมูลราคาทองคำ (Gold Spot) จากเว็บไซต์ www.investing.com (Investing.Com, 2025) โดยครอบคลุมระยะเวลา ตั้งแต่วันที่ 17 มกราคม 2014 ถึง วันที่ 17 กรกฎาคม 2025 ทั้งหมด 2,943 วัน ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วยสามคุณสมบัติหลัก ได้แก่ ราคาปิด, ราคาสูงที่สุดของวัน และราคาต่ำที่สุดของวันดังแสดงใน Figure 4. โดยแกน X แทนลำดับของวันที่และแกน Y แทนราคาปิดของทองในแต่ละวัน

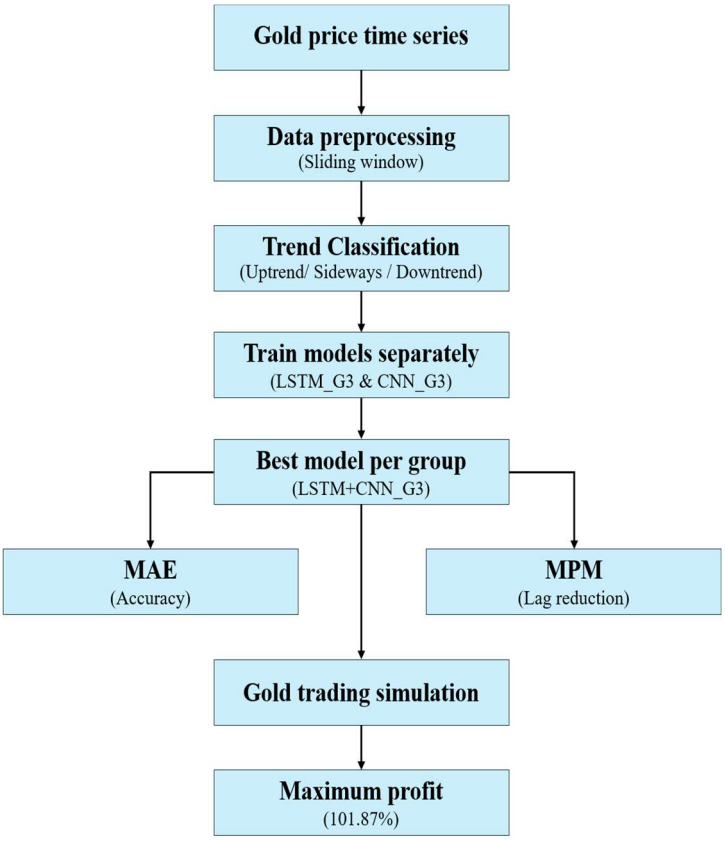


Figure 3. Conceptual Framework



Figure 4. Gold Price Chart
Source: Investing.Com (2025)

5.2 การเตรียมข้อมูลและแบ่งกลุ่มข้อมูลตามแนวโน้มราคาทอง

แบ่งข้อมูลราคาทองออกเป็นสองชุด ได้แก่ ชุดฝึกฝน 70% และ ชุดทดสอบ 30% (Bahri & Vahidnia, 2022) จากข้อมูลทั้งหมดตามลำดับเวลา จากนั้นเปลี่ยนข้อมูลให้เป็นอาเรย์ด้วยวิธี Sliding Window โดยจากการทดลองเปรียบเทียบ Windows Size ที่ 2, 3, 5 และ 10 พบว่าการเพิ่ม Windows Size ไม่ช่วยให้ความแม่นยำของโมเดลดีขึ้น โดย Windows Size = 2 ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจึงเลือกใช้ Windows Size = 2 ในงานวิจัยนี้ ข้อมูลภายในแต่ละ Window ประกอบด้วย ราคาปิด, ราคาสูงที่สุด, และราคาต่ำที่สุดของวัน ซึ่งถูกใช้เป็นอินพุตของโมเดล และกำหนดให้ราคาปิดของวันถัดไปเป็นเป้าหมาย

(Research Article)

ของโมเดล จากนั้นจำแนกแนวโน้มของราคาทองคำการออกเป็น 3 กลุ่ม ซึ่งเป็น 3 กลุ่มที่มีการทดลองเบื้องต้นว่ามีจำนวนข้อมูลในการฝึกฝนและทดสอบที่เพียงพอในแต่ละกลุ่ม เพื่อใช้เป็นข้อมูลอินพุตโดยแบ่งเป็น กลุ่มที่ 1 แนวโน้มขาขึ้น, กลุ่มที่ 2 แนวโน้มทรงตัวและ กลุ่มที่ 3 แนวโน้มขาลง โดยมีเกณฑ์ในการกำหนดกลุ่มซึ่งอาศัยการเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างวันปัจจุบัน (i) กับวันก่อนหน้า (i-1) โดยพิจารณาจากการเคลื่อนไหวของราคาปิด (P), ราคาสูงสุด (H), และราคาต่ำสุด (L) ร่วมกัน เงื่อนไขในการแบ่งกลุ่มสามารถอธิบายได้ดังแสดงใน Figure 5.

หลังจากการแบ่งกลุ่ม จากนั้นวิเคราะห์ความผันผวนของแต่ละกลุ่มโดยคำนวนจากการเปลี่ยนแปลงราคาที่จะเกิดขึ้น (Pi+1-Pi) จากนั้นหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละชุดข้อมูลดังแสดงใน Table 1.

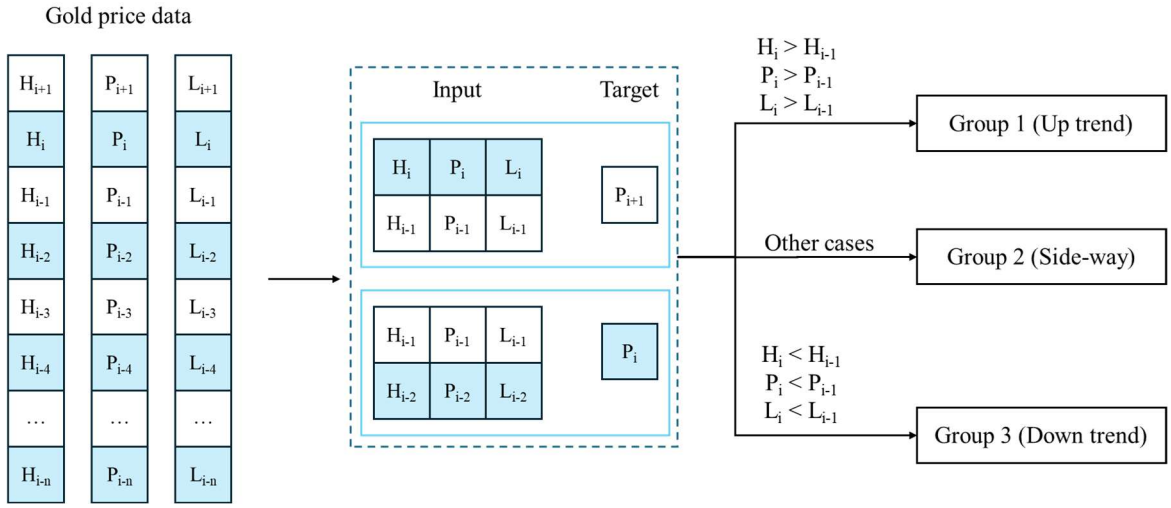


Figure 5. Group Separation Method

Table 1. Group of Samples

Group		Amount of sample	Price change ($P_{i+1} - P_i$)	
			Mean	S.D.
Group 1	Train	670	5.72	15.16
	Test	331	11.44	25.24
Group 2	Train	804	0.17	14.08
	Test	332	2.48	27.60
Group 3	Train	584	-5.30	14.06
	Test	240	-8.78	20.94

5.3 กระบวนการฝึกและทดสอบโมเดล

งานวิจัยนี้สร้างโมเดลทั้งหมด 4 รูปแบบ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพ โดยแบ่งวิธีการฝึกเป็น 2 แนวทางหลัก คือ โมเดลพื้นฐาน (LSTM และ CNN) และโมเดลแบบแบ่งกลุ่มข้อมูล 3 กลุ่ม (LSTM_G3 และ CNN_G3) โดยโมเดลพื้นฐานจะใช้ข้อมูลทั้งหมดในการฝึกและทดสอบโดยมีไม่แบ่งกลุ่มข้อมูล แต่ในโมเดลแบบแบ่งกลุ่มข้อมูล 3 กลุ่มช่วงก่อนการฝึกและทดสอบ จะมีการแบ่งข้อมูลออกเป็น 3 กลุ่มโดยมีเงื่อนไขดังแสดงใน Figure 5. จากนั้นจะฝึกโมเดลแยกกันในแต่ละกลุ่มดังแสดงใน Figure 6. โดยหลังจากที่ฝึกและทดสอบโมเดลทั้งหมดแล้ว จะเลือกโมเดลที่ให้ประสิทธิภาพในการทำนายดีที่สุดของแต่ละกลุ่มนำมาสร้างโมเดล LSTM+CNN_G3

(Research Article)

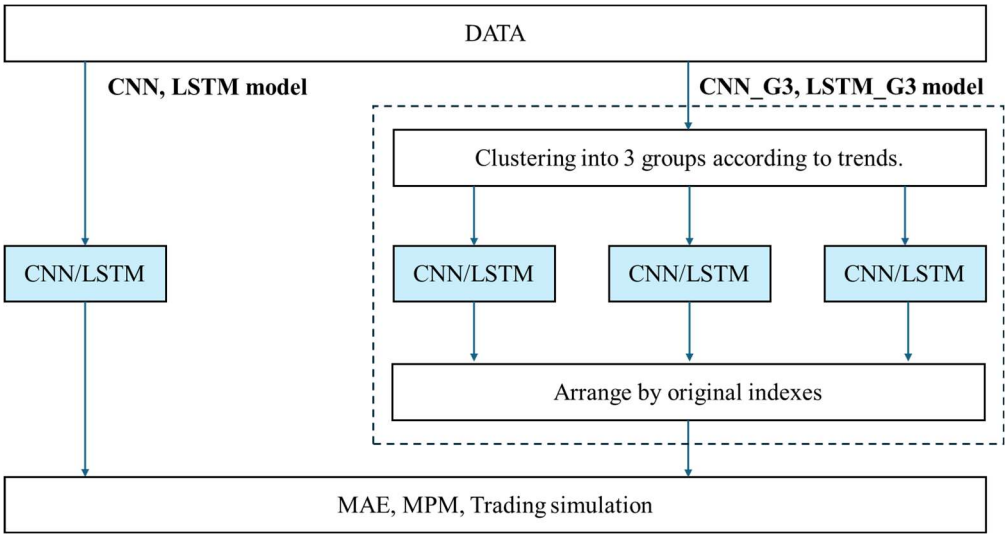


Figure 6. Prediction Model

Table 2. Parameters

Model	Parameters	
CNN	Filters	64
	Kernel size	2
	activation function	Relu
	Pool size	2
	Dense_1	50
	Dense_2	1
LSTM	Units	64
	Dense	50
Optimizer		adam
epochs		20

หลังจากการทำนายจะแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 กลุ่มคือ ความแม่นยำเชิงปริมาณ และความถูกต้องของทิศทางที่ทำนาย ตัวแปรที่ใช้วัดความแม่นยำเชิงปริมาณคือ MAE และตัวแปรที่ใช้วัดความถูกต้องของทิศทางคือ MPM (Samanta et al., 2020)

5.4 จำลองการซื้อ-ขายทอง

เพื่อทดสอบศักยภาพในการประยุกต์ใช้จริง งานวิจัยได้จำลองการซื้อขายทองคำโดยอิงตามสัญญาณทิศทางจากโมเดล โดยเริ่มต้นด้วยเงินทุนเท่ากับราคาทอง 1 ออนซ์ของวันแรกจากชุดทดสอบซึ่งมีค่าเท่ากับ 1835.6 ดอลลาร์สหรัฐ และสิ้นสุด ณ วันสุดท้ายของชุดทดสอบ โดยใช้กลยุทธ์ “ซื้อทั้งหมด” เมื่อทำนายว่าราคาจะขึ้น และ “ขายทั้งหมด” เมื่อทำนายว่าราคาจะลง ดังแสดงใน Figure 7. ผลตอบแทนสะสมที่ได้จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับกลยุทธ์ซื้อและถือ โดยการซื้อ-ขายทองในโบรกเกอร์ของประเทศไทยไม่มีค่าธรรมเนียมการซื้อขาย แต่จะมีค่าส่วนต่างของราคาซื้อกับราคาขายซึ่งจะอยู่ประมาณ 0.01% ของราคาซื้อ (Krungthai, 2021)

(Research Article)

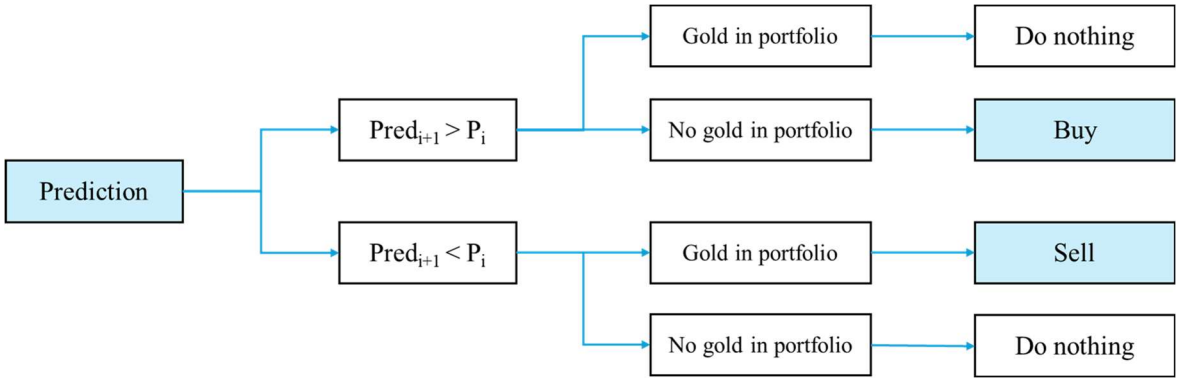


Figure 7. Gold Trading Simulation Concept

6. ผลการวิจัย (Results)

6.1 ความแม่นยำเชิงปริมาณและทิศทางของโมเดล

งานวิจัยนี้เปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างโมเดล LSTM และ CNN ทั้งแบบไม่แบ่งกลุ่มและแบบแบ่งกลุ่มตามแนวโน้มราคา โดยใช้ค่า MAE วัดความคลาดเคลื่อนเชิงปริมาณ และค่า MPM วัดความถูกต้องของทิศทางซึ่งสะท้อนปัญหาความล่าช้า

จาก Table 3. พบว่าเมื่อไม่ได้มีการแบ่งกลุ่มข้อมูลตามแนวโน้มราคาทองโมเดล LSTM พื้นฐานให้ค่า MAE รวมเท่ากับ 19.98 และ MPM รวมเท่ากับ 52.50% ในส่วนโมเดล CNN พื้นฐานให้ MAE รวม 20.16 และ MPM รวม 51.47% แสดงให้เห็นว่า LSTM มีประสิทธิภาพทั้งเชิงปริมาณและทิศทางดีกว่า CNN เล็กน้อยในภาพรวม แต่เมื่อพิจารณาแยกรายกลุ่ม พบว่าโมเดลพื้นฐานทั้งสองมีปัญหาเรื่องความล่าช้าอย่างชัดเจน โดยเฉพาะใน กลุ่มขาขึ้น โดยมีค่า MPM ของ LSTM พื้นฐานอยู่ที่เพียง 47.91% และ CNN พื้นฐานอยู่ที่ 47.27% ซึ่งต่ำกว่า 50% แสดงว่าโมเดลไม่มีความแม่นยำในการทำนายขาขึ้นของราคาทอง

เมื่อนำวิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลตามแนวโน้มราคามาประยุกต์พบว่าโมเดล CNN_G3 และ LSTM_G3 ซึ่งเป็นโมเดลที่เกิดจากการแบ่งกลุ่มข้อมูลก่อนการฝึกและทดสอบโมเดล มีค่า MAE รวมลดลง และมีค่า MPM รวมเพิ่มขึ้น และเมื่อวิเคราะห์โมเดล LSTM+CNN_G3 ซึ่งเกิดจากการเลือกโมเดลที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละกลุ่มโดยเลือก CNN_G3 สำหรับกลุ่มขาขึ้น, LSTM สำหรับกลุ่มทรงตัว และ LSTM_G3 สำหรับกลุ่มขาลง ให้ค่า MAE รวมต่ำที่สุดที่ 17.68 และ MPM รวมสูงที่สุดที่ 54.08% สูงกว่า LSTM พื้นฐานถึง 3.01% และสูงกว่า CNN พื้นฐานถึง 5.07% การเพิ่มขึ้นของ MPM นี้บ่งชี้ว่าการแบ่งกลุ่มสามารถลดปัญหาความล่าช้าในการทำนาย โดยเฉพาะในช่วงที่แนวโน้มราคาเปลี่ยนแปลง

Table 3. Experimental Results

		MODEL				
		CNN	LSTM	CNN_G3	LSTM_G3	LSTM+CNN_G3
MAE รวม		20.16	19.98	18.43	18.05	17.68
MPM รวม		51.47	52.50	53.17	53.51	54.08
GROUP 1	MAE (US dollar)	20.69	22.43	18.00*	19.01	18.00
	MPM (%)	47.27	47.91	51.45*	51.11	52.45
GROUP 2	MAE (US dollar)	19.44	19.10*	19.28	19.14	19.10
	MPM (%)	52.11	53.31*	52.71	51.81	53.31
GROUP 3	MAE (US dollar)	20.46	18.01	17.83	15.28*	15.28
	MPM (%)	55.83	57.08	55.95	58.33*	58.33

*The Best MAE and MPM in Each Group

6.2 การจำลองการซื้อขายทอง

ในการประเมินศักยภาพการนำโมเดลไปใช้จริง โดยจำลองการซื้อขายทองตามสัญญาณทิศทางจากโมเดล ผลปรากฏว่าโมเดล LSTM+CNN_G3 ให้กำไรสูงสุดที่ 1,870 ดอลลาร์สหรัฐ โดยคิดเป็น 101.87% ของเงินทุนเริ่มต้นซึ่งสูงกว่ากลยุทธ์ซื้อและถือที่ให้กำไร 1,501 ดอลลาร์สหรัฐ อย่างชัดเจน

Table 4. Gold Trading Profit

Model	Profit (US dollar)	Profit (%)
CNN	776	42.28
LSTM	1,383	75.34
CNN_G3	1,757	95.72
LSTM_G3	1,803	98.22
LSTM+CNN_G3 (Presented)	1,870	101.87
Buy-and-Hold	1,501	81.77

7. สรุปผลการวิจัย (Conclusion)

จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดล LSTM และ CNN สำหรับการพยากรณ์อนุกรมเวลาราคาทองคำ โดยใช้ค่า MAE วัดความคลาดเคลื่อนเชิงปริมาณ และค่า MPM วัดความถูกต้องของทิศทาง พบว่าโมเดล LSTM พื้นฐานมีประสิทธิภาพดีกว่า CNN พื้นฐานเล็กน้อย โดยให้ค่า MAE รวมเท่ากับ 19.98 และ MPM รวมเท่ากับ 52.50% ในขณะที่ CNN พื้นฐานให้ค่า MAE รวม 20.16 และ MPM รวม 51.47% อย่างไรก็ตามทั้งสองโมเดลซึ่งเป็นโมเดลพื้นฐานยังมีปัญหาความล่าช้าอย่างชัดเจน โดยเฉพาะในกลุ่มแนวโน้มขาขึ้นซึ่งค่า MPM ต่ำกว่า 50%

การพัฒนาวิธีการลดปัญหาความล่าช้าโดยการแบ่งกลุ่มข้อมูลตามแนวโน้มราคาออกเป็น 3 กลุ่ม พบว่าการแบ่งกลุ่มตามแนวโน้มราคาส่งผลให้โมเดลอย่าง LSTM_G3 และ CNN_G3 มีความแม่นยำมากขึ้นทั้งในเชิงปริมาณและทิศทาง โดยเมื่อนำโมเดลที่เหมาะสมในแต่ละกลุ่มมาสร้างโมเดล LSTM+CNN_G3 พบว่าโมเดล LSTM+CNN_G3 ให้ค่า MAE รวมต่ำที่สุดที่ 17.68 และ MPM รวมสูงที่สุดที่ 54.08% ซึ่งสูงกว่า LSTM พื้นฐานถึง 3.01% และสูงกว่า CNN พื้นฐานถึง 5.07% แสดงให้เห็นว่าการแบ่งกลุ่มข้อมูลสามารถลดปัญหาความล่าช้าในการทำนายได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เมื่อประเมินศักยภาพของโมเดลที่พัฒนาขึ้นในการจำลองการซื้อขายทองคำจริงพบว่า โมเดล LSTM+CNN_G3 ซึ่งเป็นโมเดลที่งานวิจัยนี้นำเสนอ โดยให้กำไรสูงสุดที่ 1,870 ดอลลาร์สหรัฐ คิดเป็น 101.87% ของเงินทุนเริ่มต้น ซึ่งสูงกว่ากลยุทธ์ซื้อและถือที่ให้กำไร 1,501 ดอลลาร์สหรัฐ อย่างชัดเจน แสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการนำไปประยุกต์ใช้จริงในตลาดการเงิน

8. อภิปรายผลการวิจัย (Discussion)

จากผลการศึกษาพบว่าโมเดลที่ผ่านการแบ่งกลุ่มข้อมูลตามแนวโน้มราคาให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าโมเดลพื้นฐานนั้นสอดคล้องกับแนวคิดของ Lin et al. (2021) ที่ชี้ให้เห็นว่าการจำแนกรูปแบบราคาและเลือกใช้โมเดลให้เหมาะสมกับแต่ละรูปแบบสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำนายได้ โดยที่ LSTM+CNN_G3 มีค่า MAE ต่ำที่สุดและ MPM สูงที่สุด สะท้อนให้เห็นว่าข้อมูลราคาทองคำซึ่งมีความซับซ้อนสูงมีพฤติกรรมที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลา การฝึกโมเดลเดียวเพื่อเรียนรู้ทุกพฤติกรรมพร้อมกันอาจไม่เหมาะสมที่สุด ดังนั้นการแบ่งกลุ่มจึงช่วยลดความซับซ้อนของปัญหาที่โมเดลแต่ละตัวต้องเรียนรู้ ทำให้โมเดลสามารถตรวจจับและจดจำคุณลักษณะเฉพาะของแต่ละแนวโน้มได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

เมื่อพิจารณาความเหมาะสมของโมเดลในแต่ละกลุ่มพบว่า กลุ่มขาขึ้น มีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการเปลี่ยนแปลงราคาสูง ซึ่งแสดงถึงความผันผวนของข้อมูลที่มีมาก ส่งผลให้โมเดล CNN_G3 ที่มีความสามารถในการสกัดคุณลักษณะที่สำคัญจากข้อมูลอนุกรมเวลาได้ดี และมีการแบ่งกลุ่มข้อมูลก่อนการฝึกฝนและทดสอบ มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับกลุ่มนี้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Mehtab et al. (2020) ที่พบว่าโมเดล CNN มีประสิทธิภาพเหนือกว่า LSTM ในบางชุดข้อมูล จากการวิเคราะห์ข้อมูลกลุ่มทรงตัว พบว่ามีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงแต่ค่าเฉลี่ยใกล้ศูนย์ สะท้อนว่าข้อมูลผัน

ผวนแต่ไม่มีทิศทางชัดเจนส่งผลให้ทุกโมเดลให้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกัน โดยโมเดล LSTM ที่ไม่ได้มีการแบ่งกลุ่มข้อมูลให้ผลดีที่สุดกลุ่มสุดท้ายกลุ่มขาลงมีความผันผวนต่ำ โมเดล LSTM_G3 ซึ่งมีประสิทธิภาพในการเรียนรู้รูปแบบระยะยาวจึงทำนายได้แม่นยำที่สุดในกลุ่มนี้

ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับข้อค้นพบของ Li et al. (2023) ที่ระบุว่าโมเดลแบบ Recurrent Network มักเผชิญปัญหาความล่าช้าโดยเฉพาะในช่วงที่แนวโน้มข้อมูลเกิดการกลับตัว และการที่โมเดล LSTM+CNN_G3 มีค่า MPM สูงขึ้นแสดงให้เห็นว่าการแบ่งกลุ่มข้อมูลสามารถลดปัญหาความล่าช้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

โมเดล LSTM+CNN_G3 ที่นำเสนอมีศักยภาพสูงในการนำไปประยุกต์ใช้จริง โดยสังเกตได้จากผลกำไรในการจำลองที่สูงกว่ากลยุทธ์ซื้อและถือถึง 24.6% อย่างไรก็ตาม ข้อควรระมัดระวังที่สำคัญในการใช้งานจริง คือ ผลการจำลองในงานวิจัยนี้เกิดขึ้นภายใต้เงื่อนไขในอุดมคติที่สำคัญได้แก่ สามารถซื้อหรือขายทองได้ทันทีที่โดยไม่มีความล่าช้าในการส่งคำสั่งและสามารถขายทองได้เต็มจำนวนทุกครั้งโดยไม่มีปัญหาสภาพคล่องหรือราคาที่ลดลงจากปริมาณการขาย โดยในความเป็นจริงการซื้อ-ขายในปริมาณที่มากอาจทำให้ราคาเปลี่ยนและไม่สามารถซื้อ-ขายได้จนครบปริมาณที่ต้องการ

9. ข้อเสนอแนะงานวิจัย (Recommendation)

1. ปรับเปลี่ยนกรอบเวลาจาก 1 วันเป็น 1 ชั่วโมงหรือ 15 นาที เพื่อเพิ่มจำนวนครั้งในการซื้อขายและอาจเกิดรูปแบบที่โมเดลสามารถเรียนรู้ได้มากขึ้น

2. ทดลองแบ่งกลุ่มข้อมูลเพิ่มขึ้นมากกว่า 3 กลุ่ม เช่น การแบ่งตามระดับความรุนแรงของแนวโน้ม (ขาขึ้นแรง ขาขึ้นอ่อน ทรงตัว ขาลงอ่อน ขาลงแรง) และเพิ่มตัวแปรเศรษฐกิจมหภาคที่มีอิทธิพลต่อราคาทองคำ เช่น ดัชนีเงินดอลลาร์สหรัฐ อัตราดอกเบี้ยนโยบาย และดัชนีราคาผู้บริโภค (CPI) เพื่อให้โมเดลเรียนรู้ปัจจัยเชิงสาเหตุได้ดียิ่งขึ้น

3. ทดลองใช้สถาปัตยกรรมโมเดลที่มีความซับซ้อน เช่น Hybrid CNN-LSTM Model และ Attention Mechanism

4. ทดลองการใช้โมเดลกับข้อมูลอื่น ๆ เช่น ราคาหุ้น อัตราแลกเปลี่ยน หรือในงานด้านอื่น ๆ เช่น การทำนายอุณหภูมิ, ความเร็วลม และมลพิษทางอากาศ เป็นต้น เพื่อแก้ปัญหาต่าง ๆ เช่น ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม ปริมาณมลพิษในอากาศ เป็นต้น

10. การเปิดเผยการใช้ปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ (Declaration of Generative AI)

ในระหว่างการจัดทำงานวิจัยนี้ใช้เครื่องมือปัญญาประดิษฐ์แบบสร้างสรรค์ (Generative AI) เพื่อช่วยเหลือในบางส่วนของงานวิจัย ซึ่งเป็นไปตามนโยบายด้าน AI ของวารสารวิชาการ โดยใช้ DeepSeek ช่วยเหลือในการเขียนโค้ดเบื้องต้นและแก้ไขข้อผิดพลาดและปรับปรุงประสิทธิภาพของโค้ดในระหว่างการพัฒนา

11. การแสดงบทบาทผู้เขียน (CRediT Author Statement)

Napatr Chongkol: Conceptualization, Methodology, Software, Validation, Formal Analysis, Investigation, Resources, Data Curation, Writing-Original Draft, Visualization.

Tanun Jaruvitayakovit: Conceptualization, Writing-Review & Editing, Supervision, Project Administration.

All authors read and approved the final manuscript.

12. เอกสารอ้างอิง (References)

Bahri, M. Z., & Vahidnia, S. (2022, November 16-18). Time Series Forecasting Using Smoothing Ensemble Empirical Mode Decomposition and Machine Learning Techniques. *2022 International Conference on Electrical, Computer, Communications and Mechatronics Engineering*, 1–6. Institute of Electrical and Electronics Engineers. https://doi.org/10.1109/ICECCME55909.2022.9988336

Chen, L., & Fan, X. (2025). TIC-FusionNet: A Multimodal Deep Learning Framework with Temporal Decomposition and Attention-Based Fusion for Time Series Forecasting. *PLOS One, 20*(10), e0333379. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0333379

Chen, W., Hussain, W., Cauteruccio, F., & Zhang, X. (2024). Deep Learning for Financial Time Series Prediction: A State-of-the-Art Review of Standalone and Hybrid Models. *Computer Modeling in Engineering & Sciences, 139*(1), 187–224. https://doi.org/10.32604/cmes.2023.031388

Das, P., & Barman, S. (2025). Perspective Chapter: An Overview of Time Series Decomposition and Its Applications. In Sloboda, B. W., & Quah, C.-H. (Eds), *Business, Management and Economics* (1-15). IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.1009268

Giantsidi, S., & Tarantola, C. (2025). Deep Learning for Financial Forecasting: A Review of Recent Trends. *International Review of Economics & Finance, 104*, 104719. https://doi.org/10.1016/j.iref.2025.104719

Investing.Com. (2025). *Historical XAU/USD Exchange Rates*. https://th.investing.com/currencies/xau-usd-historical-data (In Thai)

Krungthai. (2021). *Gold Wallet, an Online Gold Trading Platform that Enables Real-Time Gold Buying, Selling, and Withdrawal Orders Through the Paotang Application*. https://krungthai.com/th/krungthai-update/promotion-detail/843 (In Thai)

Li, J., Song, L., Wu, D., Shui, J., & Wang, T. (2023). Lagging Problem in Financial Time Series Forecasting. *Neural Computing and Applications, 35*(28), 20819–20839. https://doi.org/10.1007/s00521-023-08879-1

Lin, Y., Liu, S., Yang, H., & Wu, H. (2021). Stock Trend Prediction Using Candlestick Charting and Ensemble Machine Learning Techniques with a Novelty Feature Engineering Scheme. *IEEE Access, 9*, 101433–101446. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3096825

Mehtab, S., Sen, J., & Dasgupta, S. (2020, November 5-7). Robust Analysis of Stock Price Time Series Using CNN and LSTM-Based Deep Learning Models. *2020 4th International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology*, 1481–1486. Institute of Electrical and Electronics Engineers. https://doi.org/10.1109/ICECA49313.2020.9297652

Ortu, M., Uras, N., Conversano, C., Bartolucci, S., & Destefanis, G. (2022). On Technical Trading and Social Media Indicators for Cryptocurrency Price Classification Through Deep Learning. *Expert Systems with Applications, 198*, 116804. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.116804

Samanta, S., Pratama, M., Sundaram, S., & Srikanth, N. (2020, July 19-24). A Dual Network Solution (DNS) for Lag-Free Time Series Forecasting. *2020 International Joint Conference on Neural Networks*, 1–8. Institute of Electrical and Electronics Engineers. https://doi.org/10.1109/IJCNN48605.2020.9207022

TP, K. N., & Sultana, S. (2024, November 7-9). Advanced Techniques for Daily Gold Price Forecasting in India Through Statistical Analysis and Predictive Modeling. *2024 8th International Conference on Computational System and Information Technology for Sustainable Solutions*, 1–6. Institute of Electrical and Electronics Engineers. https://doi.org/10.1109/CSITSS64042.2024.10816779

Widiputra, H., Mailangkay, A., & Gautama, E. (2021). Multivariate CNN-LSTM Model for Multiple Parallel Financial Time-Series Prediction. *Complexity, 2021*(1), 9903518. https://doi.org/10.1155/2021/9903518

ISSN 2985-1580 (Print)
ISSN 2985-1599 (Online)

Citation:
บทความในวารสารนี้อยู่ภายใต้สัญญาอนุญาตครีเอทีฟคอมมอนส์ (Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International : CC BY-NC-ND 4.0)

May-August 2026, 4(2), e3674
DOI: 10.65205/jcct.2026.e3674
Journal of Computer and Creative Technology
วารสารคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสร้างสรรค์
ISSN 2985-1580 (Print)
ISSN 2985-1599 (Online)

(Research Article)

Design and Implementation of a Low-Code Geofencing Architecture for Location-Based Attendance Management in Local Government Organizations

Suraphon Chumklin[1], Krit Chaiwannakoop[2], and Manit Puangbangpo[3,*]

[1,2]Computer Science Program, Faculty of Science and Technology, Uttaradit Rajabhat University, Uttaradit 53000, Thailand; Email: [1]suraphon@uru.ac.th, [2]krit@uru.ac.th
[3]Information Technology Program, Faculty of Science and Technology, Uttaradit Rajabhat University, Uttaradit 53000, Thailand; Email: [3]manit.phu@uru.ac.th

[*]*Corresponding author:* Manit Puangbangpo (manit.phu@uru.ac.th)

Received: 27 February 2026; **Revised:** 27 May 2026; **Accepted:** 30 May 2026; **Published:** 21 July 2026

Abstract

As public organizations undergo digital transformation, efficient workforce mobility management is imperative. This study addresses a critical gap in the integration of spatial tracking capabilities within low-code platforms by designing and implementing a low-code geofencing architecture at Thasao Subdistrict Municipality, Thailand. The proposed three-tier architecture facilitates real-time data processing using Google AppSheet and Google Sheets. The system's business logic implements the Haversine formula for geodesic distance calculation and incorporates error-handling mechanisms to mitigate intermittent GPS signal instability. Performance evaluation via black-box testing demonstrated a 100% success rate across predefined functional test cases under controlled conditions, rather than absolute system accuracy. Field observations further revealed that real-world performance may vary depending on network latency and GPS signal quality. Empirical data collected through purposive sampling from 20 off-site personnel indicated a high level of satisfaction (Mean = 4.39, S.D. = 0.57), with the evaluation instrument reaching high reliability (Cronbach's Alpha = 0.85). This research contributes a scalable and resource-efficient architectural framework that reduces administrative workload and supports practical digital transformation in local government contexts, while also highlighting implementation constraints relevant to real-world deployment.

Keywords: Geofencing, Low-Code Architecture, Workforce Mobility, Location-Based Services, Digital Transformation

Copyright © 2026 Journal of Computer and Creative Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC-ND).

Citation:
Chumklin, S., Chaiwannakoop, K., & Puangbangpo, M. (2026). Design and Implementation of a Low-Code Geofencing Architecture for Location-Based Attendance Management in Local Government Organizations. *Journal of Computer and Creative Technology, 4*(2), e3674. https://doi.org/10.65205/jcct.2026.e3674

May-August 2026, 4(2), e3674
DOI: 10.65205/jcct.2026.e3674
Journal of Computer and Creative Technology
วารสารคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสร้างสรรค์
ISSN 2985-1580 (Print)
ISSN 2985-1599 (Online)

(Research Article)

การออกแบบและพัฒนาสถาปัตยกรรมจีโอเฟนซิงแบบโลว์โค้ด สำหรับการบริหารจัดการการลงเวลาปฏิบัติงานเชิงพื้นที่ในองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น

สุรพล ชุ่มกลิ่น[1] กฤษณ์ ชัยวัณณคุปต์[2] และ มานิตย์ พ่วงบางโพ[3,*]

[1,2]หลักสูตรวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ จังหวัดอุตรดิตถ์ 53000 ประเทศไทย; Email: [1]suraphon@uru.ac.th, [2]krit@uru.ac.th
[3]หลักสูตรเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ จังหวัดอุตรดิตถ์ 53000 ประเทศไทย; Email: [3]manit.phu@uru.ac.th

[*]*ผู้ประพันธ์บรรณกิจ:* มานิตย์ พ่วงบางโพ (manit.phu@uru.ac.th)

รับบทความ: 27 กุมภาพันธ์ 2569; **แก้ไขบทความ:** 27 พฤษภาคม 2569; **ตอบรับบทความ:** 30 พฤษภาคม 2569;
เผยแพร่บทความ: 21 กรกฎาคม 2569

บทคัดย่อ

ในขณะที่องค์กรภาครัฐเข้าสู่การเปลี่ยนผ่านสู่ดิจิทัล การบริหารจัดการความคล่องตัวของบุคลากรอย่างมีประสิทธิภาพจึงเป็นสิ่งจำเป็น งานวิจัยนี้ มุ่งแก้ไขช่องว่างเชิงวิชาการด้านการบูรณาการความสามารถในการติดตามเชิงพื้นที่บนแพลตฟอร์มโลว์โค้ด โดยการออกแบบและพัฒนาสถาปัตยกรรมจีโอเฟนซิงแบบโลว์โค้ด กรณีศึกษาเทศบาลตำบลท่าเสา จังหวัดอุตรดิตถ์ ระบบใช้สถาปัตยกรรมสามระดับ เพื่อการประมวลผลข้อมูลแบบเรียลไทม์ผ่าน Google AppSheet และ Google Sheets ตรรกะทางธุรกิจประยุกต์ใช้อัลกอริทึมสูตร Haversine เพื่อคำนวณระยะทางเชิงภูมิศาสตร์พร้อม กลไกจัดการข้อผิดพลาดเพื่อรองรับความไม่เสถียรของสัญญาณ GPS ผลการประเมินประสิทธิภาพผ่านการทดสอบแบบกล่องดำ พบว่า ระบบมี อัตราความสำเร็จของกรณีทดสอบตามเงื่อนไขที่กำหนดร้อยละ 100 ภายใต้สภาพแวดล้อมที่ควบคุมได้ ทั้งนี้ ประสิทธิภาพในการใช้งานจริงอาจแปรผันตามความหน่วงของเครือข่ายและคุณภาพสัญญาณ GPS ในแต่ละพื้นที่ ข้อมูลเชิงประจักษ์จากการเลือกตัวอย่างแบบเจาะจงในกลุ่มบุคลากรนอกสถานที่ 20 ราย พบว่ามีความพึงพอใจในระดับมาก (Mean = 4.39, S.D. = 0.57) โดยเครื่องมือประเมินมีค่าความเชื่อมั่น (Cronbach's Alpha = 0.85) คุณูปการสำคัญของงานวิจัยนี้ คือการนำเสนอ กรอบสถาปัตยกรรมที่สามารถขยายผลได้และใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่ง ช่วยลดภาระงานธุรการและสนับสนุนการเปลี่ยนผ่านสู่ดิจิทัลในบริบทขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น พร้อมทั้ง สะท้อนข้อจำกัดเชิงปฏิบัติที่เกิดขึ้นในการใช้งานจริง

คำสำคัญ: จีโอเฟนซิง, สถาปัตยกรรมโลว์โค้ด, ความคล่องตัวของบุคลากร, บริการอิงตำแหน่งที่ตั้ง, การเปลี่ยนผ่านสู่ดิจิทัล

Copyright © 2026 Journal of Computer and Creative Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC-ND).

การอ้างอิง:
สุรพล ชุ่มกลิ่น, กฤษณ์ ชัยวัณณคุปต์, และ มานิตย์ พ่วงบางโพ. (2569). การออกแบบและพัฒนาสถาปัตยกรรมจีโอเฟนซิงแบบโลว์โค้ดสำหรับการบริหารจัดการการลงเวลาปฏิบัติงานเชิงพื้นที่ในองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น. *วารสารคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสร้างสรรค์, 4*(2), e3674. https://doi.org/10.65205/jcct.2026.e3674

(Research Article)

1. บทนำ (Introduction)

ปัจจุบัน องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในประเทศไทยกำลังเผชิญความท้าทายในการบริหารจัดการทรัพยากรบุคคลท่ามกลางยุคเปลี่ยนผ่านสู่ดิจิทัล (Digital Transformation) โดยเฉพาะกลุ่มบุคลากรที่ต้องปฏิบัติงานภาคสนาม เช่น เจ้าหน้าที่สาธารณสุขและพนักงานป้องกันบรรเทาสาธารณภัย รูปแบบการลงเวลาแบบดั้งเดิมที่พึ่งพาการเซ็นชื่อหรือสแกนลายนิ้วมือ ณ สำนักงานส่วนกลาง ยังขาดความคล่องตัวและก่อให้เกิดความสูญเปล่าด้านเวลาและงบประมาณในการเดินทาง รวมทั้งไม่สามารถตรวจสอบความถูกต้องของตำแหน่งปฏิบัติงานได้แบบเรียลไทม์ นอกจากนี้ ระบบดั้งเดิมยังขาดกลไกตรวจสอบพิกัดแบบเรียลไทม์ ส่งผลกระทบต่อความโปร่งใสและประสิทธิภาพในการติดตามงาน ในเชิงระบบ (System-Level Accountability) การบูรณาการเทคโนโลยีบริการอิงตำแหน่งที่ตั้ง (Location Based Services: LBS) เข้าสู่ระบบบริหารราชการอิเล็กทรอนิกส์ (e-Government) จึงเป็นความจำเป็นเร่งด่วนในการตอบสนองนโยบายดิจิทัลไทยแลนด์อย่างเป็นรูปธรรม

สำหรับกรณีศึกษา เทศบาลตำบลท่าเสา จังหวัดอุตรดิตถ์ พบว่ายังคงใช้ระบบเอกสารกระดาษในการบันทึกเวลาปฏิบัติงานนอกสถานที่ ซึ่งก่อให้เกิดความซ้ำซ้อนและข้อผิดพลาดในการประมวลผลข้อมูลของฝ่ายทรัพยากรบุคคล การนำเทคโนโลยีสารสนเทศมาแก้ปัญหาดังกล่าวสามารถยกระดับความแม่นยำในการระบุพิกัดพื้นที่ปฏิบัติงานได้อย่างมีนัยสำคัญ (Sarawan et al., 2023) นอกจากนี้ การสร้างรั้วเสมือนด้วยเทคโนโลยี Geofencing ร่วมกับ GPS ถือเป็นกลไกเชิงสถาปัตยกรรมที่มีประสิทธิภาพสูงในการป้องกันการทุจริตลงเวลาแทนกันได้มากถึงร้อยละ 95 (Chauhan et al., 2024; Patil et al., 2025) แม้ว่าจะยังคงมีข้อจำกัดทางกายภาพในพื้นที่อับสัญญาณบางแห่งที่ต้องได้รับการจัดการเชิงเทคนิค (Shevchenko & Reips, 2024) แต่เมื่อบูรณาการเทคโนโลยีดังกล่าวเข้ากับแพลตฟอร์ม Low-code เช่น Google AppSheet จะช่วยเร่งวงจรการพัฒนาซอฟต์แวร์ให้รวดเร็วและเพิ่มความยืดหยุ่นในการจัดการข้อมูลภาคสนามได้เหนือกว่าการเขียนโปรแกรมรูปแบบเดิม (Rokis & Kirikova, 2023) อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพของระบบดังกล่าวยังขึ้นอยู่กับการออกแบบสถาปัตยกรรมที่สามารถรองรับความไม่แน่นอนของข้อมูลเชิงพื้นที่ได้อย่างเหมาะสม

แม้แพลตฟอร์มโลว์โค้ดจะมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาระบบภาครัฐ ทว่าขีดความสามารถในการจัดการข้อมูลเชิงพื้นที่ขนาดใหญ่และตรวจสอบพิกัดยังคงมีข้อจำกัด งานวิจัยส่วนใหญ่มักพึ่งพาเพียงการบันทึกพิกัด GPS แบบจุดต่อจุด (Point-to-Point) โดยขาดการบูรณาการสถาปัตยกรรมจีโอเฟนซิงที่ทนทานต่อข้อผิดพลาด เช่น ความหน่วงของเครือข่าย (Network Latency) หรือการแทรกแซงตำแหน่ง (Location Spoofing) นอกจากนี้ งานวิจัยที่มุ่งเน้นความยืดหยุ่นของแพลตฟอร์มโลว์โค้ดมักละเลยมิติของความแม่นยำเชิงพื้นที่ ในขณะที่งานที่เน้นจีโอเฟนซิงเชิงลึกกลับต้องอาศัยการพัฒนาแบบดั้งเดิมที่มีความซับซ้อนสูง ดังนั้น จึงเกิดช่องว่างการวิจัยที่สำคัญในการออกแบบสถาปัตยกรรมซอฟต์แวร์ที่สามารถบูรณาการความยืดหยุ่นของโลว์โค้ดเข้ากับความแม่นยำของระบบระบุตำแหน่งเชิงพื้นที่ (Spatial Precision) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ดังนั้นเพื่อตอบโจทย์ช่องว่างดังกล่าว งานวิจัยนี้นำเสนอกรอบสถาปัตยกรรมจีโอเฟนซิงแบบโลว์โค้ดที่ออกแบบให้รองรับการประมวลผลข้อมูลเชิงพื้นที่แบบเรียลไทม์ภายใต้ข้อจำกัดของสภาพแวดล้อมจริง โดยเน้นการผสานตรรกะการคำนวณระยะทาง กลไกจัดการข้อผิดพลาดของสัญญาณ GPS และโครงสร้างข้อมูลที่รองรับการขยายตัวในอนาคต งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการแก้ปัญหาผ่านคำถามการวิจัยดังนี้ 1) สถาปัตยกรรมโลว์โค้ดที่บูรณาการตรรกะจีโอเฟนซิงสำหรับการลงเวลาปฏิบัติงาน ควรมีการออกแบบโครงสร้างและอัลกอริทึมการประมวลผลอย่างไรเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด และ 2) ระบบสถาปัตยกรรมที่พัฒนาขึ้นมีสมรรถนะเชิงเทคนิคจากการทดสอบแบบกล่องดำ (Black-Box Testing) และระดับความพึงพอใจจากผู้ใช้งานจริงอยู่ในระดับใด โดยมุ่งหวังให้ได้ต้นแบบเชิงสถาปัตยกรรมที่สามารถประยุกต์ใช้และขยายผลในบริบทขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นได้อย่างยั่งยืน

2. วัตถุประสงค์งานวิจัย (Research Objectives)

2.1 เพื่อออกแบบและพัฒนาสถาปัตยกรรมจีโอเฟนซิงแบบโลว์โค้ด (Low-Code Geofencing Architecture) ที่บูรณาการตรรกะเชิงพื้นที่และรองรับการทำงานแบบเรียลไทม์อย่างมีประสิทธิภาพ

2.2 เพื่อทดสอบและประเมินประสิทธิภาพเชิงหน้าที่ของระบบด้วยเทคนิคกล่องดำ (Black-Box Testing) โดยใช้ตัวชี้วัดอัตราความสำเร็จของกรณีทดสอบและเวลาตอบสนองของระบบ

2.3 เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานในสภาวะแวดล้อมจริง ในลักษณะการศึกษาเชิงนำร่อง (Pilot Study) ด้วยสถิติเชิงพรรณนา

3. การทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)

ปัจจุบันองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น (อปท.) มุ่งเน้นการเปลี่ยนผ่านสู่รัฐบาลดิจิทัล เพื่อยกระดับประสิทธิภาพการบริหารราชการแผ่นดิน โดยมีระบบบริหารทรัพยากรบุคคลเป็นกลไกสำคัญในการกำกับดูแลการปฏิบัติงานภาคสนาม การเปลี่ยนรูปแบบจากสมุดลงเวลาแบบดั้งเดิมไปสู่ระบบดิจิทัลช่วยขจัดปัญหาความล่าช้าและเพิ่มความโปร่งใสในกระบวนการตรวจสอบข้อมูลได้อย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตาม แม้แนวโน้มการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีดิจิทัลจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่การบูรณาการความสามารถด้านการตรวจสอบเชิงพื้นที่เข้ากับระบบบริหารทรัพยากรบุคคลยังคงมีข้อจำกัดทั้งในเชิงสถาปัตยกรรมและเชิงการออกแบบระบบ ด้วยเหตุนี้ จึงได้มีการสังเคราะห์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องเพื่อกำหนดกรอบแนวคิดและแนวทางในการออกแบบสถาปัตยกรรมระบบที่สามารถรองรับการประมวลผลข้อมูลเชิงพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนี้

3.1 ระบบลงเวลาและเทคโนโลยีจีโอเฟนซิง (Geofencing)

เทคโนโลยีจีโอเฟนซิงทำหน้าที่สร้างขอบเขตเสมือน (Virtual Boundary) อิงพิกัดทางภูมิศาสตร์เพื่อกระตุ้นตรรกะการทำงานอัตโนมัติ (Patil et al., 2025) โดยการบูรณาการระบบดังกล่าวร่วมกับเซนเซอร์ระบุตำแหน่งบนสมาร์ทโฟนช่วยเพิ่มความแม่นยำในการตรวจสอบตัวตนและป้องกันการทุจริตลงเวลาแทนกันได้สูงถึงร้อยละ 95 (Chauhan et al., 2024) สถาปัตยกรรมอิงตำแหน่งที่ตั้งจึงเป็นโครงสร้างสำคัญที่ส่งเสริมความคล่องตัวให้บุคลากรเข้าถึงระบบได้จากทุกพื้นที่ปฏิบัติงาน (Sarawan et al., 2023) รวมทั้งการตรวจสอบเงื่อนไขพื้นที่โดยอาศัยอัลกอริทึมสูตร Haversine เพื่อวิเคราะห์ระยะทางระหว่างพิกัดปัจจุบันกับจุดศูนย์กลาง ซึ่งเป็นรูปแบบการประมวลผลที่เหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับระบบลงเวลาปฏิบัติงานออนไลน์ (Al Farisi et al., 2023)

ในเชิงสถาปัตยกรรม อัลกอริทึมดังกล่าวมีข้อได้เปรียบด้านความเรียบง่ายในการคำนวณและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระบบที่ต้องการการตอบสนองแบบเรียลไทม์ภายใต้ข้อจำกัดของทรัพยากรประมวลผล แม้ข้อจำกัดด้านสภาพแวดล้อมทางกายภาพอาจส่งผลต่อความแรงของสัญญาณในพื้นที่อับสัญญาณ (Shevchenko & Reips, 2024) แต่การพัฒนาระบบที่มีกลไกจัดการข้อมูลที่มีประสิทธิภาพจะช่วยรักษาเสถียรภาพการทำงานได้

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยส่วนใหญ่ยังมุ่งเน้นเพียงการเพิ่มความแม่นยำของการระบุตำแหน่งในระดับอัลกอริทึม โดยยังขาดการออกแบบกลไกจัดการข้อผิดพลาด (Error-Tolerant Mechanisms) ที่สามารถรองรับความไม่แน่นอนของสัญญาณ GPS ในสภาพแวดล้อมจริงได้อย่างเป็นระบบ โดยกระบวนการพื้นฐานประกอบด้วยการกำหนดขอบเขตพื้นที่ การติดตามตำแหน่ง และการตอบสนองต่อเงื่อนไข ดังแสดงใน Figure 1.

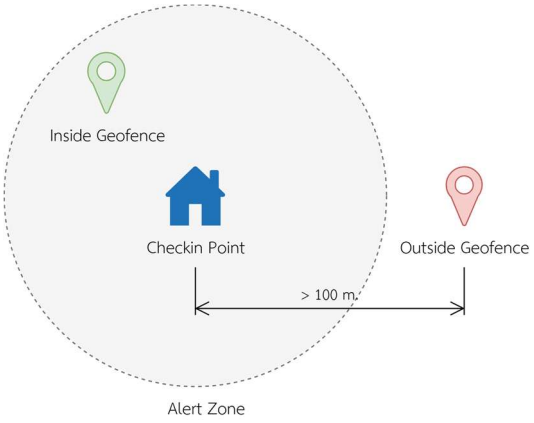


Figure 1. Operational Workflow of Geofencing Technology

3.2 การพัฒนาด้วยสถาปัตยกรรมโลว์โค้ด (Low-Code Architecture)

แพลตฟอร์มโลว์โค้ดเป็นเครื่องมือเชิงกลยุทธ์ที่ช่วยลดระยะเวลาการพัฒนาซอฟต์แวร์และเพิ่มความยืดหยุ่นในการปรับตัวของระบบให้สอดคล้องกับความต้องการเฉพาะทางขององค์กร (Rokis & Kirikova, 2023) แนวทางนี้ช่วยข้ามขีดจำกัดด้านทักษะการเขียนโปรแกรมขั้นสูง โดยเปิดโอกาสให้บุคลากรในระดับปฏิบัติการสามารถออกแบบและสร้างระบบช่วยเหลือการทำงานที่มีความซับซ้อนได้ด้วยตนเอง (Brünninghaus & Röcker, 2022)

ในมุมมองเชิงวิศวกรรมซอฟต์แวร์ สถาปัตยกรรมโลว์โค้ดมีจุดเด่นด้าน Agility และ Rapid Prototyping แต่ในขณะเดียวกันก็มีข้อจำกัดในด้านการควบคุมตรรกะเชิงลึก (Low-Level Control) และการจัดการข้อมูลเชิงซ้อนขนาดใหญ่

ในบริบทขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในประเทศไทย แพลตฟอร์ม Google AppSheet ได้รับการพิสูจน์แล้วว่ามีประสิทธิภาพสูงในการจัดการข้อมูลภาคสนามและบูรณาการฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ผ่านระบบคลาวด์ ซึ่งช่วยให้การประมวลผลและแสดงผลพิกัดบนแผนที่ทำได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ (Ngamsong et al., 2021; O-In, 2024)

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยที่มีอยู่ยังมุ่งเน้นการใช้งานในลักษณะ standalone application โดยขาดการออกแบบสถาปัตยกรรมที่รองรับการประมวลผลข้อมูลเชิงพื้นที่แบบเรียลไทม์และการขยายตัวของระบบในระดับองค์กร (Enterprise Scalability)

3.3 ช่องว่างการวิจัยและคุณูปการ (Research Gap & Contributions)

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ดังแสดงใน Table 1. ชี้ให้เห็นถึงช่องว่างทางสถาปัตยกรรมที่สำคัญ กล่าวคือ ระบบที่มีอยู่ในปัจจุบันยังมีลักษณะแยกส่วนการทำงานระหว่างความคล่องตัวของแพลตฟอร์มโลว์โค้ดกับความแม่นยำของเทคโนโลยีจีโอเฟนซิง แม้จะมีการพัฒนาระบบลงเวลาออนไลน์เพื่อใช้งานในองค์กรอย่างแพร่หลาย แต่ระบบดังกล่าวยังคงขาดคุณลักษณะการติดตามพิกัดเชิงพื้นที่แบบบูรณาการ (Sarawan et al., 2023) ในทางกลับกัน นวัตกรรมที่มุ่งเน้นความแม่นยำด้านจีโอเฟนซิงมักพึ่งพากระบวนการเขียนโปรแกรมแบบดั้งเดิม ซึ่งก่อให้เกิดต้นทุนการพัฒนาที่สูง มีความซับซ้อนเชิงเทคนิค และขาดความยืดหยุ่นในการปรับแต่งให้สอดคล้องกับบริบทของงานบริหารทรัพยากรบุคคล (Patil et al., 2025; Shevchenko & Reips, 2024)

Table 1. Comparison of Related Works and the Proposed Architecture

References	Low-Code Platform	Geofencing Technology	Data Scalability	Public Sector Context	Key Limitations of Previous Works
Sarawan et al. (2023)	Yes	No	No	Yes	Lacks dynamic spatial tracking features.
Rokis & Kirikova (2023)	Yes	No	Partial	No	Conceptual framework without LBS focus.
Patil et al. (2025)	No	Yes	No	No	High implementation cost with traditional App.
Shevchenko & Reips (2024)	No	Yes	Yes	No	Complex integration, not designed for HR.
This Study (2026)	**Yes**	**Yes**	**Yes**	**Yes**	**Addresses integration and scalability gaps.**

เมื่อพิจารณาในเชิงการสังเคราะห์องค์ความรู้ สามารถจำแนกแนวทางการพัฒนาระบบออกเป็นสองกระบวนทัศน์หลัก ได้แก่ (1) แนวทางที่เน้นความยืดหยุ่นของแพลตฟอร์มโลว์โค้ด และ (2) แนวทางที่เน้นความแม่นยำของระบบจีโอเฟนซิง อย่างไรก็ตาม ทั้งสองแนวทางยังคงดำเนินไปอย่างแยกส่วน ส่งผลให้ระบบที่พัฒนาขึ้นไม่สามารถตอบสนองทั้งด้านความคล่องตัว ความแม่นยำ และความสามารถในการขยายตัวได้พร้อมกัน

นอกจากนี้ กรอบแนวคิดการพัฒนาแบบโลว์โค้ดที่มีอยู่เดิมยังขาดการออกแบบโครงสร้างข้อมูลที่รองรับความสามารถในการขยายระบบ (Scalability) อย่างเป็นระบบ ทำให้สูญเสียศักยภาพในการนำชุดข้อมูลเชิงพื้นที่ไปต่อยอดด้วยเทคนิคการทำเหมืองข้อมูล (Data mining) เพื่อการวิเคราะห์พฤติกรรมการปฏิบัติงานในอนาคต (Rokis & Kirikova, 2023)

(Research Article)

ดังนั้น ช่องว่างการวิจัยที่สำคัญจึงอยู่ที่การออกแบบสถาปัตยกรรมแบบบูรณาการ (Integrated Architecture) ที่สามารถเชื่อมโยงความสามารถของโลว์โค้ดเข้ากับตรรกะจีโอเฟนซิง พร้อมทั้งรองรับข้อจำกัดของสภาพแวดล้อมจริง เช่น ความหน่วงของเครือข่ายและความคลาดเคลื่อนของสัญญาณ GPS

งานวิจัยนี้จึงมุ่งปิดช่องว่างดังกล่าวด้วยการนำเสนอสถาปัตยกรรมบูรณาการที่ผสานความยืดหยุ่นของโลว์โค้ดเข้ากับความแม่นยำของจีโอเฟนซิง พร้อมทั้งวางรากฐานโครงสร้างข้อมูลให้รองรับการขยายตัว ตอบโจทย์การใช้งานในบริบทขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นได้อย่างเป็นรูปธรรมและยั่งยืน

โดยคุณูปการของงานวิจัยนี้สามารถสรุปได้เป็น 3 ประการ ได้แก่ (1) การออกแบบสถาปัตยกรรมสามชั้นที่รองรับการประมวลผลเชิงพื้นที่แบบเรียลไทม์ (2) การพัฒนากลไกตรวจสอบพิกัดที่ทนทานต่อข้อผิดพลาดของสัญญาณ (Error-Tolerant Geolocation Validation) และ (3) การวางโครงสร้างข้อมูลที่รองรับการขยายระบบและการวิเคราะห์ข้อมูลในอนาคต

4. กรอบแนวคิดงานวิจัย (Conceptual Framework)

สถาปัตยกรรมของระบบถูกออกแบบภายใต้โครงสร้างสถาปัตยกรรมสามระดับ (Three-Tier Architecture) ซึ่งเป็นแนวทางเชิงสถาปัตยกรรมที่ช่วยแยกความรับผิดชอบของระบบ (Separation of Concerns) อย่างชัดเจนระหว่างส่วนติดต่อผู้ใช้ ตรรกะการประมวลผล และการจัดเก็บข้อมูล เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการประมวลผลข้อมูลเชิงพื้นที่บนแพลตฟอร์มโลว์โค้ดให้มีเสถียรภาพและรองรับการขยายตัวในอนาคต รวมทั้งลดภาระการประมวลผลบนอุปกรณ์เคลื่อนที่และเพิ่มความสามารถในการบำรุงรักษาระบบ (Maintainability) ดังแสดงใน Figure 2. โดยมีรายละเอียดการออกแบบเชิงหน้าที่ดังนี้

4.1 ชั้นการนำเสนอ (Presentation Layer)

ส่วนติดต่อผู้ใช้ถูกพัฒนาผ่านแพลตฟอร์ม Google AppSheet เพื่อทำหน้าที่เป็นจุดปฏิสัมพันธ์หลักบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ โดยระบบจะรับพิกัดภูมิศาสตร์ทั้งละติจูดและลองจิจูดจากเซนเซอร์ระบุตำแหน่งของสมาร์ทโฟนแบบเรียลไทม์ พร้อมประมวลผลการแสดงผลสถานะการลงเวลาปฏิบัติงานผ่านส่วนแสดงผลที่ออกแบบมาเพื่อความคล่องตัวของผู้ใช้งานภาคสนาม

นอกจากนี้ ชั้นการนำเสนอยังถูกออกแบบให้รองรับการตรวจสอบความถูกต้องเบื้องต้นของข้อมูล (Input Validation) เช่น การตรวจสอบค่าพิกัดที่เป็นค่าว่าง (Null) หรือค่าที่อยู่นอกช่วงที่เป็นไปได้ เพื่อป้องกันการส่งข้อมูลที่ผิดพลาดเข้าสู่ชั้นตรรกะทางธุรกิจ ซึ่งช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบโดยรวม (Data Reliability)

4.2 ชั้นตรรกะทางธุรกิจ (Business Logic Layer)

ตรรกะการประมวลผลหลักอาศัยอัลกอริทึมสูตร Haversine ในการคำนวณระยะทางบนผิวโลกที่มีความโค้งระหว่างตำแหน่งปัจจุบันของผู้ใช้กับจุดศูนย์กลางของขอบเขตเสมือน (Al Farisi et al., 2023) โดยระบบจะทำการเปรียบเทียบค่าระยะทางที่คำนวณได้ (d) กับรัศมีพื้นที่ปฏิบัติงานที่กำหนด (r) ผ่านกลไก AppSheet Expression

ในเชิงตรรกะการตัดสินใจ (Decision Logic) ระบบสามารถนิยามเงื่อนไขได้ในรูปแบบฟังก์ชันเชิงตรรกะดังนี้ หาก d ≤ r ระบบจะถือว่าผู้ใช้งานอยู่ภายในขอบเขต (Inside Geofence) และอนุญาตให้ดำเนินการบันทึกเวลา แต่หาก d > r ระบบจะปฏิเสธการทำรายการและแจ้งเตือนผู้ใช้งานให้ปรับปรุงพิกัดใหม่ หากผลลัพธ์ของระยะทาง (d) มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับรัศมีที่กำหนด (r) ระบบจะกระตุ้นกระบวนการทำงานอัตโนมัติ (Automation Workflow) เพื่อบันทึกธุรกรรมและส่งการแจ้งเตือนทันที ซึ่งอัลกอริทึมดังกล่าวมีรายละเอียดดัง สมการ (1)

$$d = 2R \cdot arcsin\left(\sqrt{sin^2\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right) + cos(\phi_1) \cdot cos(\phi_2) \cdot sin^2\left(\frac{\Delta\lambda}{2}\right)}\right) \quad (1)$$

โดยที่ d คือ ระยะทางระหว่างสองจุด
R คือ รัศมีของโลก (โดยประมาณ 6,371 กิโลเมตร)
ϕ_1, ϕ_2 คือ ละติจูดของจุดที่ 1 และ 2 (หน่วยเป็นเรเดียน)

$\Delta\phi$ คือ ความแตกต่างของละติจูด $(\phi_2 - \phi_1)$
$\Delta\lambda$ คือ ความแตกต่างของลองจิจูด $(\lambda_2 - \lambda_1)$

เพื่อเพิ่มความทนทานของระบบ (Robustness) ต่อสภาวะจริงที่มีความไม่แน่นอนของสัญญาณ GPS ระบบยังรวมกลไกจัดการข้อผิดพลาด (Error-Handling Mechanism) เช่น การตรวจสอบค่าความแม่นยำของพิกัด (Location Accuracy) และการปฏิเสธค่าที่มีความคลาดเคลื่อนสูงเกินเกณฑ์ที่กำหนด ก่อนเข้าสู่กระบวนการตัดสินใจเชิงตรรกะ ซึ่งช่วยลดความเสี่ยงของการบันทึกข้อมูลที่ไม่ถูกต้องในสภาพแวดล้อมที่มีสัญญาณรบกวน (Shevchenko & Reips, 2024)

4.3 ชั้นข้อมูล (Data Layer)

การจัดการฐานข้อมูลใช้โครงสร้างของ Google Sheets เพื่อจัดเก็บข้อมูลตามหลักการแบบจำลองความสัมพันธ์ ซึ่งประกอบด้วยกลุ่มตารางข้อมูลหลัก ได้แก่ ขอบเขตพื้นที่อ้างอิง ประวัติการบันทึกเวลา และข้อมูลบุคลากร โครงสร้างข้อมูลถูกออกแบบให้รองรับการขยายตัว (Scalability) โดยแยกตารางข้อมูลเชิงธุรกรรม (Transactional Data) ออกจากข้อมูลอ้างอิง (Reference Data) อย่างชัดเจน เพื่อลดความซ้ำซ้อนและเพิ่มประสิทธิภาพในการดึงข้อมูล (Query Performance)

การออกแบบสถาปัตยกรรมที่แยกส่วนชั้นข้อมูลออกจากชั้นประมวลผลช่วยลดภาระการทำงานบนอุปกรณ์ และรักษาความสมบูรณ์ของข้อมูลตำแหน่งที่มีความถี่สูงได้แม้ในสภาวะที่เครือข่ายมีข้อจำกัด

นอกจากนี้ การจัดเก็บข้อมูลบนระบบคลาวด์ยังเอื้อต่อการบูรณาการกับระบบอื่นในอนาคต (เช่น HR Systems, Analytics Platforms) ผ่านมาตรฐาน API ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อการพัฒนาระบบในระดับองค์กร (Enterprise Integration)

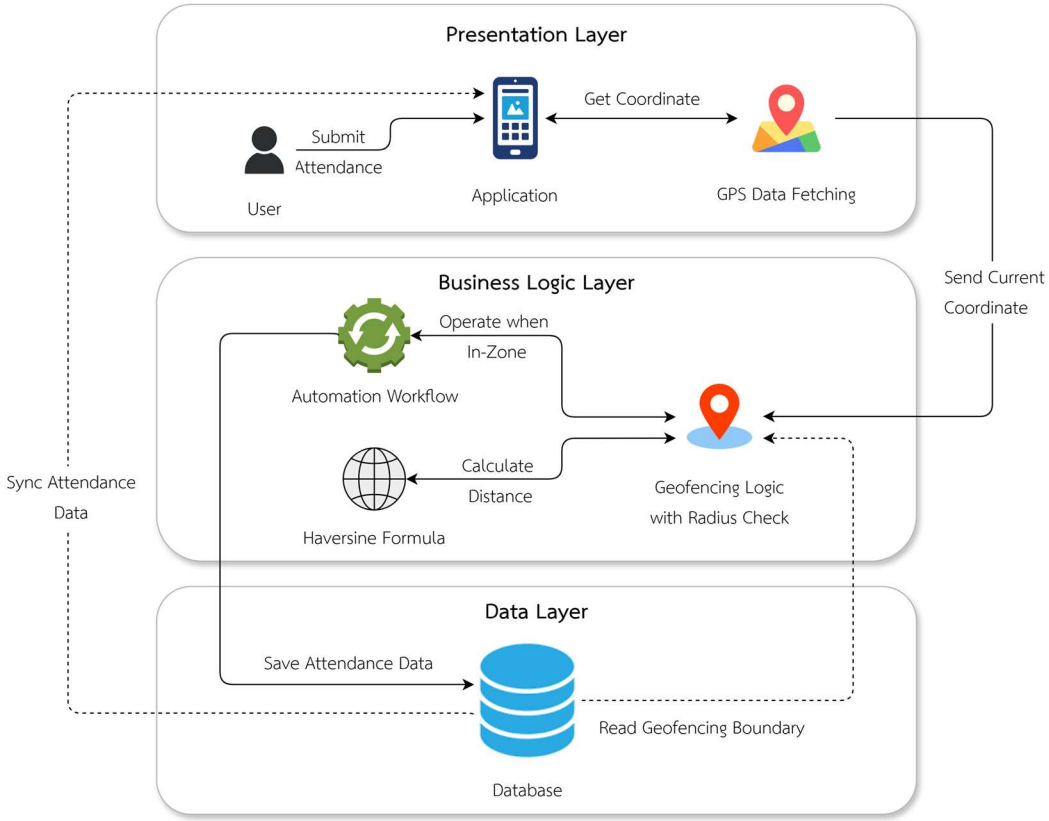


Figure 2. Three-Tier Low-Code Geofencing Architecture

(Research Article)

5. วิธีดำเนินงานวิจัย (Research Methodology)

งานวิจัยนี้ดำเนินการภายใต้วงจรการพัฒนาระบบ (SDLC) แบบอไจล์ (Agile) ควบคู่กับการประเมินผลเชิงประจักษ์ เพื่อให้สถาปัตยกรรมซอฟต์แวร์มีความยืดหยุ่นและสามารถตอบสนองต่อข้อจำกัดทางกายภาพได้อย่างรวดเร็ว โดยกระบวนการวิจัยถูกออกแบบให้มีลักษณะเชิงวิศวกรรมทดลอง (Engineering-Oriented Experimental Design) เพื่อให้สามารถทำซ้ำได้ (Reproducibility) และตรวจสอบได้เชิงประจักษ์ โดยมีขั้นตอนทางวิศวกรรมดังนี้

5.1 การวิเคราะห์และออกแบบระบบ (System Analysis and Design)

การออกแบบสถาปัตยกรรมจีโอเฟนซิงแบบโลว์โค้ดเริ่มต้นจากการวิเคราะห์ข้อกำหนดระบบ (System Requirements) ซึ่งประกอบด้วยข้อกำหนดด้านหน้าที่ (Functional Requirements) ได้แก่ การยืนยันตัวตนผ่าน Google Authentication การตรวจสอบพิกัดเชิงพื้นที่แบบเรียลไทม์ และการแจ้งเตือนอัตโนมัติ ควบคู่กับข้อกำหนดด้านสมรรถนะ (Non-Functional Requirements) ที่เน้นความสามารถในการขยายผล (Scalability) ระบบบนคลาวด์ การรักษาความปลอดภัยผ่านโปรโตคอล HTTPS (OAuth 2.0) และเวลาตอบสนองของระบบ (System Response Time) ในกระบวนการดึงพิกัดและประมวลผลที่ต้องทำงานให้แล้วเสร็จภายใน 3 วินาที นอกจากนี้ ได้มีการกำหนดเกณฑ์เชิงปริมาณ (Quantitative Criteria) สำหรับการประเมินประสิทธิภาพของระบบล่วงหน้าอย่างเป็นระบบ เช่น ระยะเวลาตอบสนอง (≤ 3 วินาที) และความถูกต้องของเงื่อนไขเชิงตรรกะของกลไกจีโอเฟนซิง ซึ่งทำหน้าที่เป็น Baseline สำหรับการทดสอบเชิงหน้าที่ (Functional Testing) ในขั้นตอนถัดไปและได้นำข้อกำหนดดังกล่าวมาสร้างแบบจำลองพฤติกรรมการทำงานของซอฟต์แวร์เชิงวัตถุผ่านภาษา UML เพื่อลดความซ้ำซ้อนและเพิ่มความแม่นยำในการบูรณาการระบบอัตโนมัติ (Tang et al., 2021) ดังนี้

5.1.1 แผนภาพยูสเคส (Use Case Diagram)

การออกแบบภายใต้หลักการสืบทอดคุณสมบัติ (Actor Generalization) เพื่อลดความซ้ำซ้อนของกระบวนการเข้าสู่ระบบ โดยจำแนกสิทธิ์การใช้งานออกเป็น 4 บทบาทหลัก ได้แก่

1. พนักงาน มีหน้าที่ลงเวลาปฏิบัติงาน โดยมีการตรวจสอบความปลอดภัยของเซสชัน ตรวจสอบพิกัดตำแหน่งและส่งอีเมลแจ้งเตือนอัตโนมัติ (<<include>>) และระบบอาจแจ้งเตือนหากพิกัดผิดเงื่อนไข (<<extend>>)
2. เจ้าหน้าที่ฝ่ายบุคคล ทำหน้าที่จัดการข้อมูลพิกัดจีโอเฟนซิงโดยผ่านการตรวจสอบความถูกต้องของค่าพิกัดก่อนเสมอ (<<include>>)
3. หัวหน้าแผนก ทำหน้าที่ประเมินรายงานสรุปและส่งออกข้อมูลได้ตามต้องการ (<<extend>>)
4. ผู้ดูแลระบบ ทำหน้าที่จัดการข้อมูลหลัก

โครงสร้างดังกล่าวช่วยให้สามารถแยกบทบาทเชิงหน้าที่ (Functional Separation) และลดความเสี่ยงด้านความปลอดภัยของข้อมูล (Security Risk Mitigation) ได้อย่างเป็นระบบ
ดังแสดงใน Figure 3.

5.1.2 แผนภาพคลาส (Class Diagram)

ดำเนินการใช้ความสัมพันธ์แบบรวมกลุ่ม (Aggregation) ระหว่างองค์กรและผู้ใช้งานเพื่อรักษาความยืดหยุ่นเชิงโครงสร้าง โดยคลาสข้อมูลการลงเวลา (AttendanceRecord) ถูกออกแบบให้แยกจัดเก็บค่าละติจูดและลองจิจูดอย่างชัดเจน พร้อมกำกับความสัมพันธ์แบบหนึ่งต่อกลุ่ม (One-to-Many) เพื่อรักษาความสมบูรณ์ของข้อมูล (Data Integrity)

นอกจากนี้ โครงสร้างข้อมูลดังกล่าวยังถูกออกแบบให้รองรับการขยายตัว (Data Scalability) และสามารถต่อยอดสู่การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Analytics) ในอนาคตได้ ดังแสดงใน Figure 4.

5.1.3 แผนภาพลำดับขั้นตอนการทำงาน (Sequence Diagram)

การปฏิสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบต่าง ๆ ของระบบ โดยจำแนกตรรกะการตัดสินใจออกเป็น 2 เส้นทางหลัก ได้แก่ เส้นทางปกติ และ เส้นทางจัดการข้อผิดพลาด ในกรณีจัดการข้อผิดพลาด ระบบจะใช้ค่าความแม่นยำ (Accuracy) จาก Geolocation API เป็นตัวแปรเชิงเงื่อนไขเพิ่มเติม เพื่อกรองข้อมูลพิกัดที่มีความคลาดเคลื่อนสูง (High Positional Uncertainty) ก่อนการบันทึกธุรกรรมแนวทางดังกล่าวช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือของข้อมูล (Data Reliability) ภายใต้ข้อจำกัดของสภาพแวดล้อมจริง เช่น สัญญาณ GPS ที่ไม่เสถียร ดังแสดงใน Figure 5.

May-August 2026, 4(2), e3674
DOI: 10.65205/jcct.2026.e3674
Journal of Computer and Creative Technology
วารสารคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสร้างสรรค์
ISSN 2985-1580 (Print)
ISSN 2985-1599 (Online)

(Research Article)

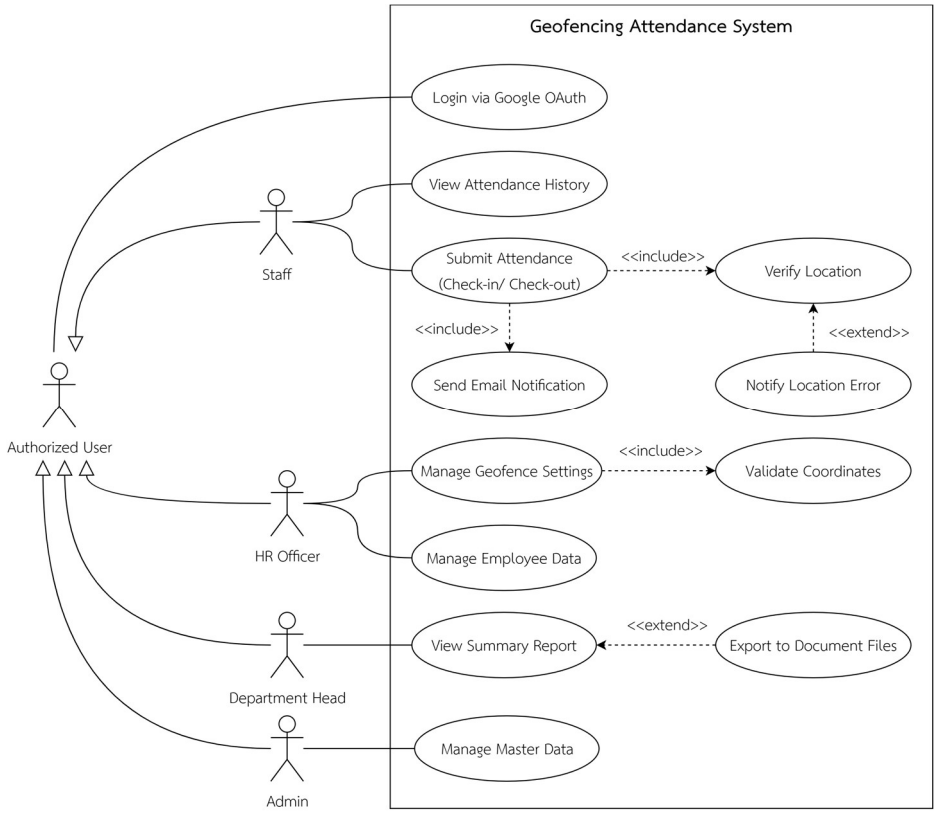


Figure 3. Use Case Diagram of the Geofencing Attendance System

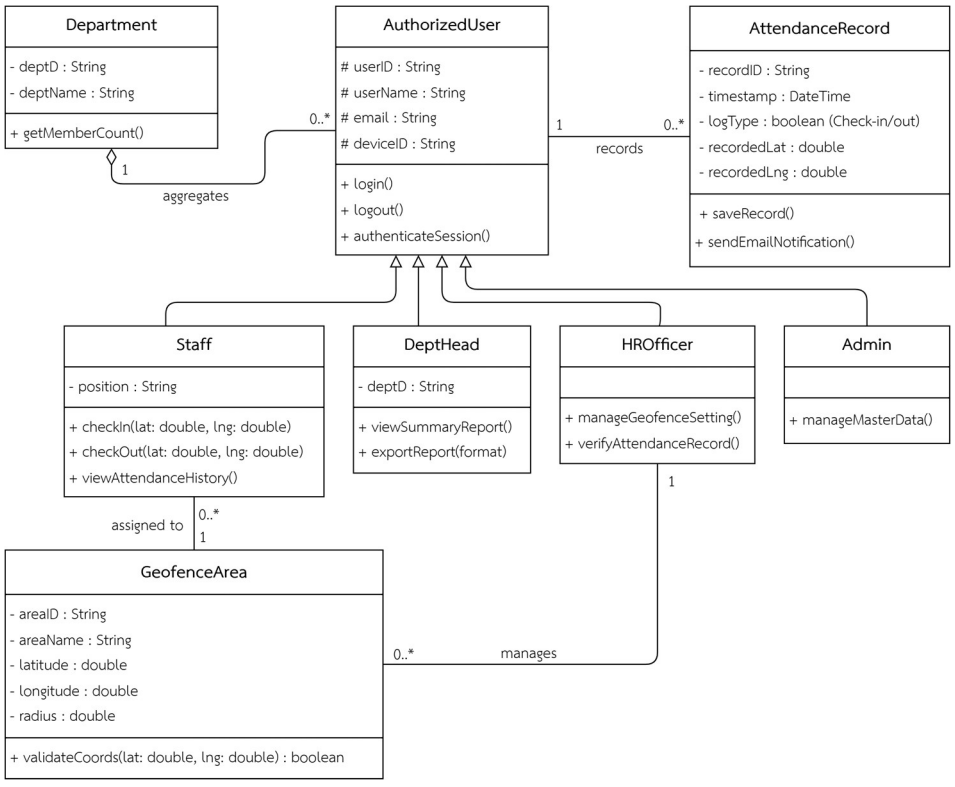


Figure 4. Class Diagram of the Geofencing Attendance System

(Research Article)

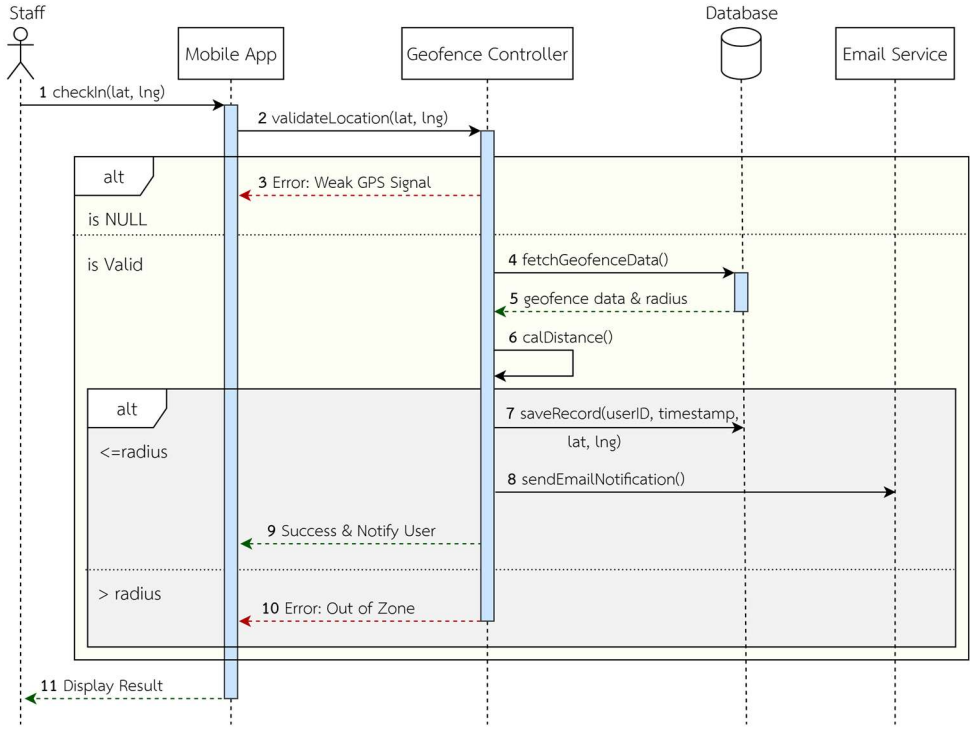


Figure 5. Sequence Diagram of the Geofencing Attendance System

5.2 การพัฒนาระบบ (System Development)

การพัฒนาระบบดำเนินการภายใต้สถาปัตยกรรมโลว์โค้ด โดยใช้แพลตฟอร์ม Google AppSheet ทำหน้าที่เป็นส่วนแสดงผลและตัวควบคุมตรรกะ (Front-end & Logic Controller) ทำงานร่วมกับฐานข้อมูล Google Sheets (Back-End) และ Geolocation API การเลือกใช้สถาปัตยกรรมดังกล่าวมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความคล่องตัวในการพัฒนา (Development Agility) และลดต้นทุนการพัฒนาเมื่อเทียบกับ Traditional Coding Approaches (Rokis & Kirikova, 2023) โดยมีกระบวนการทางวิศวกรรมซอฟต์แวร์ 3 ขั้นตอน ได้แก่

5.2.1 การสร้างชั้นข้อมูล (Data Layer Implementation)

โครงสร้างจาก Class Diagram ถูกแปลงเป็นตารางฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ (Relational Database) บน Google Sheets โดยประกอบด้วยข้อมูลหลัก ได้แก่ ข้อมูลบุคลากร (AuthorizedUser) และพิกัดขอบเขต (Geofence) รวมถึงข้อมูลธุรกรรม (Transaction Data) เช่น ตารางบันทึกเวลา (AttendanceRecord) เพื่อเป็นโครงสร้างพื้นฐานในการจัดเก็บข้อมูลอย่างเป็นระบบ โครงสร้างฐานข้อมูลถูกออกแบบให้รองรับการ Query แบบเรียลไทม์ และลดความซ้ำซ้อนของข้อมูล (Data Redundancy Minimization)

5.2.2 การพัฒนากลไกจีโอเฟนซิง (Geofencing Logic Control)

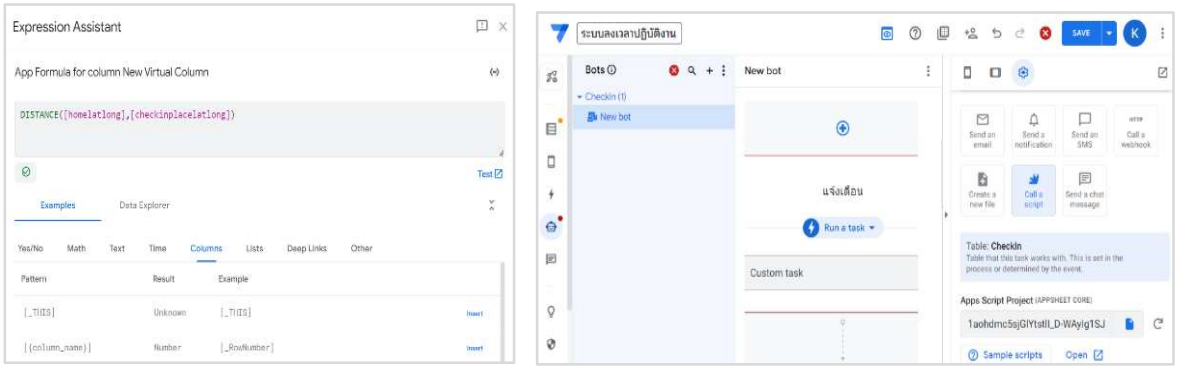
ระบบดำเนินการสร้างคอลัมน์เสมือน (Virtual Column) เพื่อรับค่าพิกัดแบบเรียลไทม์ โดยใช้ฟังก์ชัน DISTANCE() โดยตรรกะการตัดสินใจถูกกำหนดในรูปแบบเงื่อนไขเชิงคณิตศาสตร์ ($d \leq r$) ซึ่ง d คือระยะทางที่คำนวณจาก Haversine Formula และ r คือรัศมีของพื้นที่ที่กำหนด นอกจากนี้ ระบบยังมีการจัดการข้อผิดพลาด (Error Handling Mechanism) เช่น การตรวจจับค่า NULL และการกรองค่าพิกัดที่มีความคลาดเคลื่อนสูง เพื่อป้องกันการบันทึกข้อมูลที่ไม่ถูกต้องในสภาวะสัญญาณไม่เสถียร ดังตัวอย่างนิพจน์ใน Figure 6(a).

5.2.3 การบูรณาการระบบอัตโนมัติ (Workflow Automation)

การพัฒนากระบวนการตอบสนองอัตโนมัติ (Automation Bot) ตามลำดับใน Sequence Diagram โดยกำหนดตัวกระตุ้น (Trigger) ให้ทำงานทันทีเมื่อบันทึกเวลาสำเร็จ ระบบจะเรียกใช้ฟังก์ชันผ่าน Gmail API เพื่อส่งหลักฐานและพิกัดไปยังพนักงานและหัวหน้าแผนกโดยอัตโนมัติ เพื่อยืนยันความถูกต้อง ดังแสดงการตั้งค่าใน Figure 6(b). การประยุกต์ใช้

(Research Article)

สถาปัตยกรรมดังกล่าว ไม่เพียงช่วยลดระยะเวลาในการพัฒนา แต่ยังทำให้ระบบมีเสถียรภาพและสามารถตรวจสอบย้อนกลับได้ (Traceability) ตามมาตรฐานสากลของการพัฒนาระบบสารสนเทศระดับองค์กร กระบวนการ Automation ถูกออกแบบให้ทำงานแบบ Event-Driven Architecture ซึ่งช่วยลด Latency และเพิ่มความสามารถในการตอบสนองแบบ Near Real-Time



(a) (b)

Figure 6. System Implementation on the Google AppSheet Platform: (a) Geofencing Logic Configuration via Virtual Column Expressions, and (b) Automated Workflow Setup for Real-Time Email Notifications

5.3 การทดสอบและการประเมินประสิทธิภาพ (System Testing and Evaluation)

งานวิจัยนี้เพื่อรับรองมาตรฐานของสถาปัตยกรรมระบบ ได้มีการดำเนินการทดสอบเชิงเทคนิคควบคู่กับการประเมินเชิงประจักษ์อย่างเป็นระบบ โดยกรอบการประเมิน ถูกออกแบบให้ครอบคลุมทั้งการทดสอบภายใต้สภาพแวดล้อมควบคุม (Controlled Testing) และการทดสอบภาคสนาม (Field Testing) เพื่อสะท้อนสมรรถนะของระบบในบริบทการใช้งานที่แตกต่างกันอย่างเหมาะสม

5.3.1 การทดสอบเชิงหน้าที่ (System Functional Testing)

ดำเนินการด้วยเทคนิค Black-Box Testing (Pressman & Maxim, 2020) การทดสอบถูกดำเนินการภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีการควบคุม (Controlled Environment) โดยกำหนด Test Cases จำนวน 25 รายการ และดำเนินการทดสอบซ้ำในหลายรอบ (Multiple Iterations) เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของผลลัพธ์ ผลการทดสอบถูกรายงานในรูปแบบ “อัตราความสำเร็จของ Test Cases (Test Case Success Rate)” แทนการใช้คำว่า Accuracy เพื่อสะท้อนลักษณะของการประเมินเชิงฟังก์ชันอย่างเหมาะสม

5.3.2 การประเมินผลเชิงประจักษ์จากผู้ใช้งาน (Empirical User Evaluation)

การประเมินผลดำเนินการในสภาพแวดล้อมการใช้งานจริง โดยกำหนดกลุ่มประชากรจำนวน 80 คน และคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างจำนวน 20 คน ซึ่งขนาดตัวอย่างดังกล่าวจัดอยู่ในระดับการศึกษานำร่อง (Pilot Study) ที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบระบบต้นแบบในบริบทของวิศวกรรมซอฟต์แวร์เชิงประยุกต์ เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลคือแบบสอบถามมาตราส่วนประมาณค่า (Likert Scale) นอกเหนือจากการวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ยังมีการพิจารณาความสอดคล้องของคำตอบ (Response Consistency) เพื่อสะท้อนความน่าเชื่อถือของพฤติกรรมการตอบแบบสอบถามในระดับผู้ใช้งานจริง ทั้งนี้ การตีความผลการประเมินเชิงประจักษ์ได้ดำเนินการภายใต้บริบทของข้อจำกัดในสภาพแวดล้อมจริง เช่น ความเสถียรของเครือข่ายอินเทอร์เน็ตและคุณภาพของสัญญาณ GPS ซึ่งอาจส่งผลต่อประสบการณ์การใช้งานและความแม่นยำของระบบ เพื่อหลีกเลี่ยงการสรุปผลเกินขอบเขต (Overgeneralization) และเพิ่มความรอบคอบในการตีความผลลัพธ์เชิงวิจัย

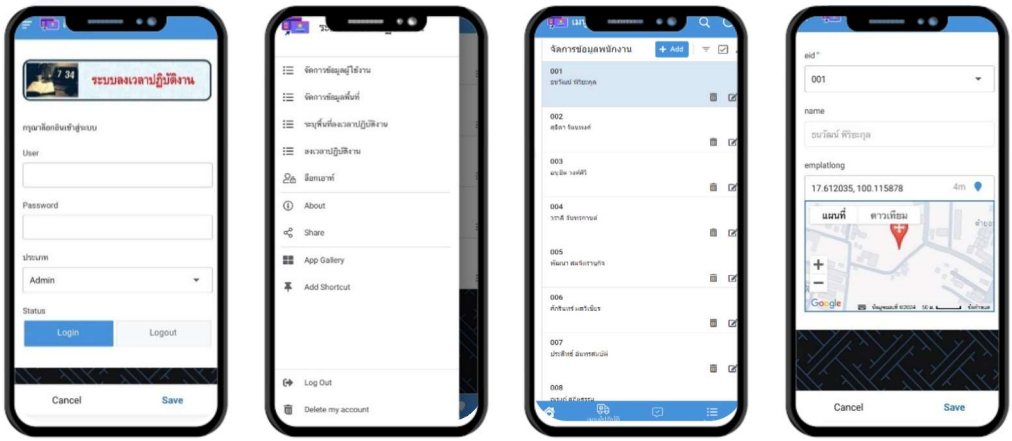
6. ผลการวิจัย (Results)

6.1 ผลการออกแบบและพัฒนาสถาปัตยกรรมจีโอเฟนซิงแบบโลว์โค้ดที่บูรณาการตรรกะเชิงพื้นที่และรองรับการทำงานแบบเรียลไทม์

ผลการพัฒนาระบบลงเวลาปฏิบัติงานเชิงพื้นที่ด้วยสถาปัตยกรรมจีโอเฟนซิงแบบโลว์โค้ด พบว่าระบบสามารถทำงานได้สอดคล้องตามข้อกำหนดเชิงหน้าที่ (Functional Requirements) โดยมีรายละเอียดการทำงานเชิงเทคนิคดังนี้ โดยผลลัพธ์ที่รายงานในส่วนนี้สะท้อนการทำงานของระบบทั้งในสภาวะการควบคุม (Controlled Conditions) และการใช้งานจริง (Field Conditions) เพื่อให้เห็นภาพสมรรถนะของระบบอย่างรอบด้าน

6.1.1 ผลการออกแบบส่วนการควบคุมการเข้าถึงและจัดการข้อมูลหลัก ในชั้นข้อมูลและชั้นการนำเสนอ (Data and Presentation Tiers for Access Control and Data Management)

ระบบมีการจำแนกสิทธิ์ผู้ใช้งาน (Authorization) ผ่านการยืนยันตัวตนด้วย Google Account โดยแสดงเมนูการใช้งานตามบทบาท (Role-Based Access Control) ผู้ดูแลระบบและเจ้าหน้าที่ฝ่ายบุคคลสามารถจัดการฐานข้อมูลพนักงานและกำหนดขอบเขตพื้นที่ปฏิบัติงาน โดยการระบุพิกัดละติจูดและลองจิจูดร่วมกับการกำหนดรัศมี เพื่อใช้เป็นจุดอ้างอิงในการตรวจสอบพิกัดพนักงาน ดังแสดงใน Figure 7. โครงสร้างดังกล่าวช่วยให้การควบคุมสิทธิ์และการจัดการข้อมูลมีความยืดหยุ่น พร้อมทั้งรองรับการขยายตัวของจำนวนผู้ใช้งานในระดับองค์กร

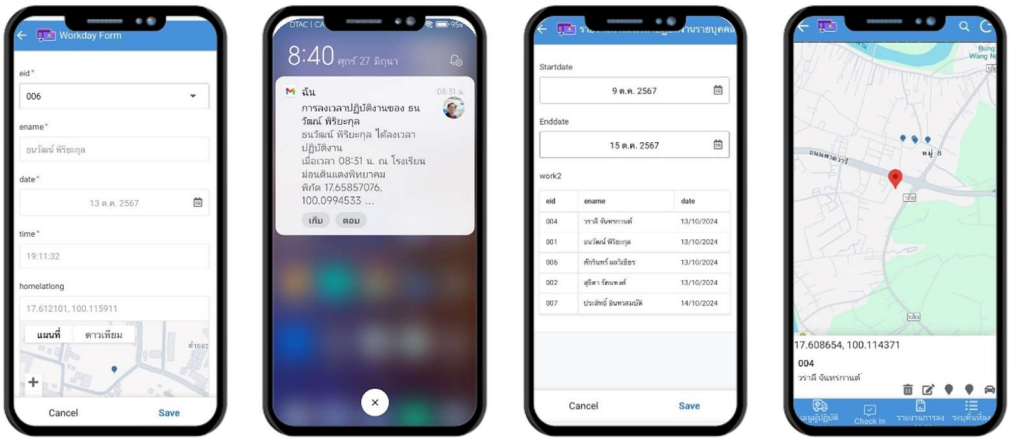


(a) (b) (c) (d)

Figure 7. User Authentication and Administrative Management Interfaces: (a) Login Screen with Role Selection, (b) Main Menu Based on Authorization, (c) Employee Data Management, and (d) Geofence Coordinate Configuration

6.1.2 ผลการพัฒนาตรรกะเชิงพื้นที่และการลงเวลาปฏิบัติงานแบบเรียลไทม์ ในชั้นตรรกะทางธุรกิจ (Spatial Logic and Real-Time Attendance in Business Logic Tier)

เมื่อพนักงานเข้าสู่พื้นที่ปฏิบัติงานที่กำหนด ระบบจะเรียกใช้ฟังก์ชันตรวจสอบพิกัดปัจจุบันเปรียบเทียบกับขอบเขตเสมือนแบบเรียลไทม์ หากตรงตามเงื่อนไขตรรกะจีโอเฟนซิง ระบบจะดำเนินการบันทึกข้อมูลเวลา (Timestamp) พร้อมส่งการแจ้งเตือน (Push Notification) และหลักฐานการลงเวลาผ่าน Gmail API ไปยังผู้เกี่ยวข้องทันที ดังแสดงใน Figure 8. นอกจากนี้ ระบบยังมีการตรวจสอบค่าความสมบูรณ์ของข้อมูลพิกัด (Data Validation) ก่อนการบันทึก เพื่อป้องกันกรณีค่าพิกัดไม่สมบูรณ์หรือสัญญาณ GPS ขาดหายชั่วขณะ นอกจากนี้ ระบบยังสามารถประมวลผลข้อมูลเป็นรายงานสรุปและแสดงพิกัดย้อนหลังบนแผนที่ เพื่อความโปร่งใสในกระบวนการตรวจสอบขององค์กร ซึ่งช่วยสนับสนุนการตรวจสอบย้อนหลัง (Traceability) และเพิ่มความโปร่งใสในการบริหารจัดการบุคลากร



(a) (b) (c) (d)

Figure 8. Operational Workflow for Location-Based Attendance: (a) Real-Time Geofencing Check-In, (b) Automated Email Notification with Location Link, (c) Historical Attendance Summary, and (d) Spatial Verification of Recorded Timestamps

6.2 ผลการทดสอบและประเมินประสิทธิภาพเชิงหน้าที่ของระบบด้วยเทคนิคกล่องดำ (Black-Box Testing)

การประเมินความถูกต้องของตรรกะการทำงานใช้เทคนิคการทดสอบแบบกล่องดำ (Black-Box Testing) ตามมาตรฐานวิศวกรรมซอฟต์แวร์ (Pressman & Maxim, 2020) เพื่อตรวจสอบผลลัพธ์ที่ตอบสนองต่อการป้อนข้อมูล การทดสอบครอบคลุม 5 โมดูลหลัก ได้แก่ 1) การยืนยันตัวตนเข้าสู่ระบบ 2) การลงเวลาเข้างานอิงพิกัด 3) การลงเวลาออกงาน 4) ระบบส่งอีเมลแจ้งเตือนอัตโนมัติ และ 5) การประมวลผลรายงานสรุป โดยมีตัวแทนผู้ใช้งานจำนวน 5 ราย ร่วมทดสอบตามสถานการณ์จำลอง (Test Cases) รวมทั้งสิ้น 25 รายการทดสอบ ผลการทดสอบในสภาพแวดล้อมที่มีการควบคุม (Controlled Environment) พบว่า ระบบสามารถดำเนินการได้ตรงตามผลลัพธ์ที่คาดหวังครบทั้ง 25 รายการ คิดเป็นอัตราความสำเร็จของกรณีทดสอบ (Test Case Success Rate) ร้อยละ 100 ดังแสดงใน Table 2.

อย่างไรก็ตาม ค่าดังกล่าวสะท้อนสมรรถนะของระบบภายใต้เงื่อนไขการทดสอบที่กำหนดเท่านั้น และไม่ควรตีความว่าเป็นความแม่นยำสมบูรณ์ในทุกสภาวะการใช้งานจริง อย่างไรก็ตาม จากการเก็บข้อมูลเชิงประจักษ์ในการนำระบบไปทดลองใช้งานจริงพื้นที่ภาคสนาม (Field Testing) พบว่า แม้ตรรกะซอฟต์แวร์จะมีความสมบูรณ์ แต่ความสำเร็จของการลงเวลายังคงแปรผันตามปัจจัยภายนอกอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะความเสถียรของเครือข่ายอินเทอร์เน็ตไร้สายในบางพื้นที่ของเทศบาลตำบลท่าเสา ซึ่งก่อให้เกิดความหน่วง (Network Latency) ในการเรียกใช้ Geolocation API ส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการดึงพิกัด GPS ชั่วขณะ ในบางกรณีพบว่าผู้ใช้งานต้องทำรายการซ้ำเพื่อให้ระบบอัปเดตพิกัดที่มีความแม่นยำเพียงพอก่อนการบันทึก ซึ่งสะท้อนถึงข้อจำกัดของระบบที่ขึ้นอยู่กับคุณภาพของสัญญาณภายนอก ทั้งนี้ ได้มีการออกแบบกลไกจัดการข้อผิดพลาด (Error Handling) เพื่อป้องกันข้อผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้น เช่น การตรวจสอบค่าพิกัดว่าง (NULL Checking) และการบังคับให้ผู้ใช้รีเฟรชตำแหน่งก่อนทำธุรกรรม

Table 2. System Functional Evaluation Results Based on Black-Box Testing

Test Module	Test Cases	Evaluators	Expected Output	Success Rate
1. User Authentication	5	All roles (N=5)	System grants access based on user roles	100%
2. Location-Based Check-in	5	Staff (N=2)	System accepts input only within Geofence	100%
3. System Check-out	5	Staff (N=2)	System records out-time and updates DB	100%
4. Automated Notification	5	Staff (N=2)	Email is triggered and sent successfully	100%
5. Dashboard & Reporting	5	Admin,HR,Head (N=3)	System displays accurate historical data	100%
Overall Performance	**25**	**Total (N=5)**	**All core modules function correctly**	**100%**

6.3 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานในสภาวะแวดล้อมจริง ในลักษณะการศึกษาเชิงนำร่อง (Pilot Study) ด้วยสถิติเชิงพรรณนา

การประเมินผลเชิงประจักษ์จากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 20 ราย โดยใช้แบบสอบถามมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ ซึ่งมีค่าความเชื่อมั่น (Cronbach's Alpha) ที่ระดับ 0.85 (Hair et al., 2019) ซึ่งบ่งชี้ถึงความสอดคล้องภายในของเครื่องมือในระดับที่ยอมรับได้สำหรับการศึกษานำร่อง (Pilot-Scale Study) ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจำแนกตามรายด้านดังที่แสดงใน Table 3. พบว่าผู้ใช้งานมีความพึงพอใจต่อสถาปัตยกรรมระบบในระดับมากถึงมากที่สุด โดยด้านความมั่นคงปลอดภัย (Security) ได้รับคะแนนประเมินเฉลี่ยสูงสุด นอกจากนี้ เมื่อวิเคราะห์ในระดับรายข้อคำถาม พบว่าความรวดเร็วของระบบ (Mean = 4.70, S.D. = 0.46) ความถูกต้องและสิทธิ์การเข้าถึงข้อมูล (Mean = 4.60, S.D. = 0.49) ในทางกลับกัน ประเด็นด้านความสวยงามและความเข้าใจง่ายของส่วนติดต่อผู้ใช้ ได้รับคะแนนต่ำที่สุด (Mean = 3.85, S.D. = 0.59) ผลลัพธ์ดังกล่าวสอดคล้องกับข้อสังเกตจากการทดสอบภาคสนามที่ชี้ให้เห็นว่าผู้ใช้งานบางส่วนยังต้องใช้ระยะเวลาในการปรับตัวต่อรูปแบบการใช้งานของระบบดิจิทัลและสะท้อนให้เห็นถึงโอกาสในการพัฒนาด้าน Usability ในอนาคต

Table 3. Summary of user satisfaction levels across four architectural dimensions.

Evaluation Dimensions	Mean	S.D.	Satisfaction Level
1. Performance	4.47	0.48	High
2. Functionality	4.47	0.49	High
3. Usability	4.18	0.64	High
4. Security	4.57	0.68	Very High
Overall Average	**4.39**	**0.57**	**High**

6.4 ผลการประเมินประสิทธิภาพเปรียบเทียบเชิงความคุ้มค่าของทรัพยากร

การประเมินความคุ้มค่าเชิงทรัพยากรดำเนินการโดยเปรียบเทียบระหว่างสถาปัตยกรรมใหม่กับรูปแบบการทำงานเดิม จากการสุ่มข้อมูลพนักงานภาคสนามจำนวน 5 ราย ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า ลดเวลา Check-In จาก 10 นาที เหลือ 1 นาที (~90%) ลดเวลาสรุปรายงานจาก 1–2 วัน เหลือ 5 นาที อย่างไรก็ตาม ค่าการลดลงดังกล่าวเป็นการประเมินจากกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก และควรตีความในบริบทของการศึกษาเชิงนำร่อง (Pilot-Scale Evaluation) ในด้านต้นทุน ลดระยะทาง ~100 km/คน/เดือน ประหยัด ~400 บาท/เดือน

เมื่อทำการประมาณการเชิงขยายผล (Extrapolation) ไปยังพนักงานภาคสนาม 12 ราย พบว่า สามารถลดต้นทุนเชื้อเพลิงได้ประมาณ 4,800 บาทต่อเดือน อย่างไรก็ตาม การประมาณการดังกล่าวตั้งอยู่บนสมมติฐานของพฤติกรรมการใช้งานที่สม่ำเสมอซึ่งอาจแตกต่างกันในบริบทขององค์กรอื่น ข้อมูลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า ระบบมีศักยภาพในการลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพ แต่ผลลัพธ์เชิงปริมาณยังควรได้รับการยืนยันเพิ่มเติมผ่านการศึกษาระยะยาวในระดับองค์กรขนาดใหญ่

Table 4. Comparative Efficiency Between the Traditional Method and the Proposed System

Comparison Metrics	Traditional Method	Proposed System	Outcome/Efficiency
LBS Support	No	Yes (Mobile-based)	Enhanced Mobility
Data Accuracy	Low (Manual write)	High (GPS Verified)	Higher Transparency
Check-in Time	10 Minutes	1 Minute	90% Time Reduction
Monthly Distance	~100 km	0 km	100 km saved
Monthly Fuel Cost	~400 THB	0 THB	100% Cost Saving
Reporting Time	1-2 Days	5 Minutes	Significant Speed-up

7. สรุปผลการวิจัย (Conclusion)

งานวิจัยนี้นำเสนอสถาปัตยกรรมระบบลงเวลาปฏิบัติงานเชิงพื้นที่ด้วยเทคโนโลยีจีโอเฟนซิงบนแพลตฟอร์มโลว์โค้ด โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อแก้ปัญหาข้อจำกัดด้านความโปร่งใสและความคล่องตัวของบุคลากรในองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น จากการทดสอบประสิทธิภาพเชิงหน้าที่แบบกล่องดำ (Black-Box Testing) พบว่า ระบบสามารถบรรลุอัตราความสำเร็จของ

กรณีทดสอบ (Test Case Success Rate) ได้ร้อยละ 100 ภายใต้สภาวะแวดล้อมที่มีการควบคุม ควบคู่กับผลการประเมินเชิงประจักษ์จากกลุ่มตัวอย่างผู้ใช้งานจริงที่ให้ระดับความพึงพอใจในภาพรวมอยู่ในระดับมาก (Mean = 4.39, S.D. = 0.57) โดยมีจุดเด่นสูงสุดด้านความมั่นคงปลอดภัยของข้อมูล อย่างไรก็ตาม ผลการทดสอบภาคสนามสะท้อนให้เห็นว่าประสิทธิภาพของระบบอาจแปรผันตามปัจจัยภายนอก เช่น ความเสถียรของเครือข่ายและคุณภาพสัญญาณ GPS นอกจากนี้ การประเมินความคุ้มค่าเชิงทรัพยากรยังยืนยันว่าสถาปัตยกรรมนี้สามารถลดภาระงานธุรการลงได้มากกว่าร้อยละ 90 และลดต้นทุนแฝงจากการเดินทางกลับมาลงเวลาที่สำนักงานได้อย่างเป็นรูปธรรม แม้ผลลัพธ์ดังกล่าวจะอยู่ในบริบทของการทดลองระดับนำร่อง (Pilot-Scale Implementation) ซึ่งถือเป็นการบรรลุวัตถุประสงค์การวิจัยในระดับหนึ่ง โดยงานวิจัยนี้ได้ส่งมอบองค์ความรู้และคุณูปการ (Contributions) ที่สำคัญใน 3 มิติ ดังนี้

7.1 มิติเชิงสถาปัตยกรรมวิศวกรรม (Architectural Framework)

งานวิจัยได้นำเสนอกรอบสถาปัตยกรรมจีโอเฟนซิงแบบโลว์โค้ด (Low-Code Geofencing Architecture Framework) ซึ่งเป็นรูปแบบสถาปัตยกรรมที่บูรณาการการประมวลผลพิกัดเชิงพื้นที่เข้ากับแพลตฟอร์มคลาวด์ โดยเน้นการฝังตรรกะจีโอเฟนซิงภายในชั้นประมวลผลของระบบโลว์โค้ดโดยตรง (Embedded Geofencing Logic) โครงสร้างนี้มีจุดเด่นในด้านการจัดการข้อผิดพลาดของสัญญาณ GPS และการออกแบบให้รองรับความไม่แน่นอนของข้อมูลตำแหน่ง (Error-Tolerant Geolocation Processing) สามารถใช้เป็นโครงสร้างต้นแบบ (Prototype) สำหรับนักพัฒนาซอฟต์แวร์ในการสร้างระบบที่มีความยืดหยุ่นสูงภายใต้ข้อจำกัดด้านทรัพยากร รวมทั้งเป็นพื้นฐานสำหรับการต่อยอดสู่สถาปัตยกรรมที่รองรับการขยายตัวในระดับองค์กร (Scalable Architecture)

7.2 มิติเชิงการบริหารจัดการภาครัฐ (Practical Governance)

ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถประยุกต์ใช้เป็นนวัตกรรมต้นแบบสำหรับการขับเคลื่อนรัฐบาลดิจิทัลขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในประเทศไทย ช่วยขจัดปัญหาการลงเวลาแทนกัน ยกระดับความโปร่งใส และเพิ่มประสิทธิภาพด้านเวลาในกระบวนการตรวจสอบของฝ่ายทรัพยากรบุคคล โดยเฉพาะในบริบทของการปฏิบัติงานภาคสนามที่ต้องอาศัยความคล่องตัวสูง อย่างไรก็ตาม การนำไปใช้ในวงกว้างจำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยด้านโครงสร้างพื้นฐานดิจิทัลและความพร้อมของบุคลากรในแต่ละหน่วยงานร่วมด้วย

7.3 มิติเชิงความคุ้มค่าด้านทรัพยากร (Empirical Cost Optimization)

ข้อมูลจากการทดสอบภาคสนามพิสูจน์ยืนยันว่า การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีโลว์โค้ดร่วมกับบริการอิงตำแหน่งที่ตั้งสามารถลดต้นทุนแฝง (Hidden Costs) ด้านเชื้อเพลิง และลดต้นทุนการพัฒนาและบำรุงรักษาระบบ (TCO - Total Cost of Ownership) ได้อย่างมีนัยสำคัญ ภายใต้เงื่อนไขของการใช้งานในระดับหน่วยงานขนาดเล็กถึงขนาดกลาง ถือเป็นโซลูชันที่สร้างความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ให้กับหน่วยงานภาครัฐได้อย่างยั่งยืน อย่างไรก็ตาม การประเมินผลในระยะยาวและในระดับองค์กรขนาดใหญ่ยังคงเป็นประเด็นที่ควรศึกษาเพิ่มเติมในอนาคต

8. อภิปรายผลการวิจัย (Discussion)

8.1 การอภิปรายผลเชิงสถาปัตยกรรมและประสิทธิภาพ

จากการประเมินผลระบบลงเวลาปฏิบัติงานเชิงพื้นที่ด้วยเทคโนโลยีจีโอเฟนซิงบนสถาปัตยกรรมโลว์โค้ด พบประเด็นสำคัญที่สอดคล้องและต่อยอดจากวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

8.1.1 ประสิทธิภาพของระบบระบุตำแหน่ง (LBS Precision)

ผลการทดสอบตรรกะจีโอเฟนซิง ภายใต้สภาวะการทดสอบที่มีการควบคุม (Controlled Conditions) แสดงอัตราความสำเร็จของกรณีทดสอบ (Test Case Success Rate) ร้อยละ 100 ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าอัลกอริทึม Haversine ที่ประมวลผลร่วมกับเซนเซอร์ระบุตำแหน่งบนสมาร์ทโฟนมีสมรรถนะสูงในการตรวจสอบเงื่อนไขเชิงพื้นที่ อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาในบริบทการใช้งานจริง (Field Conditions) พบว่าประสิทธิภาพของระบบยังคงแปรผันตามปัจจัยภายนอก เช่น ความหน่วงของเครือข่าย (Network Latency) และความไม่เสถียรของสัญญาณ GPS ซึ่งอาจส่งผลต่อความแม่นยำของการระบุตำแหน่งในบางช่วงเวลา

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี Geofencing ยังคงเป็นกลไกสำคัญที่สามารถลดโอกาสของการลงเวลาเท็จ (Location Spoofing) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Chauhan et al., 2024; Patil et al., 2025) อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพดังกล่าวมิได้

ขึ้นอยู่กับอัลกอริทึมเพียงอย่างเดียว แต่ยังสัมพันธ์กับคุณภาพของฮาร์ดแวร์และสภาพแวดล้อมการใช้งาน ซึ่งสอดคล้องกับข้อค้นพบของ Shevchenko & Reips (2024) ที่ชี้ให้เห็นถึงข้อจำกัดเชิงกายภาพของระบบระบุตำแหน่ง

ดังนั้น สถาปัตยกรรมระบบติดตามการลงเวลาแบบอิงพิกัด (Geolocation-Based Attendance) จึงสามารถยกระดับความโปร่งใสและประสิทธิภาพในการบริหารทรัพยากรบุคคลได้อย่างมีนัยสำคัญ (Gupta et al., 2025) แต่จำเป็นต้องออกแบบกลไกจัดการข้อผิดพลาดและรองรับความไม่แน่นอนของข้อมูลเชิงพื้นที่เพื่อให้ระบบมีความทนทาน (Robustness) ในระดับการใช้งานจริง

8.1.2 ความคล่องตัวของโลว์โค้ด (Low-Code Agility)

การพัฒนาสถาปัตยกรรมผ่านแพลตฟอร์ม Google AppSheet ช่วยลดระยะเวลาการพัฒนาระบบลงเมื่อเทียบกับการเขียนโปรแกรมแบบดั้งเดิม (Traditional Coding) อีกทั้งยังช่วยลดภาระงานเอกสารของฝ่ายบุคคลได้อย่างเป็นรูปธรรม และแนวทางโลว์โค้ดยังช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นในการจัดการข้อมูลภาคสนามและเอื้อต่อการปรับปรุงกระบวนการทำงานแบบรวดเร็ว (Agile Process) (Ngamsong et al., 2021; Rokis & Kirikova, 2023)

อย่างไรก็ตาม แม้โลว์โค้ดจะมีข้อได้เปรียบด้านความรวดเร็วและความยืดหยุ่นในการพัฒนา แต่ก็มีข้อจำกัดเชิงโครงสร้างในด้านการควบคุมตรรกะระดับต่ำ (Low-Level Control) และการปรับแต่งอัลกอริทึมขั้นสูง ซึ่งอาจส่งผลต่อความสามารถในการเพิ่มประสิทธิภาพระบบในบริบทที่มีความซับซ้อนสูง นอกจากนี้ การพึ่งพาแพลตฟอร์มสำเร็จรูป เช่น Google AppSheet และ Google Sheets อาจก่อให้เกิดข้อจำกัดด้าน Scalability และ Performance เมื่อมีการขยายระบบไปยังองค์กรขนาดใหญ่หรือมีปริมาณข้อมูลจำนวนมาก

ดังนั้น แม้สถาปัตยกรรมโลว์โค้ดจะเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่มีข้อจำกัดด้านทรัพยากร แต่ในระยะยาวอาจจำเป็นต้องพิจารณาการย้ายไปสู่สถาปัตยกรรมที่รองรับการประมวลผลแบบกระจาย (Distributed Systems) เพื่อรองรับการขยายตัวของข้อมูลและผู้ใช้งาน

8.1.3 ความมั่นคงปลอดภัยของข้อมูล (Data Privacy)

ภายใต้ข้อกำหนดของพระราชบัญญัติคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล (PDPA) สถาปัตยกรรมนี้ได้รับการออกแบบให้ดึงข้อมูลพิกัดภูมิศาสตร์เฉพาะขณะเกิดธุรกรรมการลงเวลาเท่านั้น โดยไม่มีการติดตามพิกัดแบบเรียลไทม์ ประกอบกับการยืนยันตัวตนและการเข้ารหัสข้อมูลมาตรฐานของ Google Authentication ถือเป็นจุดเด่นสำคัญที่สร้างความเชื่อมั่นในการใช้งาน ส่งผลให้การประเมินผลด้านความมั่นคงปลอดภัยได้รับคะแนนความพึงพอใจจากผู้ใช้งานในระดับสูงสุด

อย่างไรก็ตาม แม้การออกแบบดังกล่าวจะช่วยลดความเสี่ยงด้านการละเมิดความเป็นส่วนตัว (Privacy Intrusion) แต่การพึ่งพาบริการคลาวด์ของบุคคลที่สาม (Third-Party Cloud Services) ยังคงมีประเด็นด้านการกำกับดูแลข้อมูล (Data Governance) และการควบคุมสิทธิ์การเข้าถึงในระดับโครงสร้างพื้นฐานที่ต้องพิจารณาเพิ่มเติม นอกจากนี้ การออกแบบระบบที่ไม่ติดตามตำแหน่งแบบต่อเนื่อง แม้จะสอดคล้องกับหลักการคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล แต่ก็อาจลดความสามารถในการวิเคราะห์พฤติกรรมเชิงพื้นที่ในระยะยาว (Spatiotemporal Analytics)

ดังนั้น การออกแบบสถาปัตยกรรมในอนาคตควรพิจารณา การสร้างสมดุลระหว่าง Data Privacy และ Data Utility เพื่อให้สามารถใช้ประโยชน์จากข้อมูลเชิงพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยยังคงสอดคล้องกับข้อกำหนดทางกฎหมายและหลักจริยธรรมด้านข้อมูล

8.2 ข้อจำกัดของการวิจัย

ในการนำผลการวิจัยนี้ไปอ้างอิงหรือประยุกต์ใช้ ควรคำนึงถึงข้อจำกัดทางวิชาการและข้อจำกัดเชิงเทคนิคดังต่อไปนี้ ซึ่งอาจส่งผลต่อความสามารถในการสรุปอ้างอิงเชิงทั่วไป (Generalizability) และความเสถียรของระบบในบริบทการใช้งานที่แตกต่างกัน

8.2.1 ข้อจำกัดด้านกลุ่มตัวอย่าง

งานวิจัยนี้เป็นโครงการนำร่อง (Pilot Study) ที่เก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างเฉพาะเจาะจงขนาดเล็ก (N = 20) ภายในหน่วยงานเดียว ซึ่งแม้จะสอดคล้องกับแนวปฏิบัติของการทดสอบระบบเชิงวิศวกรรมในระยะเริ่มต้น แต่ยังไม่เพียงพอสำหรับการอ้างอิงเชิงสถิติในระดับประชากร ดังนั้น การประเมินมูลค่าการประหยัดต้นทุนจึงเป็นเพียงการขยายผลทางสถิติ (Extrapolation) ภายใต้สมมติฐานว่าพฤติกรรมการใช้งานและสภาพแวดล้อมการปฏิบัติงานมีความคล้ายคลึงกัน ซึ่งจำเป็นต้องมีการทดสอบประเมินผลกับองค์กรในระดับที่หลากหลายมากขึ้น ทั้งในเชิงขนาดองค์กร (Small vs Large-Scale

Organizations) และบริบทเชิงพื้นที่ (Urban vs Rural Environments) เพื่อยืนยันผลเชิงประจักษ์และเพิ่มความน่าเชื่อถือของข้อสรุปในอนาคต

8.2.2 ข้อจำกัดด้านโครงสร้างพื้นฐานทางเทคโนโลยี

ความแม่นยำในการประมวลผลพิกัดแปรผันตามสภาพแวดล้อมทางกายภาพที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพเซนเซอร์ระบุตำแหน่งบนสมาร์ทโฟนของผู้ใช้งานแต่ละบุคคล ตลอดจนความเสถียรของเครือข่ายอินเทอร์เน็ตในพื้นที่ปฏิบัติงาน ซึ่งเป็นปัจจัยภายนอก (External Factors) ที่อยู่นอกเหนือการควบคุมของซอฟต์แวร์ โดยเฉพาะในพื้นที่อับสัญญาณหรือสภาพแวดล้อมกึ่งปิด (Semi-Indoor Environments) ที่อาจก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนของค่าพิกัด (GPS Drift) และความหน่วงในการประมวลผล (Latency) ข้อจำกัดทางฮาร์ดแวร์และการลดทอนของสัญญาณในพื้นที่ดังกล่าวถือเป็นความท้าทายสากลของระบบระบุตำแหน่งบนสมาร์ทโฟนที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ (Merry & Bettinger, 2019) นอกจากนี้ การพึ่งพาแพลตฟอร์มโลว์โค้ดและโครงสร้างพื้นฐานบนคลาวด์ เช่น Google AppSheet และ Google Sheets อาจก่อให้เกิดข้อจำกัดด้านการควบคุมระดับล่าง (Low-Level Control) และประสิทธิภาพในการประมวลผลเมื่อระบบถูกขยายไปสู่การใช้งานในระดับองค์กรขนาดใหญ่ (Large-Scale Deployment)

9. ข้อเสนอแนะงานวิจัย (Recommendation)

จากการวิเคราะห์สถาปัตยกรรมจีโอเฟนซิงแบบโลว์โค้ดและผลการประเมินเชิงประจักษ์ พบว่า ประสิทธิภาพของระบบไม่ได้ขึ้นอยู่กับตรรกะซอฟต์แวร์เพียงอย่างเดียว แต่ยังแปรผันตามบริบทการใช้งานจริง เช่น เสถียรภาพของเครือข่ายและคุณภาพสัญญาณ GPS ดังนั้น จึงนำเสนอข้อเสนอแนะทั้งในเชิงนโยบายและเชิงวิศวกรรม เพื่อสนับสนุนการนำไปใช้และการพัฒนาต่อยอดอย่างยั่งยืน ดังนี้

9.1 ข้อเสนอแนะเพื่อการนำผลการวิจัยไปใช้

9.1.1 การกำหนดนโยบายและแนวปฏิบัติ

องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นควรกำหนดระเบียบหรือแนวปฏิบัติที่ชัดเจนเกี่ยวกับการทำงานนอกสถานที่ (Remote Work Policy) ควบคู่กับการนำระบบลงเวลาอิงพิกัดไปใช้ โดยควรกำหนดเงื่อนไขเชิงปฏิบัติ เช่น รัศมีการยอมรับพิกัด (Acceptable Geofence Radius) และแนวทางการจัดการกรณีสัญญาณคลาดเคลื่อน เพื่อสร้างมาตรฐานการปฏิบัติงานที่โปร่งใส ตรวจสอบได้ และสอดคล้องกับข้อจำกัดเชิงเทคนิคในสภาพแวดล้อมจริง

9.1.2 การยกระดับทักษะบุคลากร

หน่วยงานควรจัดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการเพื่อเตรียมความพร้อมก่อนการใช้งานจริง โดยเน้นทั้งด้านการใช้งานระบบและการสร้างความเข้าใจในข้อจำกัดของเทคโนโลยีระบุตำแหน่ง รวมถึงการให้ความรู้เกี่ยวกับความไม่แน่นอนของข้อมูลพิกัด (Location Uncertainty) และแนวทางการตรวจสอบความถูกต้องเบื้องต้นโดยผู้ใช้งาน ควบคู่กับการส่งเสริมความรู้ด้านการรักษาความมั่นคงปลอดภัยของข้อมูลส่วนบุคคลตามกฎหมาย PDPA เพื่อลดความกังวลและเพิ่มความเชื่อมั่นในการใช้งานระบบในระยะเปลี่ยนผ่านสู่ดิจิทัล

9.2 ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยและพัฒนาในอนาคต

9.2.1 การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีระบุตำแหน่งแบบผสมผสาน (Hybrid Positioning System)

เพื่อแก้ไขข้อจำกัดด้านความคลาดเคลื่อนของสัญญาณพิกัดในพื้นที่อับสัญญาณหรือพื้นที่ภายในอาคาร งานวิจัยในอนาคตควรบูรณาการเทคโนโลยี Assisted GPS (A-GPS) ร่วมกับ Bluetooth Low Energy (BLE) หรือ Wi-Fi Positioning System โดยควรมีการประเมินเชิงเปรียบเทียบระหว่างเทคนิคแต่ละประเภทในบริบทพื้นที่ใช้งานที่แตกต่างกัน (Indoor vs Outdoor) เพื่อกำหนดกลยุทธ์การเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม ซึ่งจะช่วยเพิ่มความแม่นยำและความน่าเชื่อถือของระบบในระดับปฏิบัติการ

9.2.2 การบูรณาการระบบระดับองค์กร (Enterprise System Integration)

ควรพัฒนาส่วนเชื่อมต่อมาตรฐานแบบ RESTful (JSON/XML) เพื่อเชื่อมโยงแพลตฟอร์มโลว์โค้ดเข้ากับระบบบริหารทรัพยากรบุคคลหรือระบบบัญชีเงินเดือนของหน่วยงานโดยตรง พร้อมทั้งออกแบบโครงสร้างข้อมูลให้รองรับการขยายตัวในระดับองค์กร (Enterprise-Scale Data Architecture) ซึ่งจะช่วยลดความซ้ำซ้อนของการนำเข้าข้อมูล และเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการข้อมูลแบบรวมศูนย์ในระยะยาว

9.2.3 การออกแบบสถาปัตยกรรมรองรับการทำงานออฟไลน์ (Offline-Capable Architecture)

เพื่อรองรับข้อจำกัดด้านความเสถียรของเครือข่ายอินเทอร์เน็ต (Doodala, 2023) จึงเสนอให้ประยุกต์ใช้กรอบการทำงานตามแบบจำลองใน Figure 9. โดยระบบจะบันทึกข้อมูลพิกัดและเวลาลงในหน่วยความจำชั่วคราวของอุปกรณ์ด้วยสถานะรอการดำเนินการ (Pending) เมื่อสัญญาณขาดหาย และจะทำการซิงโครไนซ์ข้อมูลโดยอัตโนมัติทันทีที่ตรวจพบการเชื่อมต่อเครือข่าย นอกจากนี้ งานวิจัยในอนาคตควรพิจารณากลไกการจัดลำดับธุรกรรม (Transaction Ordering) และการป้องกันข้อมูลซ้ำซ้อน (Duplicate Handling) เพื่อรักษาความถูกต้องของข้อมูลในกรณีที่มีการซิงโครไนซ์หลายครั้ง ซึ่งจะช่วยเพิ่มความสมบูรณ์ของข้อมูล (Data Integrity) และลดความเสี่ยงของการสูญหายของธุรกรรมในสภาพแวดล้อมที่มีข้อจำกัดด้านเครือข่าย

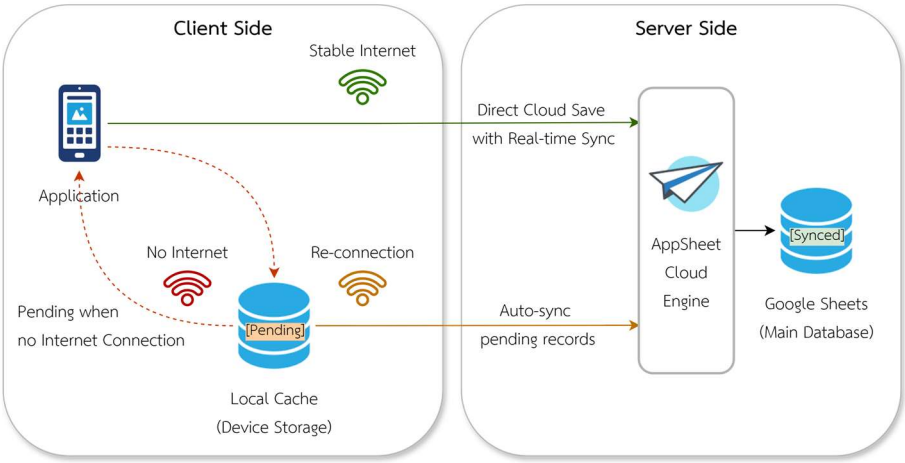


Figure 9. Proposed Offline-Capable Architecture Framework

10. การประกาศความขัดแย้งทางผลประโยชน์ (Conflict of Interest Statement)

ไม่มีความขัดแย้งทางผลประโยชน์เชิงพาณิชย์หรือทางการเงินที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ ทั้งนี้ ไม่มีความเกี่ยวข้องหรือส่วนได้ส่วนเสียกับหน่วยงานกรณีศึกษา (เทศบาลตำบลท่าเสา) เพื่อลดความลำเอียงในการวิจัย (Insider Bias) ได้ใช้การทดสอบแบบกล่องดำ (Black-Box Testing) ควบคู่กับแบบสอบถามไม่ระบุตัวตน (Anonymous Questionnaire) เพื่อให้ผลการประเมินสะท้อนข้อเท็จจริงเชิงวิทยาศาสตร์อย่างเป็นกลาง

11. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ขอขอบพระคุณ คณะผู้บริหารและบุคลากรเทศบาลตำบลท่าเสา จังหวัดอุตรดิตถ์ เป็นอย่างยิ่ง ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูล อนุญาตให้ใช้พื้นที่ในการทดสอบระบบปฏิบัติการจริง ตลอดจนสละเวลาเพื่อให้ข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์ ซึ่งมีส่วนสำคัญในการพัฒนาระบบให้สอดคล้องกับบริบทการทำงานขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น นอกจากนี้ ขอขอบพระคุณสาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ และสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ ที่ได้สนับสนุนทรัพยากรทางวิชาการ เครื่องมือ และเอื้อเฟื้อสถานที่ในการดำเนินการวิจัยจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

12. การเปิดเผยการใช้ปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ (Declaration of Generative AI)

งานวิจัยนี้มีการใช้เครื่องมือปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ (Google Gemini) เพื่อสนับสนุนด้านภาษาเท่านั้น ได้แก่ การตรวจสอบไวยากรณ์ การปรับสำนวน และการจัดโครงสร้างประโยคให้เหมาะสมกับการเขียนเชิงวิชาการ

ทั้งนี้ ข้อมูลดิบ การวิเคราะห์ผล การออกแบบสถาปัตยกรรม และข้อค้นพบทางวิชาการทั้งหมดเกิดจากการดำเนินการวิจัยจริง โดยเครื่องมือปัญญาประดิษฐ์ไม่มีส่วนในการวิเคราะห์ข้อมูลหรือสร้างองค์ความรู้ใหม่ และเนื้อหาทั้งหมดได้รับการตรวจสอบและรับผิดชอบโดยผู้เขียน

13. การแสดงบทบาทผู้เขียน (CRediT Author Statement)

Suraphon Chumklin: Conceptualization, Methodology, Software, Investigation, Data Curation, Writing - Original Draft, Visualization

Krit Chaiwannakoop: Conceptualization, Methodology, Investigation, Resources, Validation, Writing - Review & Editing

Manit Puangbangpo: Conceptualization, Methodology, Formal Analysis, Validation, Writing - Original Draft, Writing - Review & Editing, Project Administration

14. เอกสารอ้างอิง (References)

Al Farisi, S., Fauziah, & Tamara Aldisa, R. (2023, February 16). A Combination of the Haversine Formula Algorithm and the Sequential Searching Algorithm in Web Based Online Attendance. *2023 International Conference on Computer Science, Information Technology and Engineering*, 450–455. Institute of Electrical and Electronics Engineers. https://doi.org/10.1109/iccosite57641.2023.10127681

Brünninghaus, M., & Röcker, C. (2022, July 25-28). Low-Code Development in Worker Assistance Systems: Improving Flexibility and Adaptability. *2022 IEEE 20th International Conference on Industrial Informatics*, 366–373. Institute of Electrical and Electronics Engineers. https://doi.org/10.1109/indin51773.2022.9976178

Chauhan, V., Singh, H., Dewari, K., & Kumar, I. (2024, July 10-12). Efficient Employee Tracking with Smart Attendance System Using Advanced Face Recognition and Geofencing. *2024 2nd International Conference on Sustainable Computing and Smart Systems*, 750–755. Institute of Electrical and Electronics Engineers. https://doi.org/10.1109/icscss60660.2024.10625038

Doodala, A. N. K. (2023). Offline-First Android Architecture for Waste Management in Low Connectivity Zones. *International Journal of Emerging Trends in Computer Science and Information Technology, 4*(1), 201–209. https://doi.org/10.63282/3050-9246.ijetcsit-v4i1p121

Gupta, S. K., Yadav, N., Pandey, A., Sharma, R., & Chauhan, A. (2025, April 4-6). Geolocation-Based Attendance Tracking System: A Comprehensive Review. *2025 3rd International Conference on Communication, Security, and Artificial Intelligence*, 932–935. Institute of Electrical and Electronics Engineers. https://doi.org/10.1109/iccsai64074.2025.11064660

Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2019). *Multivariate Data Analysis* (8th ed.). Cengage Learning.

Merry, K., & Bettinger, P. (2019). Smartphone GPS Accuracy Study in an Urban Environment. *PLOS ONE, 14*(7), e0219890. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219890

Ngamsong, S., Lerk-U-Suke, S., & Wongyai, S. (2021). Building of Mobile Application with No-Code Development for Field Data Collection in Tax Administration of Local Administrative Organization. *The Journal of Spatial Innovation Development*, *2*(3), 55–69. (In Thai)

O-In, S. (2024). Development of a Geo-Informatics Database System to Support Urban Conservation and Rehabilitation: A Case Study of Mueang Ratchaburi District, Thailand. *Humanities, Arts and Social Sciences Studies*, *24*(1), 33–42. https://doi.org/10.69598/hasss.24.1.260631

Patil, H., Darekar, O., Thorbole, B., Kindre, P., & Dekate, V. (2025). Tick Mark: Geofencing Attendance System. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology, 13*(4), 1269–1274. https://doi.org/10.22214/ijraset.2025.68524

Pressman, R. S., & Maxim, B. R. (2020). *Software Engineering: A Practitioner's Approach* (9th ed.). McGraw-Hill Education.

Rokis, K., & Kirikova, M. (2023). Exploring Low-Code Development: A Comprehensive Literature Review. *Complex Systems Informatics and Modeling Quarterly, 36*, 68–86. https://doi.org/10.7250/csimq.2023-36.04

Sarawan, K., Sarnthong, A., Khumla, P., & Nasinprom, N. (2023). Improvement of Time Attendance Online System: Case Study in the University. *Journal of Advanced Development in Engineering and Science*, *11*(30), 16–31. (In Thai)

Shevchenko, Y., & Reips, U. D. (2024). Geofencing in Location-Based Behavioral Research: Methodology, Challenges, and Implementation. *Behavior Research Methods*, *56*, 6411–6439. https://doi.org/10.3758/s13428-023-02213-2

Tang, Y., Li, T., Zhu, R., Du, F., Wang, J., & Ma, Z. (2021). A Discovery Method for Hierarchical Software Execution Behavior Models Based on Components. *Scientific Programming, 2021*, 1–22. https://doi.org/10.1155/2021/4788357

May-August 2026, 4(2), e3714
DOI: 10.65205/jcct.2026.e3714
Journal of Computer and Creative Technology
วารสารคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสร้างสรรค์
ISSN 2985-1580 (Print)
ISSN 2985-1599 (Online)

(Research Article)

Development of an Intelligent Air Quality Control System for Shoe Cabinets to Prevent Odor Accumulation

Pimlida Saiviwat[1] and Apisake Hongwitayakorn[2,*]

[1]Information Technology Program, Faculty of Science, Silpakorn University, Nakhon Pathom 73000, Thailand; Email: [1]pimlida.saiviwat@gmail.com
[2]Department of Computing, Faculty of Science, Silpakorn University, Nakhon Pathom 73000, Thailand; Email: [2]hongwitayakorn_a@su.ac.th

[*]*Corresponding author:* Apisake Hongwitayakorn (hongwitayakorn_a@su.ac.th)

Received: 1 March 2026; **Revised:** 8 July 2026; **Accepted:** 10 July 2026; **Published:** 26 July 2026

Abstract

This research aimed to develop an intelligent shoe care cabinet capable of reducing factors that contribute to unpleasant odors from footwear. The system focuses on controlling environmental conditions related to accumulated humidity and microbial growth, which are primary causes of odor, to promote good hygiene and reduce the burden of shoe maintenance for users. The system integrates a heater, UV-C (253.7 nm), a disinfectant misting system, and a ventilation fan, operating in conjunction with Internet of Things (IoT) technology via an Arduino UNO R4 Wi-Fi board and the ThingsBoard Cloud platform. From system testing, the system reduced relative humidity from 43%RH to 30%RH within 30 minutes of heater operation, and TVOC levels decreased from 184 ppb to 25 ppb within 5 minutes of ventilation. UV-C irradiation at 253.7 nm reduced bacterial counts from 6.80×10^3 to below 30 CFU/ml and fungal counts from 1.04×10^4 to below 30 CFU/ml within 10 minutes. Overall user satisfaction was rated at the highest level ($\bar{x}$ = 4.65, S.D. = 0.50).

Keywords: Smart Shoe Cabinet, Internet of Things, Air Quality Control, UV-C Disinfection, Odor Reduction

Copyright © 2026 Journal of Computer and Creative Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC-ND).

Citation:
Saiviwat, P., & Hongwitayakorn, A. (2026). Development of an Intelligent Air Quality Control System for Shoe Cabinets to Prevent Odor Accumulation. *Journal of Computer and Creative Technology, 4*(2), e3714. https://doi.org/10.65205/jcct.2026.e3714

ISSN 2985-1580 (Print)
ISSN 2985-1599 (Online)

(Research Article)

การพัฒนาระบบควบคุมคุณภาพอากาศในตู้รองเท้าเพื่อป้องกันการเกิดกลิ่นสะสม

พิมพ์ลิดา สายวิวัฒน์[1] และ อภิเษก หงษ์วิทยากร[2,*]

[1]สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม 73000 ประเทศไทย;
Email: [1]pimlida.saiviwat@gmail.com
[2]ภาควิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม 73000 ประเทศไทย;
Email: [2]hongwitayakorn_a@su.ac.th

[*]*ผู้ประพันธ์บรรณกิจ:* อภิเษก หงษ์วิทยากร (hongwitayakorn_a@su.ac.th)

รับบทความ: 1 มีนาคม 2569; **แก้ไขบทความ:** 8 กรกฎาคม 2569; **ตอบรับบทความ:** 10 กรกฎาคม 2569;
เผยแพร่บทความ: 26 กรกฎาคม 2569

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบตู้ดูแลรองเท้าอัจฉริยะที่สามารถลดปัจจัยที่ก่อให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์จากรองเท้า โดยมุ่งเน้นการควบคุมสภาพแวดล้อมด้านความชื้นสะสมและการเจริญเติบโตของเชื้อโรค ที่เป็นสาเหตุหลักของกลิ่น เพื่อส่งเสริมสุขอนามัยที่ดีและลดภาระการดูแลรองเท้าของผู้ใช้งาน ระบบประกอบด้วยการใช้ความร้อน รังสี UV-C (253.7 nm) ระบบพ่นละอองน้ำยาฆ่าเชื้อ และพัดลมระบายอากาศ โดยทำงานร่วมกับเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) ผ่านบอร์ด Arduino UNO R4 Wi-Fi และแพลตฟอร์ม ThingsBoard Cloud จากการทดสอบระบบพบว่า ระบบสามารถลดความชื้นสัมพัทธ์จาก 43%RH เหลือ 30%RH ภายใน 30 นาทีของการทำงานของความร้อน และระดับสารระเหยอินทรีย์รวม (TVOC) ลดลงจาก 184 ppb เหลือ 25 ppb ภายใน 5 นาทีของการระบายอากาศ การฉายรังสี UV-C ที่ความยาวคลื่น 253.7 nm สามารถลดจำนวนแบคทีเรียจาก 6.80×10^3 เหลือต่ำกว่า 30 CFU/ml และลดจำนวนเชื้อราจาก 1.04×10^4 เหลือต่ำกว่า 30 CFU/ml ภายใน 10 นาที และผู้ใช้งานมีความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.65, S.D. = 0.50)

คำสำคัญ: รองเท้าอัจฉริยะ, อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง, การควบคุมคุณภาพอากาศ, ยูวีซี, การลดกลิ่น

Copyright © 2026 Journal of Computer and Creative Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC-ND).

การอ้างอิง:
พิมพ์ลิดา สายวิวัฒน์, และ อภิเษก หงษ์วิทยากร. (2569). การพัฒนาระบบควบคุมคุณภาพอากาศในตู้รองเท้าเพื่อป้องกันการเกิดกลิ่นสะสม. *วารสารคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสร้างสรรค์, 4*(2), e3714. https://doi.org/10.65205/jcct.2026.e3714

(Research Article)

1. บทนำ (Introduction)

รองเท้าเป็นสิ่งที่จำเป็นในชีวิตประจำวันของมนุษย์ ใช้สำหรับป้องกันเท้าจากสิ่งแวดล้อมภายนอก อีกทั้งยังเป็นองค์ประกอบที่ช่วยเสริมบุคลิกภาพและมีบทบาทสำคัญต่อสุขอนามัยของผู้สวมใส่ อย่างไรก็ตาม การสวมใส่รองเท้าเป็นเวลานานในแต่ละวันย่อมทำให้รองเท้าเกิดการสะสมของความชื้น เหงื่อ แบคทีเรีย และเชื้อรา ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของกลิ่นไม่พึงประสงค์และยังส่งผลเสียต่อสุขอนามัยของผู้ใช้งานโดยตรง (Sánchez-Navarro et al., 2013; Qiu et al., 2022)

ปัญหาดังกล่าวหากไม่ได้รับการจัดการอย่างเหมาะสมจะส่งผลให้กลิ่นอับภายในรองเท้าสะสมมากขึ้น อีกทั้งยังส่งผลให้รองเท้าเสื่อมสภาพเร็วขึ้น เนื่องจากการเจริญเติบโตของ เชื้อราบนวัสดุต่าง ๆ เช่น หนังแท้หรือผ้าใบ ซึ่งอาจส่งผลให้รองเท้าเกิดความเสียหายได้ (Qiu et al., 2022; Summer Neal, 2025) นอกจากนี้ยังทำให้ผู้ใช้งานขาดความมั่นใจและอาจเกิดปัญหาด้านสุขภาพได้อีกด้วย

ปัจจุบันแม้ว่าจะมีการวางจำหน่ายผลิตภัณฑ์ตู้ดูแลรองเท้าในประเทศไทยแล้ว แต่จากการสำรวจตลาดพบว่าเงื่อนไขการทำงานของผลิตภัณฑ์เหล่านี้ยังไม่สอดคล้องกับข้อเท็จจริงและไม่ครอบคลุมความต้องการใช้งานจริง เช่น บางรุ่นระบุว่าใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C ในการทำความสะอาดรองเท้า โดยกล่าวว่าเป็นอุณหภูมิที่ปลอดภัยเหมาะสำหรับการดูแลรองเท้าโดยไม่ส่งผลทำลายวัสดุของรองเท้า แต่จากข้อมูลอ้างอิงทางวิชาการพบว่า อุณหภูมิที่สูงกว่า 40 °C อาจส่งผลเสียต่อวัสดุรองเท้าบางชนิด โดยเฉพาะหนังแท้และกาวที่ยึดติดพื้นรองเท้า เป็นต้น (Aero Rubber Company, 2020; EVA Foam, 2016; Rutkowski et al., 2024)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาตู้ดูแลรองเท้าอัจฉริยะได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อจัดการกับปัญหาดังกล่าวในเรื่องของความชื้น กลิ่น และเชื้อโรค โดยใช้เทคโนโลยี Internet of Things (IoT) ร่วมกับระบบเซนเซอร์อัจฉริยะ เพื่อควบคุมสภาวะแวดล้อมภายในตู้แบบอัตโนมัติ ทั้งการใช้ Heater เพื่อลดความชื้น การใช้แสง UV-C (253.7 nm) ในการฆ่าเชื้อ (Sottani et al., 2023; Nexa, n.d.) และการใช้ระบบพ่นละอองน้ำยาฆ่าเชื้อหรือดับกลิ่น เพื่อช่วยให้รองเท้าได้รับการดูแลอย่างมีประสิทธิภาพ เพิ่มความสะดวกสบายแก่ผู้ใช้ และยืดอายุการใช้งานรองเท้าได้อย่างมีนัยสำคัญ (Qi et al., 2024)

2. วัตถุประสงค์งานวิจัย (Research Objectives)

1. เพื่อพัฒนาตู้ดูแลรองเท้าอัจฉริยะที่สามารถควบคุมความชื้น ฆ่าเชื้อโรค และกำจัดกลิ่นไม่พึงประสงค์
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของตู้ดูแลรองเท้าอัจฉริยะ
3. เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานต่อระบบตู้ดูแลรองเท้าอัจฉริยะ

3. การทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)

3.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Qi et al. (2024) ได้ศึกษาปัญหาและความต้องการของผู้ใช้ตู้รองเท้าอัจฉริยะ โดยพบว่าตู้ที่มีในปัจจุบันมักใช้งานได้ไม่สะดวก ประสิทธิภาพไม่เสถียร และยังตอบโจทย์ด้านสุขอนามัยไม่เพียงพอ ทีมผู้วิจัยจึงใช้การสัมภาษณ์ผู้ใช้ร่วมกับแบบสอบถามเพื่อระบุปัญหา เช่น กลิ่นอับ ความอับชื้น การระบายอากาศ และปัญหาสุขภาพจากเชื้อรา พบว่าสิ่งที่ผู้ใช้ความสำคัญมากที่สุด คือ ฟังก์ชัน โครงสร้าง และ ปฏิสัมพันธ์การใช้งาน ตามลำดับ โดยผลชี้ว่าต้องพัฒนาเรื่องระบบฆ่าเชื้อ การควบคุมความชื้น การจัดเก็บที่ยืดหยุ่น และส่วนติดต่อผู้ใช้ที่ชัดเจนขึ้น ความต้องการด้านสุขอนามัยคือปัจจัยหลักของแนวทางการออกแบบใหม่

สถาบันวิจัย INESCOP พบว่า ภายในรองเท้าเป็นพื้นที่ปิดทึบซึ่งเอื้อต่อการสะสมเหงื่อและการเติบโตของจุลชีพซึ่งเป็นสาเหตุของกลิ่นไม่พึงประสงค์ แนวทางแก้ไขจึงเน้นการใช้สารต้านจุลชีพ เช่น ซิลเวอร์ไอออน โลหะออกไซด์ และสารจากธรรมชาติ เช่น citronellol, linalool และ essential oils ต่าง ๆ ซึ่งมีผลในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อโรคและแบคทีเรีย (Sánchez-Navarro et al., 2013)

Sottani et al. (2023) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของการใช้รังสี UV-C ร่วมกับโอโซนในการลดการปนเปื้อนเชื้อโรคในสถานพยาบาล และพบว่าเทคโนโลยีทั้งสองมีผลเสริมกันในการทำลายแบคทีเรียและไวรัสได้ดีกว่าใช้เพียงอย่างใดอย่างหนึ่ง โดย UV-C ทำลาย DNA ของจุลชีพ ส่วนโอโซนออกซิไดซ์ผนังเซลล์ ส่งผลให้ลดจำนวนเชื้อได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงในพื้นที่

ที่ต้องการความสะอาดระดับสูง แต่ยังคงมีข้อจำกัดบางประการโดยโอโซน หลังการใช้งานจำเป็นต้องมีการระบายอากาศอย่างเคร่งครัดเนื่องจากอากาศมีก๊าซโอโซนที่เข้มข้นซึ่งเป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ เป็นอันตรายต่อสุขภาพ

นอกจากนี้ Best Direction System (Qiu et al., 2022) กล่าวว่า ความชื้นในอากาศเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของเชื้อโรคหลายชนิด โดยเฉพาะในสภาพแวดล้อมปิดซึ่งมีความชื้นสะสมสูง ทำให้เชื้อแบคทีเรียและเชื้อราเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์และปัญหาด้านสุขอนามัยตามมา บทความยังกล่าวว่าความชื้นเกิน 60% RH เป็นช่วงที่เชื้อราเจริญเติบโตได้ดี จึงจำเป็นต้องมีการคำนึงถึงควบคุมความชื้นที่ถูกต้องและเหมาะสมอยู่เสมอ

จากการทบทวนวรรณกรรมข้างต้น พบว่ายังไม่มีงานวิจัยที่นำเสนอระบบตู้รองเท้าที่บูรณาการการควบคุมความชื้น การฆ่าเชื้อด้วยรังสี UV-C การพ่นละอองน้ำยา และการติดตามผ่าน IoT แบบ Real-Time ไว้ในระบบเดียว งานวิจัยนี้จึงมุ่งการพัฒนาเพื่อรองรับและแก้ไขข้อจำกัดดังกล่าว

3.2 สภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมในการดูแลรักษารองเท้า

รองเท้าโดยทั่วไปประกอบด้วยวัสดุหลากหลายประเภท เช่น ผ้า หนัง และยาง ซึ่งแต่ละชนิดมีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีที่ไวต่อสภาพแวดล้อมภายนอก โดยเฉพาะความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงหรือการสะสมของเชื้อโรค ซึ่งอาจก่อให้เกิดการเสื่อมสภาพของวัสดุ เช่น การบวมน้ำ การขึ้นรา การแตกร้าว หรือการเปลี่ยนสีของวัสดุผิวรองเท้าได้ เพื่อยืดอายุการใช้งานของรองเท้าและลดโอกาสในการเกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ จากการศึกษาข้อมูลพบว่าสภาวะแวดล้อมเฉลี่ยที่เหมาะสมภายในพื้นที่จัดเก็บให้อยู่ในช่วงอุณหภูมิประมาณ 18–25 °C และความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 40–50% RH ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมต่อการชะลอการเสื่อมสภาพของวัสดุและช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ อุณหภูมิสะสมภายในตู้ไม่ควรเกิน 40 °C เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงเกินกว่านี้อาจส่งผลให้วัสดุรองเท้าบางชนิดเกิดการเสียรูป เสื่อมสภาพ หรือสูญเสียคุณสมบัติทางกายภาพได้ (Aero Rubber Company, 2020; EVA Foam, 2016; Rutkowski et al., 2024; Summer Neal, 2025; Nexa, n.d.)

3.3 การวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ด้วยเซนเซอร์ SHT35

เซนเซอร์ SHT35 เป็นเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นแบบดิจิทัลที่ โดยประกอบด้วยตัวตรวจจับความชื้นแบบ Capacitive และตัวตรวจจับอุณหภูมิแบบ Bandgap ซึ่งมีการปรับเทียบ (Calibration) และชดเชยอุณหภูมิ (Temperature Compensation) มาแล้ว ทำให้ได้ค่าที่มีความแม่นยำสูง ±1.5 %RH และ ±0.1 °C

3.4 การตรวจวัดสารระเหยอินทรีย์ ด้วยเซนเซอร์ SGP30

เซนเซอร์ SGP30 เป็นเซนเซอร์ก๊าซแบบ Metal Oxide Semiconductor (MOS) เมื่อโมเลกุลของสารระเหยอินทรีย์ (VOC) สัมผัสพื้นผิว ตัวเรือนเซนเซอร์ ระบบภายในจะประมวลผลออกมาเป็นค่าความเข้มข้นของ Total Volatile Organic Compounds หน่วย ppb และคาร์บอนไดออกไซด์เสมือน eCO_2 (หน่วย ppm) ผ่านบัส I^2C

3.5 การฆ่าเชื้อโรคด้วยรังสี UV-C

รังสี UV-C ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 100–280 nm ซึ่งรวมถึงความยาวคลื่น 253.7 nm เป็นช่วงที่มีพลังงานเพียงพอในการทำลายสายพันธุกรรมของจุลินทรีย์ ทำให้เชื้อแบคทีเรีย เชื้อรา และไวรัสตายหรือหยุดการเจริญเติบโต (Sottani et al., 2023) ช่วงคลื่น 253.7 nm ยังเป็นช่วงที่ ไม่ทำให้เกิดก๊าซโอโซน (O_3) เนื่องจากโอโซนเป็นแก๊สที่อันตรายต่อระบบทางเดินหายใจของมนุษย์

3.6 ระบบพ่นละอองหมอกแบบ Ultrasonic

ระบบพ่นละอองหมอกแบบ Ultrasonic เป็นระบบที่ใช้หลักการสั่นสะเทือนด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง (ประมาณ 1.7–2.4 MHz) เพื่อสร้างแรงดันให้ของเหลวแตกตัวกลายเป็นละอองฝอยขนาดละเอียด ละอองดังกล่าวสามารถแขวนลอยในอากาศได้ดี ทำให้เพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสและกระจายตัวได้รวดเร็ว

3.7 Arduino IDE และ Arduino UNO R4 Wi-Fi

Arduino IDE เป็นแพลตฟอร์มที่ใช้สำหรับพัฒนาและอัปโหลดโปรแกรมไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ของ Arduino โดยรองรับภาษา C/C++ และมีระบบคอมไพล์และอัปโหลดโค้ด ซึ่งจะใช้งานร่วมกับบอร์ด Arduino UNO R4 Wi-Fi พร้อมโมดูล Wi-Fi ในตัว ทำให้สามารถประมวลผลข้อมูลและเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตได้อย่างมีประสิทธิภาพ บอร์ดรองรับการใช้งานกับเซนเซอร์และอุปกรณ์ต่าง ๆ

3.8 ThingsBoard Cloud

ThingsBoard Cloud เป็นแพลตฟอร์ม IoT แบบเปิด (Open-Source) ที่ใช้สำหรับเก็บข้อมูลเซนเซอร์ แสดงผลแบบเรียลไทม์ และควบคุมอุปกรณ์ระยะไกลผ่านโปรโตคอล MQTT ในระบบนี้ บอร์ดจะทำหน้าที่เป็น Device ส่ง Telemetry ไปยัง ThingsBoard Cloud ผ่าน MQTT โดยใช้ Device Token เป็นตัวระบุตัวตน ข้อมูลต่าง ๆ จะแสดงบน Dashboard และสามารถปรับแต่ง (Custom Widget) เช่น กราฟ แสดงสถานะ และค่าต่าง ๆ ได้แบบเรียลไทม์ โดย ThingsBoard รองรับ RPC (Remote Procedure Call) ซึ่งช่วยให้ผู้ใช้สามารถสั่งงานอุปกรณ์ผ่านมือถือโดยใช้ Mobile Application นอกจากนี้ระบบยังมีการจัดเก็บข้อมูลจากเซนเซอร์ต่าง ๆ ลงในฐานข้อมูลบนแพลตฟอร์ม ThingsBoard Cloud ในรูปแบบข้อมูลเชิงเวลา (Time-Series Data) ซึ่งช่วยให้สามารถติดตามพฤติกรรมการใช้งานและสภาวะแวดล้อมภายในตู้ได้อย่างต่อเนื่อง

3.9 MQTT Protocol

MQTT เป็นโปรโตคอลสื่อสารแบบ Publish/Subscribe ที่ ThingsBoard รองรับเพื่อใช้เชื่อมต่ออุปกรณ์ IoT กับแพลตฟอร์มคลาวด์ โดยออกแบบให้มีการส่งข้อมูลที่มีประสิทธิภาพ ThingsBoard กำหนดให้อุปกรณ์ทำการเชื่อมต่อผ่าน MQTT Broker ของแพลตฟอร์ม การสื่อสารทั้งหมดส่งผ่าน Topic ที่กำหนด เช่น Telemetry, Attributes และ RPC

4. กรอบแนวคิดงานวิจัย (Conceptual Framework)

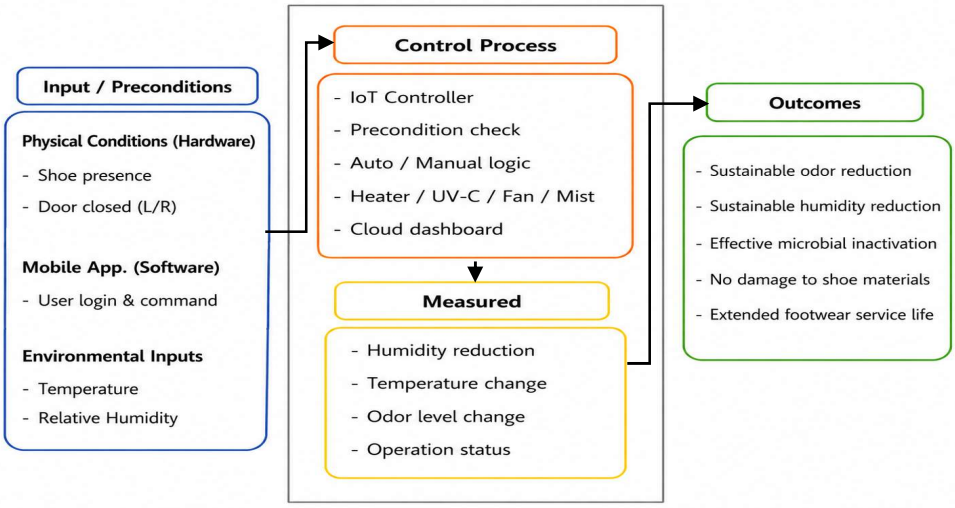


Figure 1. Conceptual Framework of the Internal Air-Quality Control System for Shoe Cabinets

การวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาระบบควบคุมคุณภาพอากาศภายในตู้รองเท้าอัจฉริยะ เพื่อป้องกันการเกิดกลิ่นสะสม ความชื้น และการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ โดยกรอบแนวคิดงานวิจัยถูกออกแบบขึ้นเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเงื่อนไขนำเข้า กระบวนการทำงานของระบบ และผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากการดำเนินงานของระบบอย่างเป็นระบบ กรอบแนวคิดดังกล่าวครอบคลุมการตรวจสอบเงื่อนไขเริ่มต้นของตู้ดูแลรองเท้า การควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ผ่านระบบควบคุมแบบอัตโนมัติและแบบสั่งงานด้วยผู้ใช้ กรอบแนวคิดงานวิจัยยังสะท้อนถึงผลลัพธ์ปลายทางที่มุ่งเน้นความยั่งยืนในการดูแลรองเท้า โดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อวัสดุรองเท้าและช่วยยืดอายุการใช้งานของรองเท้าในระยะยาว

5. วิธีดำเนินงานวิจัย (Research Methodology)

5.1 สถาปัตยกรรมระบบ (System Architecture)

สถาปัตยกรรมระบบของตู้ดูแลรองเท้าอัจฉริยะถูกออกแบบในรูปแบบเลเยอร์ (Layered Architecture) เพื่อแสดงโครงสร้างการทำงานของระบบในลักษณะลำดับชั้น โดยแบ่งหน้าที่ของแต่ละส่วนอย่างชัดเจนตั้งแต่ระดับอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์

จนถึงระดับผู้ใช้งาน โดยสถาปัตยกรรมดังกล่าวประกอบด้วย 4 เลเยอร์หลัก ได้แก่ Device Layer, Network Layer, Platform Layer และ User Layer โดยมีรายละเอียดดัง Figure 2.

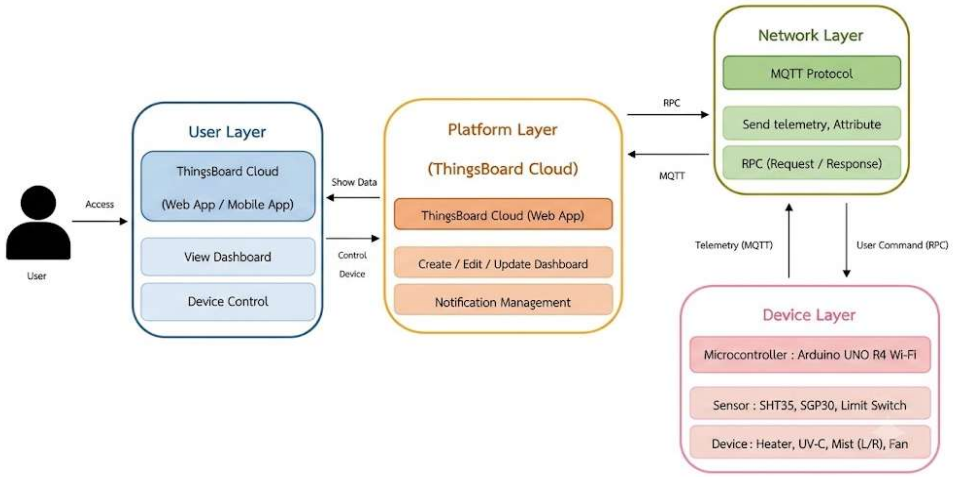


Figure 2. System Architecture of the Internal Air-Quality Control System for Shoe Cabinets

5.2 Use Case Diagram

ผลการออกแบบ Use Case Diagram ดัง Figure 3.

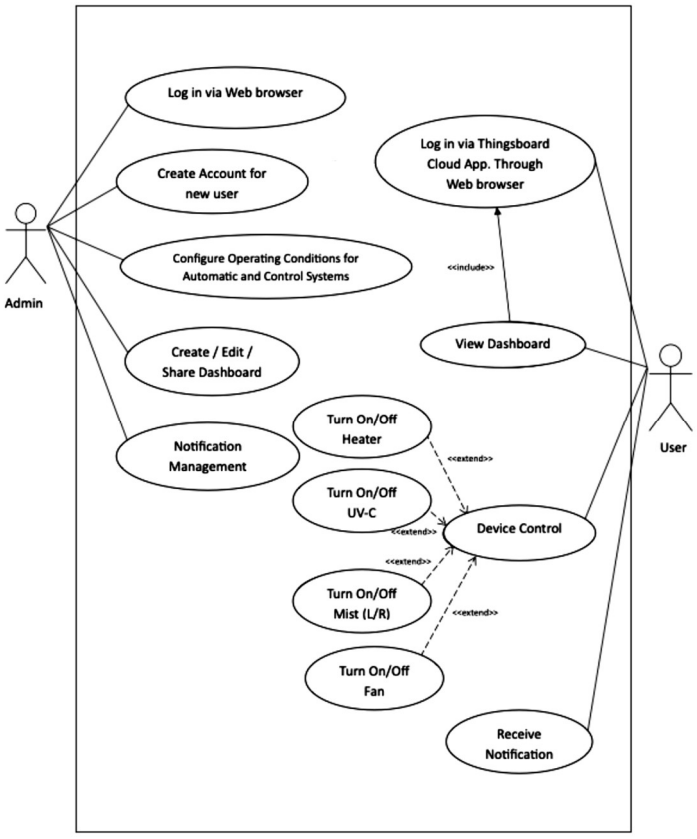


Figure 3. Use Case Diagram of the Internal Air-Quality Control System for Shoe Cabinets

จาก Figure 3. พบว่า

1) ผู้ดูแลระบบ (Admin) สามารถทำหน้าที่จัดการและกำหนดค่าต่าง ๆ ของระบบ

2) ผู้ใช้งาน (User) สามารถดูหรือควบคุมการทำงานระบบผ่านแอป ThingsBoard Cloud หรือ Web Application

5.3 Flow Chart การทำงานของระบบอัตโนมัติ

ผังงานของกระบวนการทำงานอัตโนมัติในตู้ดูแลรองเท้าอัจฉริยะ (ดัง Figure 4.) ซึ่งอธิบายลำดับการทำงานตั้งแต่เริ่มต้นระบบไปจนถึงการทำงานสุดท้ายเสร็จสิ้น

5.4 Circuit Diagram การเชื่อมต่อวงจรของระบบ

แผนผังการเชื่อมต่อวงจร ของระบบตู้ดูแลรองเท้าอัจฉริยะ (ดัง Figure 5.) โดยกำหนดการเชื่อมต่อหรือติดตั้งการเดินไฟระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO R4 Wi-Fi กับ Sensor และ Devices

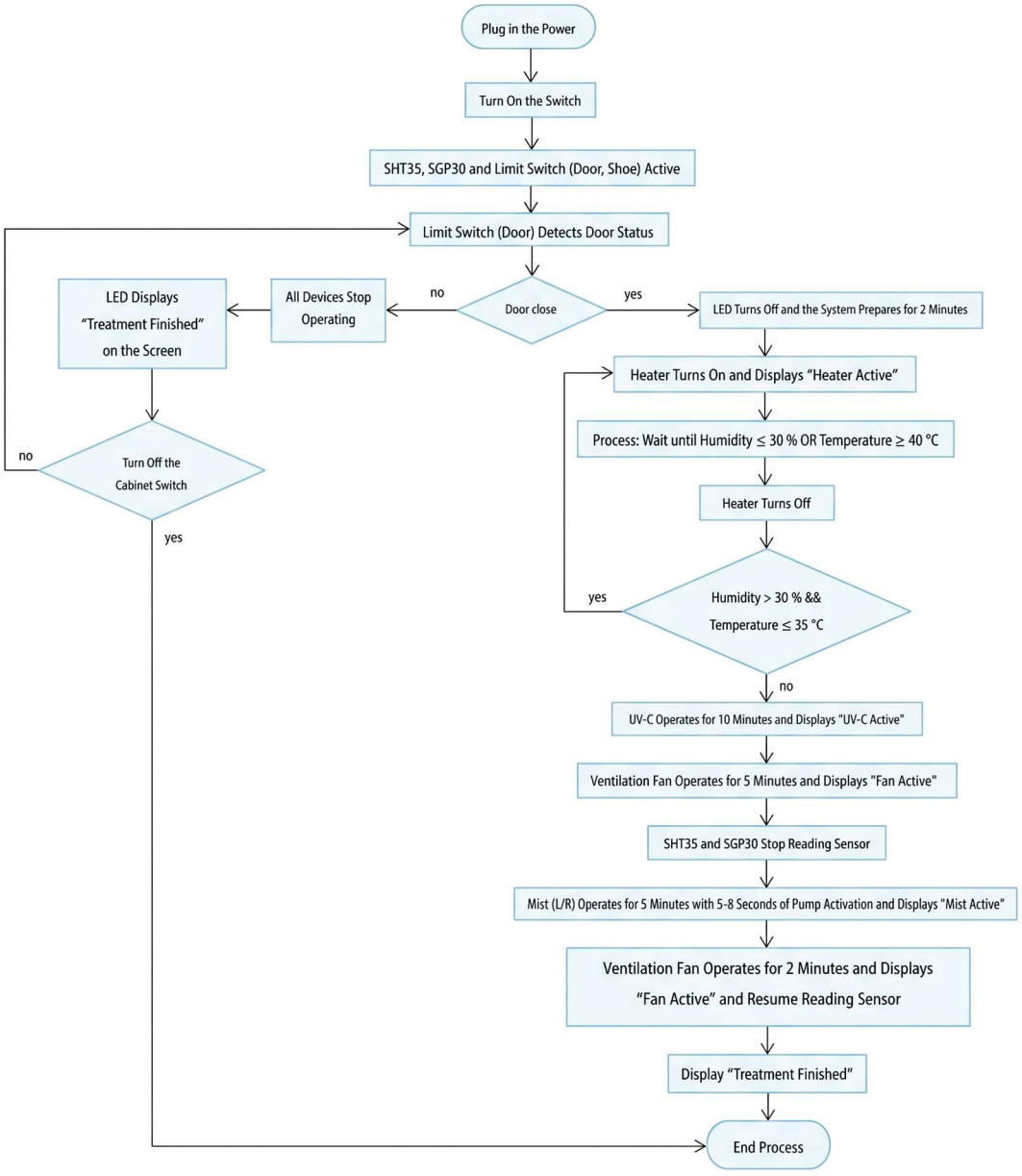


Figure 4. Flow Chart of the Internal Air-Quality Control System for Shoe Cabinets

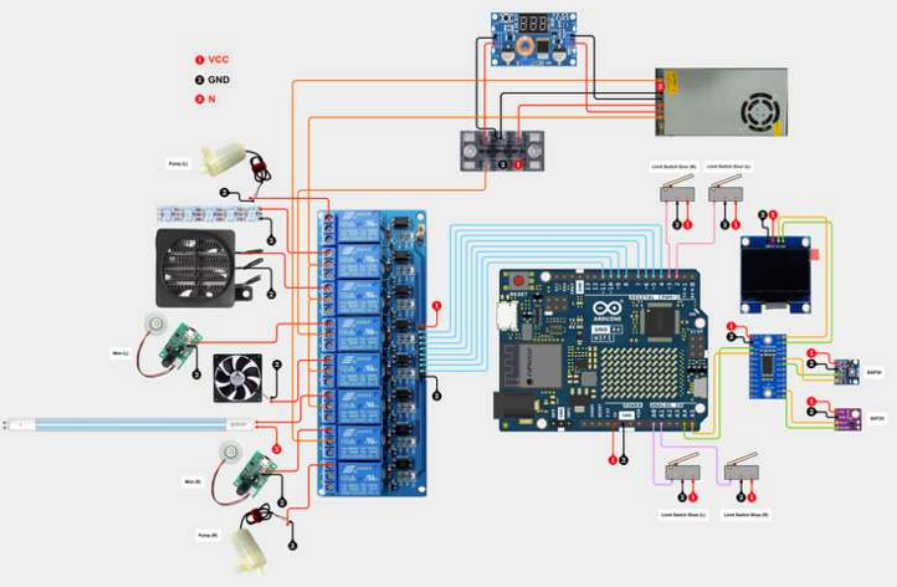


Figure 5. System Circuit Diagram of the Internal Air-Quality Control System for Shoe Cabinets

6. ผลการวิจัย (Results)

6.1 ผลการพัฒนาตู้ดูแลรองเท้าอัจฉริยะที่สามารถควบคุมความชื้น ฆ่าเชื้อโรค และกำจัดกลิ่นไม่พึงประสงค์

6.1.1 ตู้และการติดตั้งระบบ

ตู้สามารถดูแลรองเท้าบรรจุรองเท้าได้ทั้งหมด 2 คู่ โดยแบ่งเป็นทางฝั่งซ้ายและขวา สามารถรองรับรองเท้าได้ทุกประเภท ไม่ว่าจะเป็นรองเท้ากีฬา รองเท้าผ้าใบ รองเท้าผ้า รองเท้าแตะ รองเท้าหนัง หรือวัสดุอื่น ๆ โดยสภาวะแวดล้อมภายในตู้ถูกควบคุมให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมกับการดูแลรักษารองเท้า ด้วยเงื่อนไขของสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมคล้ายคลึงกัน ทำให้ไม่ส่งผลเสียอย่างมีนัยสำคัญต่อคุณภาพของรองเท้า

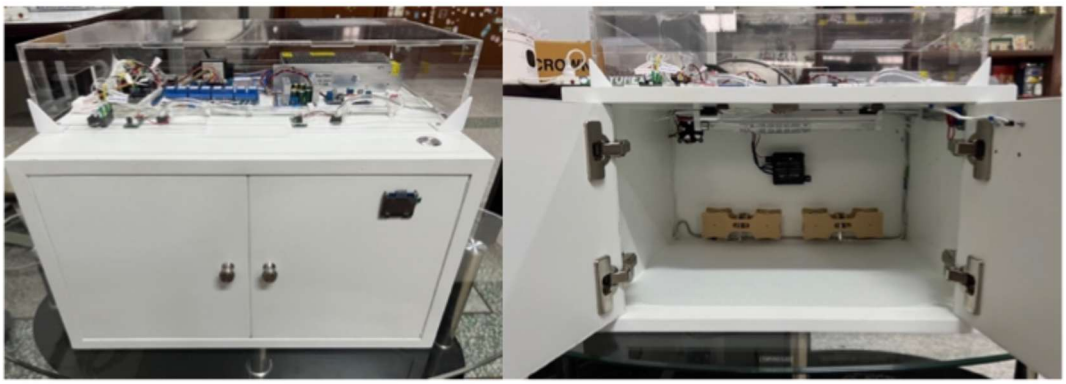


Figure 6. External and Internal Views of the Smart Shoe Treatment Cabinet

6.1.2 ส่วน Hardware

1. เซนเซอร์

1) SHT35 ทำหน้าที่ วัดค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สะสมภายในตู้ โดยตำแหน่งที่ติดตั้งอยู่ภายในด้านบนตรงกลางตู้

2) SGP30 ทำหน้าที่ วัดสารระเหยอินทรีย์รวม (TVOC) ที่สะสมภายในตู้ โดยตำแหน่งที่ติดตั้งอยู่ภายในด้านบนตรงกลางตู้

3) Limit Switch สำหรับตรวจจับรองเท้า ทำหน้าที่ ตรวจจับวัตถุ หรือ รองเท้าภายในตู้ โดยตำแหน่งที่ติดตั้งอยู่ภายใน ล่างผนังด้านหลัง ซ้าย–ขวา

4) Limit Switch สำหรับตรวจจับการเปิด-ปิดประตู ทำหน้าที่ ตรวจจับการเปิด-ปิดของประตู โดยตำแหน่งที่ติดตั้งอยู่ภายในด้านบนตรงกลางซ้าย-ขวา ชิดกับประตูตู้

2. อุปกรณ์หลัก

1) ฮีตเตอร์ ทำหน้าที่ ใช้สำหรับลดความชื้นภายในตู้ ด้วยความร้อนเพื่อให้อากาศเกิดความแห้งลง ลดความชื้นสะสม โดยตำแหน่งที่ติดตั้งอยู่ภายในกึ่งกลางตู้

2) UV-C (253.7nm) ทำหน้าที่ ฆ่าเชื้อโรคบริเวณพื้นผิวภายนอกรองเท้า โดยตำแหน่งที่ติดตั้งอยู่ภายในด้านบนตรงกลางตู้

3) ระบบพ่นละออง Ultrasonic ทำหน้าที่ พ่นน้ำยาในรูปแบบละอองหมอก โดยแยก 2 ฝั่งซ้าย-ขวา โดยทำงานตามฝั่งที่มีรองเท้าภายในตู้ โดยตำแหน่งที่ติดตั้งอยู่ภายในด้านบนใกล้ตำแหน่งประตูโดยแบ่งเป็นฝั่งซ้ายและขวา

4) พัดลมระบายอากาศ ทำหน้าที่ ไล่ความชื้น/ช่วยหมุนเวียนอากาศ โดยตำแหน่งที่ติดตั้งอยู่ภายในตู้ด้านหลังบนเยื้องไปทางด้านซ้าย

6.1.3 ส่วน Software

1) Arduino IDE ใช้เป็นเครื่องมือหลักในการเขียนโปรแกรมควบคุมบอร์ด Arduino UNO R4 Wi-Fi โดยโค้ดที่พัฒนาขึ้นจะทำหน้าที่จัดการเงื่อนไขการทำงานและส่งขึ้น Cloud

2) MQTT Protocol ใช้เป็นโปรโตคอลหลักในการ รับ–ส่งข้อมูลระหว่าง Arduino และ ThingsBoard Cloud โดยลักษณะการทำงานคือ Arduino ทำการ Publish ข้อมูลเซนเซอร์ ไปยัง Broker บน Cloud และ ThingsBoard Cloud จะ Subscribe เพื่อนำไปแสดงผล

3) ThingsBoard Cloud ทำหน้าที่เก็บข้อมูลจากเซนเซอร์ (Telemetry Data) แสดงผลผ่าน Dashboard ทั้งบน Web และ Mobile App. ผู้ใช้สามารถตรวจสอบสถานะตู้แบบ Real-time และควบคุมอุปกรณ์จากระยะไกลได้

4) Dashboard และ Mobile Application ThingsBoard Cloud ทำหน้าที่เป็น Dashboard สำหรับผู้ใช้ โดยรองรับทั้งในรูปแบบของ Web Application และ Mobile Application (iOS/Android) ผ่าน ThingsBoard Cloud Application ที่สามารถลงชื่อเข้าใช้จากบัญชีที่ผู้ดูแลระบบสร้างให้ เพื่อเข้าใช้งานได้ทันที โดยแบ่งการแสดงผลเป็น 2 ส่วน คือ การแสดงผล (Dashboard) ดัง Figure 7. และการควบคุมการทำงาน (Device Control) ดัง Figure 8.



Figure 7. Mobile Application Dashboard

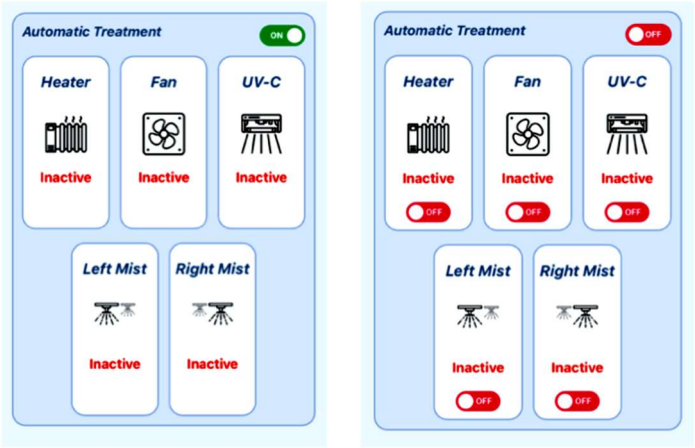


Figure 8. UI Treatment Mode

จาก Figure 7. และ Figure 8. อธิบาย ดังนี้

1. การแสดงผล (Dashboard) ประกอบด้วย การแสดงผลของ สถานะปัจจุบันของตู้รองเท้า จำนวนและตำแหน่งของรองเท้าภายในตู้ อุณหภูมิและความชื้นภายในตู้ พร้อมทั้งค่ากลิ่นและระดับกลิ่นภายในตู้ และกราฟแสดงระยะเวลาการทำงานรายสัปดาห์ พร้อมสรุปค่าเฉลี่ยของความชื้น ค่ากลิ่นที่ลดลงได้

2. การควบคุมการทำงาน (Device Control) ดังนี้ 1) กรณีเลือก โหมดอัตโนมัติ หรือ เมื่อกดปุ่ม On คือ default ที่เป็นค่าเริ่มต้นใช้งาน ระบบจะเริ่มทำงานของกระบวนการแบบอัตโนมัติ ผู้ใช้จะไม่สามารถปรับการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้ในขณะนี้ และ 2) กรณีเลือก โหมดปรับการทำงานเอง หรือ เมื่อกดปุ่ม Off การทำงานของระบบอัตโนมัติจะหยุดการทำงานอุปกรณ์ทั้งหมด ทันที แต่จะทำงานอยู่จนกว่าผู้ใช้จะปิดสวิตช์ที่ตู้และสามารถสั่งการทำงานอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้เองโดยในกรณีนี้

นอกจากนี้ยังมีการแจ้งเตือน (Notification and Push Notification) เพื่อให้ผู้ใช้ทราบถึงการทำงานของระบบ ในกรณีที่การทำงานเสร็จสิ้น ผู้ใช้จะได้รับการแจ้งเตือนทั้งในรูปแบบ Notification, Push Notification และในกรณีที่เกิดการทำงานที่ผิดพลาดจากระบบในรูปแบบ Notification

6.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของตู้ดูแลรองเท้าอัจฉริยะ

6.2.1 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการควบคุมความชื้นภายในตู้ดูแลรองเท้า

ระบบตู้ดูแลรองเท้าอัจฉริยะสามารถบรรลุวัตถุประสงค์ในการลดความชื้นภายในตู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยอาศัยกระบวนการทำงานของฮีตเตอร์ร่วมกับการตรวจวัดและควบคุมค่าด้วยเซนเซอร์ SHT35 ซึ่งช่วยปรับสภาพแวดล้อมภายในตู้ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการดูแลรองเท้า

การทดสอบประสิทธิภาพดำเนินการภายใต้เงื่อนไขดังนี้ การทดสอบความชื้นสัมพัทธ์ ทดสอบทั้งหมด 3 รอบ โดยตั้งค่าความชื้นสัมพัทธ์เริ่มต้นที่มากกว่า 40%RH วัดผลทุก 5 นาที ในระยะเวลา 30 นาที ผลการทดสอบ ดัง Figure 9.

จาก Figure 9. การทำงานร่วมกันของฮีตเตอร์ และ SHT35 ก่อนเริ่มการทำงานของฮีตเตอร์ พบว่า SHT35 วัดอุณหภูมิเท่ากับ 29 °C และความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 43%RH เมื่อฮีตเตอร์ทำงานต่อเนื่องเป็นเวลา 30 นาที พบว่าวัดอุณหภูมิเป็น 39 °C และความชื้นสัมพัทธ์ลดลงเหลือ 30%RH ผลการเปรียบเทียบพบว่าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 10 °C และความชื้นสัมพัทธ์ลดลง 13%RH

ผลดังกล่าวสอดคล้องกับข้อมูลของ Best Direction System (Qiu et al., 2022) ที่ระบุว่าการควบคุมความชื้นให้ต่ำกว่า 60%RH สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยค่าความชื้นที่ลดลงสู่ระดับ 30%RH ถือเป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการจัดเก็บรองเท้าและการชะลอการเสื่อมสภาพของวัสดุตามที่กำหนดไว้ในกรอบแนวคิดงานวิจัย

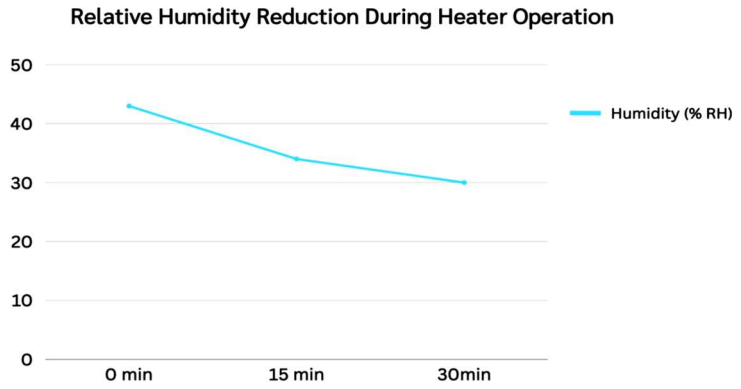


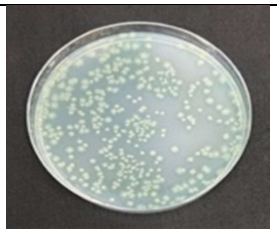
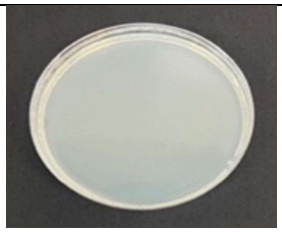
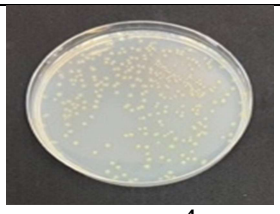
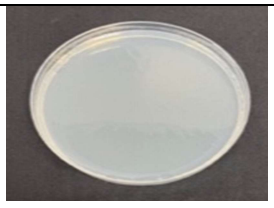
Figure 9. Relative Humidity Reduction During Heater Operation

6.2.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อโรคภายนอกรองเท้า

ระบบตู้ดูแลรองเท้าอัจฉริยะสามารถบรรลุวัตถุประสงค์ในการกำจัดเชื้อโรคบนพื้นผิวภายนอกรองเท้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยอาศัยกระบวนการทำงานของรังสี UV-C (253.7 nm) ที่ออกแบบให้เหมาะสมกับการลดปริมาณเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราที่สะสมบนรองเท้า

การทดสอบประสิทธิภาพดำเนินการภายใต้เงื่อนไขดังนี้ : การทดสอบประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อด้วยรังสี UV-C ดำเนินการโดยเก็บตัวอย่างจากพื้นผิวทั้งภายนอกและภายในรองเท้าด้วยวิธี Swab Technique แบ่งการเก็บตัวอย่างออกเป็น 2 ช่วง ได้แก่ ช่วงที่ 1 เก็บตัวอย่างจากรองเท้าที่ผ่านการใช้งานทันทีก่อนเข้าสู่กระบวนการฆ่าเชื้อ เพื่อใช้เป็นค่าอ้างอิงเริ่มต้น (Baseline) และช่วงที่ 2 เก็บตัวอย่างจากรองเท้าภายหลังผ่านการฆ่าเชื้อด้วยรังสี UV-C ที่ความยาวคลื่น 253.7 nm เป็นระยะเวลา 10 นาที จากนั้นนำตัวอย่างทั้งหมดส่งตรวจวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการตามมาตรฐานการทดสอบทางจุลชีววิทยา

Table 1. Results of Microbial Inactivation Using UV-C (253.7 nm)

Scenario	Before UV-C	After UV-C 10 min	Remarks
Front Surface of Shoes (After 1-Day Incubation)			Colony counts were determined from culture plates with a suitable number of colonies, generally in the range of 30–300 colonies.
Bacteria	 6.80×10^3	 < 30	
Fungi and Yeast	 1.04×10^4	 < 30	

(Research Article)

สรุปผลการทดลอง : ก่อนการฉายรังสี UV-C ตรวจพบเชื้อแบคทีเรีย จำนวน 6.80 × 10^3 CFU/ml และตรวจพบเชื้อราและยีสต์ จำนวน 1.04 × 10^4 CFU/ml หลังการฉายรังสี UV-C เป็นระยะเวลา 10 นาที พบว่าจำนวนแบคทีเรีย รวมถึงเชื้อราและยีสต์ ลดลงจนต่ำกว่า 30 CFU/ml แสดงให้เห็นว่า UV-C (253.7 nm) สามารถฆ่าเชื้อโรคภายนอกกรองเท้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ อัตราการลดจำนวนจุลชีพดังกล่าวเกินกว่า 99.5% ทั้งในส่วนของแบคทีเรียและเชื้อรา ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Sottani et al. (2023) ที่พิสูจน์ว่ารังสี UV-C มีประสิทธิภาพสูงในการทำลายสายพันธุกรรมของจุลชีพ และสามารถลดการปนเปื้อนได้อย่างมีนัยสำคัญในพื้นที่ปิด

6.2.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดกลิ่นไม่พึงประสงค์ภายในตู้ดูแลรองเท้า

กระบวนการระบายอากาศภายในตู้ดูแลรองเท้าอัจฉริยะ ทำให้ระบบสามารถบรรลุวัตถุประสงค์ในการลดกลิ่นไม่พึงประสงค์ภายในตู้ได้ตามที่กำหนดไว้ โดยอาศัยการทำงานของพัดลมเพื่อควบคุมระดับ TVOC

การทดสอบประสิทธิภาพดำเนินการภายใต้เงื่อนไขดังนี้ : การทดสอบ TVOC หรือระดับกลิ่น วัดค่าคุณภาพอากาศภายในตู้ก่อนและหลังพัดลมทำงาน 5 นาที จำนวน 3 รอบ

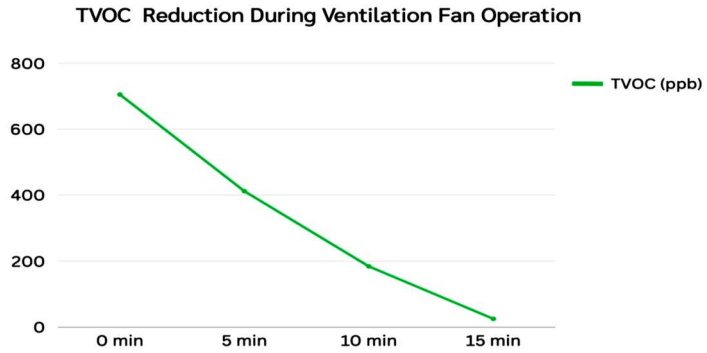


Figure 10. TVOC Reduction During Ventilation Fan Operation

จากการทำงานร่วมกันของเซนเซอร์ SGP30 และพัดลมระบายอากาศในการลดค่าก๊าซระเหยรวม (TVOC) ก่อนเริ่มการทำงานของพัดลมระบายอากาศ ตรวจวัดค่า TVOC ได้ 184 ppb ซึ่งอยู่ในระดับ Medium และเมื่อพัดลมระบายอากาศทำงานต่อเนื่องเป็นเวลา 5 นาที พบว่าค่า TVOC ลดลงเหลือ 25 ppb และระดับคุณภาพอากาศอยู่ในระดับ Normal จากการเปรียบเทียบพบว่าค่า TVOC ลดลง 159 ppb

6.3 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานต่อระบบตู้ดูแลรองเท้าอัจฉริยะ

ผลการประเมินความพึงพอใจ โดยมุ่งเน้นการพิจารณาความเหมาะสมและความสอดคล้องของการทำงานในแต่ละส่วนของระบบตู้ดูแลรองเท้าอัจฉริยะ ใน 3 องค์ประกอบหลัก คือ ประสิทธิผล ประสิทธิภาพ และ ความพึงพอใจ จากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 10 คน ประเมินผลตามเกณฑ์ มาตรฐานการวัดของลิเคิร์ท 5 ระดับ ดังนี้ คะแนนเฉลี่ย 4.50 - 5.00 คือ มากที่สุด (Very High) คะแนนเฉลี่ย 3.50 - 4.49 คือ มาก (High) คะแนนเฉลี่ย 2.50 - 3.49 คือ ปานกลาง (Moderate) คะแนนเฉลี่ย 1.50 - 2.49 คือ พอใช้ (Fair) และ คะแนนเฉลี่ย 1.00 - 1.49 คือ ควรปรับปรุง (Needs Improvement) ผลการวิจัย ดัง Table 2.

Table 2. System Performance Evaluation Results

Evaluation Criteria	$\bar{x}$	S.D.	Level
1. Smart Shoe Treatment Cabinet (Hardware)	4.80	0.42	Very High
- The shoe treatment cabinet is easy to use and not complicated.	4.50	0.53	Very High
- The sensors and devices operate correctly as expected.	4.70	0.48	Very High
- The automatic treatment system operates efficiently.	4.60	0.52	Very High

Table 2. System Performance Evaluation Results (Cont.)

Evaluation Criteria	$\bar{x}$	S.D.	Level
- The manual treatment system operates efficiently for each device.	4.40	0.70	High
2. Mobile Application (Software)	**4.50**	**0.53**	**Very High**
- The dashboard display is clear, easy to understand, and not complicated.	4.70	0.48	Very High
- The device control section is easy to use and not complicated.	4.60	0.52	Very High
- The system responds quickly when commands are sent via the mobile application.	4.60	0.52	Very High
- System notifications, such as “Treatment Finished,” are accurate and clear.	4.60	0.52	Very High
3. Overall System Satisfaction	**4.70**	**0.48**	**Very High**
Overall Mean	**4.65**	**0.50**	**Very High**

จาก Table 2. ผลการประเมินประสิทธิภาพการทำงานระบบ จะได้ว่าระดับความพึงพอใจโดยรวมของระบบอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.65, S.D. = 0.50) โดยเมื่อพิจารณาเป็นรายข้อพบว่า ในส่วนของ ตู้ดูแลรองเท้า (Hardware) “การทำงานของเซนเซอร์และอุปกรณ์ต่าง ๆ เป็นไปอย่างถูกต้องตามที่คาดหวัง (The sensors and devices operate correctly as expected.)” ได้รับความพึงพอใจในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.70, S.D.= 0.48) และ ส่วนของ Mobile Application (Software) “หน้าการแสดงผล (Dashboard) มีความชัดเจน เข้าใจง่าย และไม่ซับซ้อน (The dashboard display is clear, easy to understand, and not complicated.)” ได้รับความพึงพอใจในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.70, S.D. = 0.48) เมื่อพิจารณาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ในแต่ละหัวข้อประเมินพบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.42 – 0.70 ซึ่งบ่งชี้ว่ากลุ่มตัวอย่างมีความเห็นสอดคล้องกันในระดับสูง และผลการประเมินมีความน่าเชื่อถือ

6. สรุปผลการวิจัย (Conclusion)

จากการพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของตู้ดูแลรองเท้าอัจฉริยะเพื่อควบคุมสาเหตุของกลิ่นไม่พึงประสงค์ พบว่าระบบที่ออกแบบขึ้นสามารถทำงานได้ครบถ้วนตรงตามวัตถุประสงค์ของโครงงาน ทั้งในด้านการควบคุมความชื้น การกำจัดเชื้อโรค และการลดกลิ่นสะสมภายในรองเท้า โดยระบบสามารถตัดสินใจการทำงานได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมกับการใช้งานจริง คำนึงถึงสุขอนามัยของผู้สวมใส่ ความสะดวกสบายในการใช้งาน และไม่ส่งผลเสียต่อสภาพของรองเท้า

ผลการประเมินประสิทธิภาพการทำงานโดยภาพรวมพบว่า ผู้ใช้มีความพึงพอใจต่อระบบอยู่ในระดับมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจเท่ากับ 4.65 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.50 แสดงให้เห็นว่าตู้ดูแลรองเท้าอัจฉริยะที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพสูงและสามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งานได้เป็นอย่างดี

7. อภิปรายผลการวิจัย (Discussion)

จากผลการทดลองพบว่า การทำงานร่วมกันของระบบควบคุมความชื้น รังสี UV-C ระบบพ่นละอองน้ำยา และพัดลมระบายอากาศ มีส่วนช่วยลดปัจจัยที่ก่อให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ภายในรองเท้าได้อย่างเหมาะสม ซึ่งสอดคล้องกับหลักการด้านสุขอนามัยและการควบคุมสภาพแวดล้อมที่ชี้ให้เห็นว่าความชื้นและการสะสมของจุลชีพเป็นปัจจัยหลักที่ก่อให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ และสอดคล้องกับ Sottani et al. (2023) ที่พิสูจน์ว่ารังสี UV-C มีประสิทธิภาพสูงในการทำลายสายพันธุกรรมของจุลชีพ และสามารถลดการปนเปื้อนได้อย่างมีนัยสำคัญในพื้นที่ปิด

นอกจากนี้ ระบบควบคุมแบบอัตโนมัติที่ตัดสินใจการทำงานโดยอิงจากค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ช่วยให้อุปกรณ์แต่ละส่วนทำงานได้สอดคล้องกับสภาพแวดล้อมภายในตู้ ผลการใช้งานพบว่าทั้งระบบควบคุมอัตโนมัติและระบบ

ควบคุมด้วยตนเองสามารถให้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของระบบได้ แสดงให้เห็นถึงความยืดหยุ่นและความเหมาะสมของการออกแบบระบบในการนำไปใช้งานจริง

8. ข้อเสนอแนะงานวิจัย (Recommendation)

ระบบตู้ดูแลรองเท้าอัจฉริยะที่พัฒนาขึ้นมีจุดประสงค์หลักสำหรับการใช้งานภายในครัวเรือน โดยเหมาะสำหรับการติดตั้งในพื้นที่ภายในอาคาร เช่น บริเวณหน้าบ้านภายในอาคาร หรือพื้นที่ที่มีการป้องกันแสงแดดและความชื้นจากภายนอก เนื่องจากระบบประกอบด้วยอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ที่ไม่เหมาะสมต่อการสัมผัสน้ำหรือการใช้งานกลางแจ้งโดยตรง การติดตั้งในพื้นที่ภายในจึงช่วยเพิ่มความปลอดภัยและยืดอายุการใช้งานของระบบ

แนวทางการต่อยอดการใช้งานในอนาคต ระบบสามารถพัฒนาให้รองรับจำนวนรองเท้าที่มากขึ้นได้ พร้อมการแบ่งพื้นที่จัดเก็บรองเท้าแต่ละคู่ด้วยผนังกั้น เพื่อเพิ่มความเป็นส่วนตัวของผู้ใช้งาน แนวคิดดังกล่าวเหมาะสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่สาธารณะ เช่น ฟิตเนส, หอพัก หรือสถานที่ที่มีผู้ใช้งานร่วมกันจำนวนมาก ซึ่งจะช่วยขยายขอบเขตการใช้งานของระบบจากระดับครัวเรือนไปสู่การใช้งานในเชิงพาณิชย์ได้ในอนาคต

นอกจากนี้ ระบบสามารถต่อยอดโดยการนำข้อมูลการทำงานย้อนหลัง เช่น ระยะเวลาการทำงานและค่าจากเซนเซอร์ในแต่ละรอบ มาใช้ฝึกโมเดล Machine Learning เพื่อคาดการณ์เวลาที่กระบวนการดูแลรองเท้าจะเสร็จสิ้นและทำนายเวลาที่เหลือได้อย่างเหมาะสมในแต่ละกรณี

9. การเปิดเผยการใช้ปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ (Declaration of Generative AI)

งานวิจัยนี้มีเนื้อหาที่สร้างขึ้นหรือได้รับการสนับสนุนจากเครื่องมือปัญญาประดิษฐ์ (AI) ได้แก่ ChatGPT และ Gemini นำมาช่วยในการดำเนินงาน เช่น การวิเคราะห์ข้อมูล การปรับปรุงภาษา เรียบเรียงข้อความ โดยผู้เขียนได้ตรวจสอบและรับรองเนื้อหาทั้งหมด เพื่อให้มั่นใจว่ามีความถูกต้อง เป็นต้นฉบับ และสอดคล้องกับหลักจริยธรรมทางวิชาการ

10. การแสดงบทบาทผู้เขียน (CRediT Author Statement)

Pimlida Saiviwat: Conceptualization, Methodology, System Design, Software, Hardware Development, Investigation, Data Curation, Formal Analysis, Validation, Visualization, Writing – Original Draft, Project Administration

Apisake Hongwitayakorn: Supervision, Methodology Review, Validation, Writing – Review & Editing

11. เอกสารอ้างอิง (References)

Aero Rubber Company. (2020). *Safe Storage of Rubber Products and Maximizing Their Life*. https://aerorubber.com/2020/10/08/safe-storage-of-rubber-products

EVA Foam. (2016). *Safety Data Sheet*. https://s3-ap-southeast-2.amazonaws.com/wc-prod-pim/Asset_Documents/EVA%20FOAM-%20MSDS.pdf

Nexa. (n.d.). *Germicidal Radiation UVC 253.7 NM*. https://www.nexa.eu/en/technical-support/germicidne-ziarenie-uvc-253-7-nm

Qi, Y., Kim, K., & Lu, X. (2024). Optimizing the Design of an Intelligent Shoe Cabinet: AHP-QFD Integration for Enhanced Functionality. *Asia-Pacific Journal of Convergent Research Interchange, 10*(4), 493–506. https://doi.org/10.47116/apjcri.2024.04.38

Qiu, Y., Zhou, Y., Chang, Y., Liang, X., Zhang, H., Lin, X., Qing, K., Zhou, X., & Luo, Z. (2022). The Effects of Ventilation, Humidity, and Temperature on Bacterial Growth and Bacterial Genera Distribution. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 19*(22), 15345. https://doi.org/10.3390/ijerph192215345

(Research Article)

Rutkowski, P., Kwiecień, K., Berezicka, A., Sułowska, J., Kwiecień, A., Śliwa-Wieczorek, K., Azinovic, B., Schwarzkopf, M., Pondelak, A., Pečnik, J. G., & Szumera, M. (2024). Thermal Stability and Heat Transfer of Polyurethanes for Joints Applications of Wooden Structures. *Molecules, 29*(14), 3337. https://doi.org/10.3390/molecules29143337

Sánchez-Navarro, M. M., Pérez-Limiñana, M. A., Cuesta-Garrote, N., Maestre-López, M. I., Bertazzo, M., Martínez-Sánchez, M. A., Orgilés-Barceló, C., & Arán-Ais, F. (2013). Latest Developments in Antimicrobial Functional Materials for Footwear. In Méndez-Vilas, A. (Ed), *Microbial Pathogens and Strategies for Combating Them: Science, Technology and Education* (1, 102–113). Formatex Research Center.

Sottani, C., Favorido Barraza, G., Frigerio, F., Corica, G., Robustelli Della Cuna, F. S., Cottica, D., & Grignani, E. (2023). Effectiveness of a Combined UV-C and Ozone Treatment in Reducing Healthcare-Associated Infections in Hospital Facilities. *Journal of Hospital Infection, 139*, 207–216. https://doi.org/10.1016/j.jhin.2023.06.029

Summer Neal. (2025). *Preventing Mold and Fungus in Commercial Textile Storage*. https://www.dehumidifiers.com/post/preventing-mold-and-fungus-in-commercial-textile-storage

ISSN 2985-1580 (Print)
ISSN 2985-1599 (Online)

Citation:
บทความในวารสารนี้อยู่ภายใต้สัญญาอนุญาตครีเอทีฟคอมมอนส์ (Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International : CC BY-NC-ND 4.0)

May-August 2026, 4(2), e3760
DOI: 10.65205/jcct.2026.e3760
Journal of Computer and Creative Technology
วารสารคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสร้างสรรค์
ISSN 2985-1580 (Print)
ISSN 2985-1599 (Online)

(Research Article)

Comparative Analysis of Pull and Push Monitoring Models for Information Services in CGNAT Environments

Chayaphon Suwanvorn[1,*] and Chaiyaporn Khemapatapan[2]

[1,2]Department of Computer Engineering, College of Engineering and Technology,
Dhurakij Pundit University, Bangkok 10210, Thailand; Email: [1]66130918@dpu.ac.th, [2]chaiyaporn@dpu.ac.th

[*]*Corresponding author:* Chayaphon Suwanvorn (66130918@dpu.ac.th)

Received: 17 March 2026; **Revised:** 20 May 2026; **Accepted:** 23 May 2026; **Published:** 22 August 2026

Abstract

This research investigates the development of a monitoring system for information environments operating behind Carrier-Grade NAT (CGNAT), a significant constraint that prevents direct access from a central server to client nodes. The study conducts an in-depth comparative analysis of two architectures: (1) a Pull Model operating over an overlay network utilizing Tailscale technology, and (2) a traditional Push Model transmitting data via a Pushgateway. Experiments were performed on a live system deployed on Microsoft Azure, with network conditions simulated using pfSense. The results reveal significant trade-offs between the two approaches. The Pull Model via Tailscale demonstrates superior performance regarding alerting latency, real-time data continuity, and enhanced security, as it eliminates the need to expose public ports. Conversely, the Push Model is distinguished by lower system overhead on client nodes and greater configuration autonomy. These findings provide guidelines for architectural selection based on specific use cases. The Pull Model is recommended for scenarios prioritizing high security where specialized configuration expertise is limited; Tailscale's underlying Zero Trust Network Access (ZTNA) simplifies deployment through single-account authentication without complex setup. Alternatively, the Push Model is ideal for resource-constrained devices, such as IoT, provided that expert personnel are available to ensure secure configuration.

Keywords: Prometheus, CGNAT, Tailscale, Pull Model, Push Model

Copyright © 2026 Journal of Computer and Creative Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC-ND).

Citation:
Suwanvorn, C., & Khemapatapan, C. (2026). Comparative Analysis of Pull and Push Monitoring Models for Information Services in CGNAT Environments. *Journal of Computer and Creative Technology, 4*(2), e3760.
https://doi.org/10.65205/jcct.2026.e3760

May-August 2026, 4(2), e3760
DOI: 10.65205/jcct.2026.e3760
Journal of Computer and Creative Technology
วารสารคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสร้างสรรค์
ISSN 2985-1580 (Print)
ISSN 2985-1599 (Online)

(Research Article)

การพัฒนาระบบเฝ้าระวังประสิทธิภาพและความปลอดภัยพื้นฐานของระบบให้บริการสารสนเทศ

ชยพล สุวรรณวร[1,*] และ ชัยพร เขมะภาตะพันธ์[2]

[1,2]สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10210 ประเทศไทย; Email: [1]66130918@dpu.ac.th, [2]chaiyaporn@dpu.ac.th

[*]*ผู้ประพันธ์บรรณกิจ:* ชยพล สุวรรณวร (66130918@dpu.ac.th)

รับบทความ: 17 มีนาคม 2569; **แก้ไขบทความ:** 20 พฤษภาคม 2569; **ตอบรับบทความ:** 23 พฤษภาคม 2569; **เผยแพร่บทความ:** 22 สิงหาคม 2569

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาวิธีการพัฒนาระบบเฝ้าระวังและติดตามประสิทธิภาพสำหรับระบบ สารสนเทศที่ทำงานอยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมเครือข่ายแบบ Carrier-Grade NAT (CGNAT) ซึ่งเป็นข้อจำกัดสำคัญที่ทำให้ Server ส่วนกลางไม่สามารถเข้าถึงโหนดปลายทางได้โดยตรง งานวิจัยนี้จึงได้ทำการเปรียบเทียบเชิงลึกระหว่าง สถาปัตยกรรม 2 รูปแบบคือ 1. รูปแบบ Pull Model ที่ทำงานผ่านเครือข่ายส่วนตัวเสมือนด้วยเทคโนโลยีของ Tailscale และ 2. รูปแบบ Push Model แบบดั้งเดิมที่ส่งข้อมูลผ่าน Pushgateway โดยทำการทดสอบ บนระบบจริงที่ติดตั้งบน Azure และจำลองเครือข่ายด้วย pfSense ผลการศึกษาพบข้อแลกเปลี่ยนที่สำคัญ คือ สถาปัตยกรรมแบบ Pull Model ผ่าน Tailscale มีความโดดเด่นด้านความเร็วในการแจ้งเตือนความต่อเนื่องของข้อมูลหรือความ Real-Time และความปลอดภัยที่สูงกว่าเนื่องจากไม่ต้องเปิดพอร์ตสาธารณะ ในขณะที่สถาปัตยกรรมแบบ Push Model มีจุดเด่นด้านการใช้ทรัพยากรระบบบนโหนดปลายทางที่ต่ำกว่าและมีความเป็นอิสระในการตั้งค่าระบบมากกว่า ข้อค้นพบนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการ เลือกสถาปัตยกรรมให้เหมาะสมกับลักษณะงาน เช่น การใช้ Pull Model สำหรับระบบที่เน้นความมั่นคงความปลอดภัยสูง แต่ขาดผู้เชี่ยวชาญในการตั้งค่าความปลอดภัย การเลือกสถาปัตยกรรมแบบ Pull Model จึงเป็นทางเลือกที่ดีเพราะ Tailscale มีพื้นฐานความปลอดภัยแบบ Zero Trust Network Access (ZTNA) เป็นพื้นฐานอยู่แล้วเพียงแค่เข้าสู่ระบบ ด้วยบัญชีผู้ใช้เดียวกันก็สามารถใช้งานได้โดยไม่ต้องตั้งค่าซับซ้อน ส่วนสถาปัตยกรรมแบบ Push Model เหมาะสำหรับอุปกรณ์ที่มีทรัพยากรจำกัด เช่น IoT และจำเป็นต้องมีผู้เชี่ยวชาญในการตั้งค่าระบบเพื่อความปลอดภัย

คำสำคัญ: โพรมีธีอุส, ซีจีแนต, เทลสเกล, พูลโมเดล, พุชโมเดล

Copyright © 2026 Journal of Computer and Creative Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC-ND).

การอ้างอิง:
ชยพล สุวรรณวร, และ ชัยพร เขมะภาตะพันธ์. (2569). การพัฒนาระบบเฝ้าระวังประสิทธิภาพและความปลอดภัยพื้นฐานของระบบให้บริการสารสนเทศ. *วารสารคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสร้างสรรค์, 4*(2), e3760. https://doi.org/10.65205/jcct.2026.e3760

(Research Article)

1. บทนำ (Introduction)

ในปัจจุบันระบบเทคโนโลยีสารสนเทศเป็นหัวใจสำคัญของการขับเคลื่อนธุรกิจ จากรายงานสถิติ ภัยคุกคามทางด้านไซเบอร์ (Cyber Attack Trends 2025) ประจำปี 2568 อ้างอิงจากข้อมูลของสำนักงานคณะกรรมการ การรักษาความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์แห่งชาติ (สกมช.) (National Cyber Security Agency, 2025) พบว่าการพยายามโจมตีระบบเครือข่ายมีอัตราเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งหากระบบเฝ้าระวัง (Monitoring System) เกิดความล่าช้าหรือล้มเหลวเพียงไม่กี่นาทีอาจส่งผลกระทบต่อความเชื่อมั่นและสร้างความเสียหายเชิงธุรกิจอย่างมหาศาล ดังนั้นการเฝ้าระวังและติดตามสถานะของระบบจึงเป็นสิ่งที่ขาดไม่ได้เพื่อให้ผู้ดูแลระบบสามารถรับรู้ถึง ความผิดปกติและแก้ไขปัญหาได้ทันท่วงทีเครื่องมือ ที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายคือ Prometheus และ Grafana ซึ่งโดยปกติจะทำงานในรูปแบบ Pull Model (Saputra et al., 2024; Sirviö, 2021) หรือการดึงข้อมูล ตรงจากเครื่องปลายทาง แต่ว่าในยุคปัจจุบันที่ IPv4 ขาดแคลนผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ต ส่วนใหญ่จึงหันมาใช้เทคโนโลยี Carrier- Grade NAT (CGNAT) (Hrițcan & Balan, 2024a; netElastic, n.d.) ทำให้โหนดปลายทางไม่มี IP ที่เป็น Public IP เป็น ของตัวเองส่งผลให้ Server ส่วนกลางไม่สามารถเข้าถึงเพื่อดึงข้อมูลได้ ปัญหานี้ส่งผลกระทบโดยตรงต่อการ บริหารจัดการ ระบบไอทีสมัยใหม่ไม่ว่าจะเป็นการ Monitor เครื่องคอมพิวเตอร์ของพนักงานที่ทำงานในรูปแบบ Work From Anywhere (WHA) หรืออุปกรณ์ IoT (Hrițcan & Balan, 2024a; Saputra et al., 2024) ที่กระจายอยู่ ตามพื้นที่ต่าง ๆ จากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมาวิธีแก้ปัญหา นี้มักมุ่งเน้นไปที่การใช้วิธีแบบดั้งเดิม คือใช้การ Push ข้อมูลผ่าน Pushgateway (Hellstern, 2022; Prometheus, n.d.a) ซึ่งแม้จะช่วยให้ส่งข้อมูลออกมาได้ แต่ก็แลก มาด้วยความเสี่ยงด้านความปลอดภัยจากการเปิดพอร์ตสาธารณะ เช่น Port 9091 เพื่อรับข้อมูลจากภายนอก ซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่การโจมตี (Attack Surface) ให้แก่ระบบ นอกจากนี้การใช้เทคโนโลยี Virtual Private Network (VPN) แบบดั้งเดิมเพื่อสร้างอุโมงค์ข้อมูล (Hrițcan & Balan, 2024a; Hrițcan et al., 2025) แม้จะช่วยแก้ปัญหาการเชื่อมต่อได้ แต่ก็มักพบปัญหาเรื่อง ความซับซ้อนในการบริหารจัดการ Routing และมีภาระของระบบ (Overhead) สูง ซึ่งส่งผลต่อความต่อเนื่อง ของข้อมูลในระบบเฝ้าระวัง ด้วยเหตุนี้งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการเติมเต็มช่องว่างทางวิจัย (Research Gap) โดยการศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพและความมั่นคงปลอดภัยของสถาปัตยกรรมแบบ Push Model แบบดั้งเดิมกับแนวทางการประยุกต์ใช้ Overlay Network บนพื้นฐานของแนวคิด Zero Trust Network Access (ZTNA) (Cloudflare, n.d.) โดยงานวิจัยนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้ Tailscale ร่วมกับ Microsoft Azure และ pfSence เพื่อออกแบบและพัฒนาสถาปัตยกรรมระบบเฝ้าระวังรูปแบบใหม่ที่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับการใช้งานในรูปแบบต่าง ๆ ภายใต้ข้อจำกัดของเครือข่าย CGNAT ทั้งนี้ผลงานวิจัยมีส่วนสนับสนุนทางวิชาการและการประยุกต์ใช้งาน (Research Contributions) ดังต่อไปนี้

1. ด้านวิศวกรรมประยุกต์ (Applied Engineering Contribution) นำเสนอแนวทางการพัฒนาระบบ เฝ้าระวังแบบผสมผสาน (Hybrid Monitoring Architecture) ที่สามารถใช้กลไกแบบ Pull Model ของ Prometheus ผ่านเครือข่าย CGNAT ได้โดยไม่จำเป็นต้องเปิดพอร์ตสาธารณะ

2. ด้านการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบ (Comparative Contribution) จัดทำข้อมูลเชิงประจักษ์ (Empirical Evidence) เพื่อเปรียบเทียบตัวชี้วัด ได้แก่ ภาระของระบบ (System Overhead) ความหน่วงในการแจ้งเตือน (Latency) และความเสถียรของข้อมูล (Data Stability) ระหว่างสองสถาปัตยกรรมเพื่อสนับสนุนการ ตัดสินใจเชิงเทคโนโลยีในองค์กร

3. ด้านทฤษฎี (Theoretical Contribution) ขยายขอบเขตแนวคิด Zero Trust Network Access (ZTNA) ไปสู่มิติของ Observability โดยแสดงให้เห็นว่าการเชื่อมต่อแบบอิงตัวตนของโหนด (Identity-Based Connectivity) สามารถลดความขัดแย้งระหว่างการเข้าถึงข้อมูล (Reachability) และความมั่นคงปลอดภัย (Security) ในเครือข่ายที่ไม่น่าเชื่อถือ (Untrusted Networks) ได้อย่างมีประสิทธิผล

2. วัตถุประสงค์งานวิจัย (Research Objectives)

1. เพื่อพัฒนาและออกแบบระบบเฝ้าระวังประสิทธิภาพและความปลอดภัยให้สามารถทำงานผ่านเครือข่ายที่มีข้อจำกัด CGNAT ได้จริง

2. เพื่อศึกษาและประเมินประสิทธิภาพสถาปัตยกรรมแบบ Pull Model ที่ทำงานผ่าน Overlay Network (Tailscale)

3. เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของสถาปัตยกรรม 2 รูปแบบ (Pull Model ผ่าน Tailscale กับ Push Model แบบดั้งเดิม) ใน 3 ด้านที่สำคัญ คือ ด้านประสิทธิภาพ ความหน่วงเวลาในการแจ้งเตือนและด้านความปลอดภัย

3. การทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)

3.1 แนวคิดและหลักการของระบบตรวจติดตาม (Monitoring Concepts)

การติดตามและเฝ้าระวัง (Monitoring) เป็นกระบวนการที่ครอบคลุมหลายมิติ ซึ่งเป็นปัจจัยหลักสำคัญของ การเฝ้าติดตามระบบไม่ว่าจะเป็นการติดตามสถานะ CPU, RAM, Disk I/O เท่านั้นแต่ในบริบทของความมั่นคง ปลอดภัยไซเบอร์สมัยใหม่ สกมช. (2025) ระบุว่าระบบเฝ้าระวังเป็นปราการด่านแรกในการระบุความผิดปกติ ก่อนที่ความเสียหายจะขยายตัวโดยเป้าหมายหลักจึงเป็นการเพิ่มความสามารถในการสังเกต (Observability) เพื่อลดระยะเวลาในการตรวจพบปัญหา (Mean Time to Detect- MTTD) และลดโอกาสเกิดการหยุดชะงักของระบบ (Downtime) ที่ส่งลกระทบโดยตรงต่อความต่อเนื่องทางธุรกิจ (Business Continuity)

กระบวนการของระบบตรวจติดตามสามารถแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอน ได้แก่ 1. การรวบรวมข้อมูล (Data Collection) 2. การจัดเก็บข้อมูล (Data Storage) 3. การแสดงผล (Visualization) 4. การวิเคราะห์ (Analysis) และ 5. การแจ้งเตือนและการกู้คืน (Alerting and Recovering)

3.1.1 ประเภทและวิธีการรวบรวมข้อมูล (Data Collection Types and Methods)

การรวบรวมข้อมูลเป็นขั้นตอนแรกและสำคัญที่สุด โดยจำแนกวิธีการและประเภทของข้อมูลได้ดังนี้

1. White-Box Monitoring คือการติดตามระบบจากภายใน โดยอาศัยข้อมูลเชิงลึกจากตัวระบบเอง เช่น ค่า Metrics จากเซิร์ฟเวอร์ Log จากแอปพลิเคชัน หรือข้อมูลจาก Database วิธีนี้ช่วยให้เห็นภาพการทำงานของระบบภายในและสามารถคาดการณ์ความผิดปกติของระบบได้ ซึ่ง Node Exporter ในงานวิจัยนี้เป็นเครื่องมือประเภท White-Box

2. Black-Box Monitoring คือการติดตามระบบจากภายนอก โดยไม่จำเป็นต้องรู้กระบวนการทำงานภายในส่วนใหญ่ใช้ตรวจสอบการเข้าถึงบริการยังสามารถเข้าถึงได้และตอบสนองได้เร็วเพียงใด วิธีนี้ง่ายต่อการติดตั้ง และมีความปลอดภัยสูงแต่ให้ข้อมูลที่ค้อนข้างจำกัดในการแก้ปัญหาซอฟต์แวร์ที่ใช้ติดตามระบบจากภายนอก เช่น Blackbox Exporter

3. Pull-Based Model เป็นรูปแบบที่ระบบ Monitoring ร้องขอและเข้าไปดึงข้อมูล Metrics จากเครื่องเป้าหมาย เป็นระยะ ๆ โดย Prometheus ใช้หลักการนี้เป็นหลัก

4.. Push-Based Model เป็นรูปแบบที่โหนดปลายทางเป็นฝ่ายส่งข้อมูลไปยังระบบ Monitoring กลาง ซึ่ง Prometheus รองรับการทำงานในลักษณะนี้ผ่านส่วนประกอบที่เรียกว่า Pushgateway เหมาะสำหรับงานที่ทำงาน ในระยะสั้น ๆ (Short-Lived Jobs)

5. Metrics ข้อมูลเชิงปริมาณที่ใช้วัดประสิทธิภาพของระบบมี 2 ประเภทหลักคือ

1) Counter ค่าที่นับเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เช่นจำนวนผู้เข้าชมเว็บไซต์

2) Gauge ค่า ณ จุดเวลาใดเวลาหนึ่ง เช่น อัตราการใช้งาน CPU

โดยข้อมูลประเภท Metrics ใช้พื้นที่จัดเก็บน้อยกว่าและง่ายต่อการนำมาคำนวณทางสถิติ

6. Logs ข้อมูลที่ระบุรายละเอียดเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในระบบ เป็นข้อมูลที่เจาะจงและแม่นยำ แต่ใช้ทรัพยากรในการจัดเก็บและประมวลผลสูงกว่า

3.1.2 การจัดเก็บและการแสดงผลข้อมูล (Data Storage and Visualization)

1. ข้อมูลที่รวบรวมมาจำเป็นต้องถูกจัดเก็บอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อง่ายต่อการสืบค้นและวิเคราะห์ โดยเฉพาะข้อมูลแบบอนุกรมเวลา (Time Series Data) ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีทั้งเวลาที่เก็บข้อมูลและค่าของข้อมูลนั้น ซึ่ง Prometheus ได้ออกแบบฐานข้อมูลนี้ไว้สำหรับการแสดงผลในระบบที่เรียกว่า Time Series Database (TSDB)

2. แดชบอร์ด (Dashboard) สื่อกลางหลักในการนำเสนอข้อมูล แดชบอร์ดที่ดีควรมีวัตถุประสงค์ที่ชัดเจน และแสดงข้อมูลที่จำเป็นทั้งหมดในหน้าเดียวเพื่อง่ายต่อการมอนิเตอร์ ซึ่งงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ Grafana เป็นเครื่องมือใน การสร้างแดชบอร์ดแสดงผลข้อมูลจาก Prometheus เนื่องจากมีความยืดหยุ่นและสวยงามกว่า UI พื้นฐานของ Prometheus เอง

(Research Article)

3.1.3 การวิเคราะห์เชิงความมั่นคงปลอดภัย (Security Analysis)

จากการรวบรวมข้อมูล จัดเก็บข้อมูล และการ แสดงผลต่อมาก็ถึงการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้รับมาว่าเกิดข้อสงสัยหรือผิดปกติของระบบไหม ซึ่งตัวเลขที่ได้เก็บรวบรวมมา แสดงจะเป็นตัวบ่งบอกถึงปัญหาที่จะเกิดและสามารถคาดการณ์ได้

3.1.4 การแจ้งเตือนและการกู้คืน (Alerting and Recovery)

การแจ้งเตือนมีไว้สำหรับระบบไม่สามารถฟื้นตัว หรือจัดการปัญหาได้ด้วยตัวเอง และต้องได้รับการแก้ไขจากผู้ดูแล ซึ่งการแจ้งเตือนที่ควรแจ้งเตือนตามอาการที่ผู้ใช้รับรู้ได้ ไม่ใช่อิงตามค่าจาก Metrics เพียงอย่างเดียวทำให้ช่วยลดการแจ้งเตือนที่ไม่จำเป็นได้ Prometheus มี Alertmanager ที่ออกแบบมาเพื่อจัดการการแจ้งเตือนที่สามารถส่งต่อไปยังช่องทางอื่น ๆ ได้ง่าย ในงานวิจัยนี้ได้ให้ Alertmanager ส่งการแจ้งเตือนไปที่ Telegram

อย่างไรก็ตามในสภาพแวดล้อมที่มีข้อจำกัดการเข้าถึง (Restricted Networks) อย่าง CGNAT การใช้สถาปัตยกรรมแบบดั้งเดิมมักประสบปัญหาเรื่องความสามารถในการเข้าถึง (Reachability) ซึ่งนำไปสู่การเลือกใช้ Push-based Model ผ่าน Pushgateway แต่ผลงานวิจัยของ Hrițcan & Balan (2024a) ชี้ให้เห็นว่าสถาปัตยกรรมแบบ Push อาจแลกมาด้วยความซับซ้อนในการจัดการความปลอดภัยและภาระงานของโหนดที่สูงขึ้น

3.2 สถาปัตยกรรมและองค์ประกอบของ Prometheus

Prometheus โอเพนซอร์สของการเฝ้าติดตามระบบที่ทรงพลังและเป็นที่นิยมเป็นอย่างมาก นอกจากการรวบรวมข้อมูลแบบเรียลไทม์ในแบบอนุกรมเวลา (Time-Series) เพื่อแสดงผลข้อมูลที่ได้มาแล้ว ยังสามารถกำหนดค่าให้แจ้งเตือนไปที่ช่องทางต่าง ๆ ได้อย่างง่ายดายและยังทำงานร่วมกับระบบอื่น ๆ ทั้งบน Cloud และ On-Premise ได้อย่างหลากหลายอีกด้วย ในหัวข้อนี้จะพูดถึงและทำความรู้จักกับ Prometheus ให้มากขึ้น เพื่อที่เข้าใจองค์ประกอบและการทำงานของ Prometheus

3.2.1 หลักการทำงานของ Prometheus

Prometheus ทางผู้พัฒนาได้พัฒนาให้ทำงานในด้าน Monitoring ได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วยการออก แบบโปรแกรมให้มีการเก็บรวบรวมข้อมูลในรูปของ Metrics แบบ Time-Series Data เช่น การเก็บ Metrics Information โดยตัว Metric นั้นจะมีการระบุ Timestamp ของ Record ข้อมูลไว้ด้วย ซึ่งมี Option ในการระบุแบบ Key-Value Pairs โดยเรียกว่า Label ตัว Data ให้กับ Metric ของ Prometheus (Prometheus, n.d.)

หลักการทำงานที่สำคัญของ Prometheus คือการทำงานในรูปแบบ Pull-Based Model เป็นการที่ Prometheus Server เข้าไปดึงข้อมูล (Scraping) จากเครื่องเป้าหมายเป็นระยะ ๆ ตามกำหนดเวลาของไฟล์ Config ที่ได้ตั้งค่าเอาไว้ ไฟล์ Config ที่ว่านี้เป็นไฟล์ YAML Format โดย Prometheus แบ่งหลักการทำงานหลัก ๆ ได้ดังนี้

1. การเก็บข้อมูล (Data Collection) หัวใจหลักของ Prometheus คือการ Scraping ข้อมูล Metrics จากเครื่องเป้าหมายที่กำหนดไว้โดยจะส่ง HTTP Request ไปยัง Endpoint ที่ชื่อว่า /metrics แต่ละ Target ตามเวลาที่ตั้งไว้

1.1 Targets คือ Service หรือ Application ที่เราต้องการจะ Monitor ซึ่งจะต้องมีส่วนที่เปิด Endpoint /metrics เพื่อให้ Prometheus เข้ามาดึงข้อมูลได้

1.2 Exporters กรณีที่บางระบบ เช่น Database, Hardware หรือ Message Queue) ไม่มี Endpoint /metrics มาให้เราสามารถใช้โปรแกรมตัวกลางที่เรียกว่า Exporter ได้ ซึ่ง Exporter จะทำหน้าที่ดึงข้อมูลจากระบบนั้น ๆ แล้วแปลงให้อยู่ในรูปแบบที่ Prometheus เข้าใจได้ก่อนจะเปิดเป็น /metrics Endpoint ให้ Prometheus เข้ามาดึงข้อมูลไปอีกที แม้สถาปัตยกรรมนี้จะช่วยให้เซิร์ฟเวอร์ควบคุมอัตราการดึงข้อมูลได้เอง (Load Control) แต่ในงานวิจัยที่ผ่านมายังพบว่าโครงสร้างแบบนี้จะล้มเหลวทันทีเมื่อโหนดปลายทางอยู่หลังระบบ NAT หรือ Firewall ที่ไม่อนุญาตให้มีการเชื่อมต่อขาเข้า (Inbound Connection) ซึ่งเป็นประเด็นหลักที่งานวิจัยนี้มุ่งเน้นแก้ไข

สถาปัตยกรรมแบบ Pull-Based Model มีข้อดีคือ Prometheus จะเป็นศูนย์กลางที่รู้ว่าต้องเก็บข้อมูลจาก ที่ใดบ้างและสามารถตรวจสอบได้ทันทีหากเป้าหมายไหนมีปัญหาและไม่สามารถดึงข้อมูลได้

(Research Article)

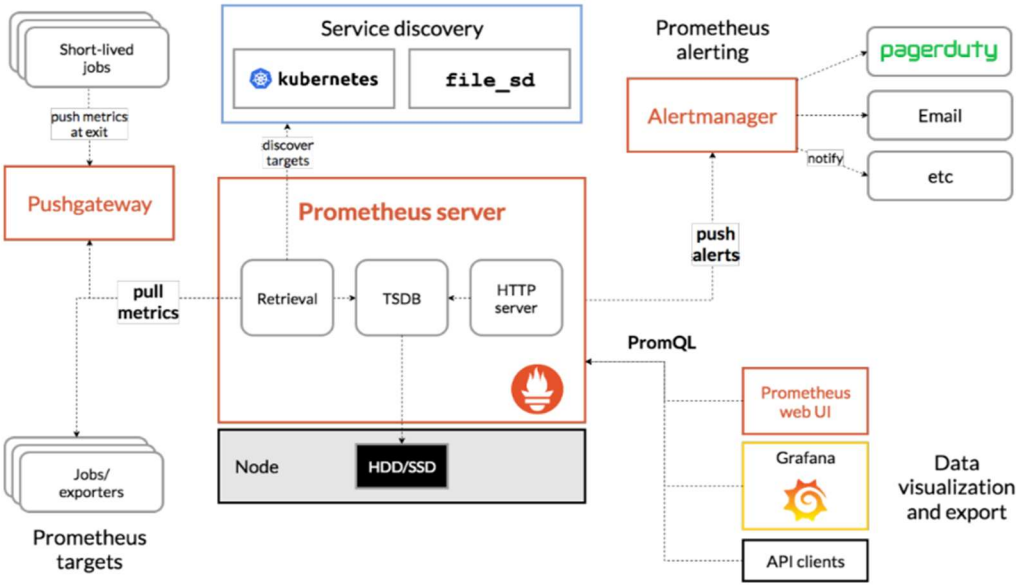


Figure 1. Prometheus Architecture
Source: Prometheus (n.d.b)

2. การค้นหาเป้าหมาย (Service Discovery) หากมีสภาพแวดล้อมที่ซับซ้อนอย่าง Microservices หรือ Kubernetes การกำหนด Targets แบบคงที่ (Static Configuration) อาจจะไม่สะดวกเพราะ Service ต่าง ๆ อาจจะมีการสร้าง ลบ หรือย้ายที่อยู่ตลอดเวลา Prometheus จึงมีความสามารถเรียกว่า Service Discovery เพื่อค้นหา Targets ที่จะทำการ Scraping ได้อย่างอัตโนมัติ เช่น

2.1 Kubernetes Service Discovery สามารถค้นหา Pods และ Service ทั้งหมดใน Cluster ของ Kubernetes ได้เอง

2.2 Consul Service Discovery ใช้กับระบบที่ลงทะเบียน Service ไว้กับ Consul

2.3 File-Based Service Discovery อ่านข้อมูล Targets จากไฟล์ JSON หรือ YAML ซึ่งสามารถอัปเดตได้ตลอดเวลา

3. การจัดเก็บข้อมูล (Storage) ข้อมูล Metrics ที่ถูกดึงมาจะถูกจัดเก็บลงในฐานข้อมูลที่ออกแบบมาเพื่อข้อมูลแบบ Time Series โดยเฉพาะเรียกว่า Time Series Database (TSDB)

3.1 Data Model ข้อมูลแต่ละชุดจะถูกระบุด้วย

1) Metric Name ชื่อของค่าชี้วัด เช่น http_requests_total (จำนวน Request ทั้งหมด)

2) Label Key-Value Pairs ที่ใช้ระบุคุณลักษณะของ Metric นั้น ๆ เช่น method=”POST”, endpoint=”/api/users” ทำให้เราสามารถกรองและจัดกลุ่มข้อมูลได้อย่างยืดหยุ่นการเปลี่ยนแปลงค่าของ Label ใด ๆ จะถือว่าเป็น Time Series ใหม่ทันที

3.2 Sample ข้อมูลแต่ละจุดใน Time Series ประกอบด้วย

1) float64 value ค่าของ Metric

2) millisecond-precision timestamp เวลาที่เก็บข้อมูลนั้น TSDB ของ Prometheus ถูกปรับแต่งมาให้จัดเก็บและสืบค้นข้อมูลประเภทนี้ได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูง

4. การสืบค้นข้อมูล (Querying) ด้วย PromQL เมื่อเก็บข้อมูลได้แล้ว เราสามารถสืบค้นและนำข้อมูลมาวิเคราะห์ได้โดยใช้ภาษาที่มีชื่อว่า PromQL (Prometheus Query Language) ซึ่งเป็นภาษาที่ถูกออกแบบมาเพื่อทำงานกับ Time Series Data โดยเฉพาะเราสามารถใช้ PromQL ดังนี้

4.1 เลือก (Select) Time Series ที่ต้องการโดยอ้างอิงจาก Metric name และ Labels

4.2 กรอง (Filter) ข้อมูลตามเงื่อนไขต่าง ๆ

4.3 รวม (Aggregate) ข้อมูล เช่น หาผลรวม (sum), ค่าเฉลี่ย (avg), ค่าสูงสุด (max)

4.4 คำนวณ อัตราการเปลี่ยนแปลง (rate), การคาดการณ์ (predict) และฟังก์ชันอื่น ๆ

5. การแจ้งเตือน (Alerting) นอกจากนั้น Prometheus ยังสามารถกำหนดเงื่อนไขการแจ้งเตือน (Alerting Rules) ได้ด้วย โดยการเขียน Rules ด้วย PromQL

5.1 Prometheus Server จะทำการประมวลผล Rules ที่เรากำหนดไว้ในช่วงเวลาที่กำหนด

5.2 เมื่อเงื่อนไขตรงกับ Rules ที่กำหนด Prometheus จะส่งแจ้งเตือนไปยังอีกส่วนประกอบที่เรียกว่า Alertmanager ซึ่งทำหน้าที่รับ Alert จาก Prometheus Server แล้วจัดการสิ่งต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1) Deduplication รวมการแจ้งเตือนที่ซ้ำซ้อนกันเป็นอันเดียว

2) Grouping จัดกลุ่มการแจ้งเตือนที่เกี่ยวข้องกัน เช่น ปัญหาที่เกิดจาก Cluster เดียวกัน

3) Routing ส่งการแจ้งเตือนไปยังช่องทางที่ถูกต้อง เช่น E-Mail, Slack, Telegram

4) Silencing & Inhibition สามารถสั่งปิดการแจ้งเตือนชั่วคราว หรือจัดลำดับการแจ้งเตือนที่สำคัญให้แจ้งเตือนก่อนได้

6. การแสดงผล (Visualization) Prometheus มี Web UI สำหรับ Query และดูกราฟแบบง่าย ๆ แต่โดยทั่วไปแล้วนิยมใช้ร่วมกับ Dashboard ตัวอื่น ๆ โดยเฉพาะ Grafana ซึ่งสามารถเชื่อมต่อกับ Prometheus เป็น Data Source เพื่อสร้าง Dashboard ที่สวยงามและตอบโต้ได้

3.3 ข้อจำกัดของระบบเครือข่ายแบบ Carrier-Grade NAT (CGNAT)

NAT (Network Address Translation) คือเทคโนโลยีที่ใช้แปลง IP Address ของเครือข่ายภายใน (Private IP) ให้เป็น IP Address ของเครือข่ายภายนอก (Public IP) เพื่อให้คอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ในเครือข่ายสามารถเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตภายนอกได้ด้วย Public IP เพียงไอพีเดียว

NAT มีหลายรูปแบบการทำงาน โดยหลัก ๆ จะแบ่งได้ดังนี้

1. Static NAT เป็นการจับคู่ Public IP กับ Private IP หนึ่งต่อหนึ่งอย่างถาวรมักใช้กับเซิร์ฟเวอร์ที่ต้องการให้คน ภายนอกสามารถเข้าถึงได้ตลอดเวลา เช่น Web Server หรือ Mail Server เป็นต้น

2. Dynamic NAT เป็นการจับคู่ Private IP กับ Public IP แบบ หนึ่งต่อหนึ่งเช่นกัน แต่ Public IP จะถูกดึงมาจาก Pool ที่เตรียมไว้เมื่อมีการใช้งานก็จะถูกแจกจากไว้ชั่วคราว เมื่อเลิกใช้งานก็จะถูกคืนกลับไปยัง Pool เป็น Public IP แบบชั่วคราว

3. Port Address Translation (PAT) หรือ NAT Overload เป็นรูปแบบของ NAT ที่นิยมมากที่สุดในปัจจุบัน ทั้งในบ้านและองค์กรทั่วไปเป็นรูปแบบการแปลง Private IP หลาย ๆ IP ให้ไปใช้ Public IP เพียงไอพีเดียว โดยจะใช้หมายเลขพอร์ต (Port Number) ที่แตกต่างกันในการแยกว่าข้อมูลชุดไหนเป็นของคอมพิวเตอร์เครื่องใดทำให้ประหยัด Public IP ได้มากที่สุด

Carrier-Grade NAT (CGNAT) คือการทำ NAT ในระดับผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ต (ISP) หรือที่เรียกว่า Large-Scale NAT (LSN) ด้วยเหตุผลหลักเพราะ Public IPv4 ของทั่วโลกไม่เพียงพอต่อจำนวนผู้ใช้ การทำงานของ Carrier-Grade NAT (CGNAT) เป็นการที่ผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ต (ISP) นำหลักการ PAT มาประยุกต์ใช้ใน Scale ขนาดใหญ่โดยให้ลูกค้าหลาย ๆ บ้านหรือหลาย ๆ องค์กรมาแชร์ Public IP Address เดียวกันจาก Pool ของ ISP ที่มีเตรียมไว้ ผลที่เกิดขึ้นของการทำงานแบบ CGNAT นี้แทนที่ Router ที่บ้านหรือองค์กรจะได้รับ Public IP โดยตรงกลับได้เป็น Private IP ที่อยู่ในเครือข่ายของ ISP จากนั้น IP นี้จะถูกนำไปทำ NAT อีกชั้นที่ฝั่ง ISP เพื่อแปลงเป็น Public IP จริง ๆ ทำให้เกิด NAT ซ้อนกัน 2 ชั้น

ด้วยเหตุนี้จึงเกิดเป็นข้อจำกัดและแนวทางการวิจัยของงานวิจัยนี้ เพราะการทำงานที่เป็นมาตราฐานของ Prometheus คือ Pull-based Model ทำงานเชื่อมต่อไปหาเครื่องเป้าหมายไม่ได้โดยตรง ซึ่งงานวิจัยนี้ได้แก้ไขปัญหาด้วยการใช้งานเครือข่ายเสมือนซ้อนทับด้วย Tailscale

(Research Article)

3.4 ทางออกเชิงสถาปัตยกรรม Overlay Network และ Zero Trust

จากข้อจำกัดของงานวิจัยที่มีจึงทำให้งานวิจัยนี้หาวิธีและศึกษาจากงานวิจัยที่เกี่ยวกับเรื่องดังกล่าว เพื่อหาทางออกให้งานวิจัยด้วยการนำสถาปัตยกรรมแบบ Overlay Network เข้ามาใช้ และ Zero Trust เพื่อให้สถาปัตยกรรมที่งานวิจัยนี้ได้พัฒนาออกมามีประสิทธิภาพใช้งานได้และมีความปลอดภัย

1. เครือข่ายส่วนตัวแบบซ้อนทับ (Overlay Network) คือเครือข่ายเสมือน (Virtual Network) ที่ถูกสร้างขึ้นซ้อนทับเครือข่ายแบบกายภาพ (Physical Network) ที่เชื่อมต่ออยู่เดิม กล่าวคือในโลกของคอมพิวเตอร์ Underlay Network ก็คืออุปกรณ์เน็ตเวิร์คจริง ๆ เช่น สายเคเบิล สวิตช์ เราเตอร์ ที่เชื่อมต่อกัน ส่วน Overlay Network คือ เครือข่ายเชิงตรรกะ (Logical Network) ที่สร้างขึ้นโดยใช้ซอฟต์แวร์ เพื่อเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ เข้าด้วยกันเป็น เครือข่ายเสมือนโดยไม่จำเป็นต้องสนใจว่าอุปกรณ์เหล่านั้นจะเชื่อมต่อกันอย่างไรในทางกายภาพ ขอแค่ให้สามารถส่งข้อมูล หากันผ่านเครือข่าย Underlay ได้ก็พอ

2. WireGuard คือซอฟต์แวร์ VPN (Virtual Private Network) แบบโอเพนซอร์ส ถูกออกแบบมาอย่างเรียบง่าย รวดเร็วและมีความปลอดภัยสูง ซึ่งได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางและถูกรวมเข้าเป็นส่วนหนึ่งของ Linux Kernel เป็นการการันตีถึงประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือ

หลักการทำงานของ WireGuard มีแนวคิดที่ต่างจาก VPN แบบดั้งเดิมอย่าง OpenVPN หรือ IPsec อย่างสิ้นเชิง โดยเน้นความเรียบง่ายและใช้ เทคโนโลยีสมัยใหม่ หลักการทำงานสามารถแบ่งออกเป็นข้อ ๆ ได้ดังนี้

1) Public Key Cryptography เป็นหัวใจหลัก แทนที่จะใช้ระบบ Username/Password หรือ Certificate ที่ซับซ้อน WireGuard ใช้วิธีการคล้ายกับ SSH (Secure Shell) ในการยืนยันตัวตน

1.1) WireGuard จะไม่เรียกว่า Client หรือ Server แต่จะเรียกว่า Peer ซึ่งเท่าเทียมกัน

1.2) แต่ละ Peer จะสร้าง Key Pair ของตัวเอง ซึ่งประกอบด้วย Private Key กุญแจส่วนตัวที่ต้องเก็บไว้บน อุปกรณ์ของตัวเองและ Public Key กุญแจที่ใช้แลกเปลี่ยนหรือแจกจ่ายให้กับ Peer อื่น ๆ

การเชื่อมต่อจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อ Peer สองฝั่งแลกเปลี่ยน Public Key กันและตั้งค่าในไฟล์ configuration ว่า Public Key นี้ได้รับอนุญาตให้เชื่อมต่อเข้ามาได้

2) สร้างอุโมงค์ (Tunnel) ที่เรียบง่ายเมื่อ Peer ทั้งสองฝั่งมี Public Key ของอีกฝ่ายแล้ว WireGuard จะสร้าง อินเทอร์เฟซเครือข่ายเสมือน (Virtual Network Interface) ขึ้นมาบนอุปกรณ์ของแต่ละฝั่งข้อมูลทั้งหมดที่จะส่งผ่าน VPN จะถูกส่งเข้ามาที่อินเทอร์เฟซเสมือนนี้ก่อน

3) การห่อหุ้มข้อมูลและเข้ารหัสข้อมูล (Encapsulation) เมื่อข้อมูล (IP Packet) วิ่งเข้ามาในอุโมงค์ WireGuard จะทำกระบวนการต่อไปนี้

3.1) เข้ารหัส (Encrypt) ใช้การเข้ารหัสที่รวดเร็วและทันสมัย เช่น ChaCha20Poly1305 เพื่อเข้ารหัสข้อมูล ทั้งหมด

3.2) ห่อหุ้ม (Encapsulate) นำข้อมูลที่เข้ารหัสแล้วไปใส่ไว้ใน UDP Packet เหตุที่เลือกใช้ UDP แทน TCP เพราะ UDP มีความซับซ้อนน้อยกว่าและเร็วกว่ามาก เหมาะสำหรับการส่งข้อมูลแบบ Real-Time อย่าง VPN

4) ส่งข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ต UDP Packet ที่ห่อหุ้มข้อมูลที่เข้ารหัสไว้ จะถูกส่งผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตปกติไปยัง IP Address และ Port ของ Peer ปลายทางที่ระบุไว้ในค่าคอนฟิก

5) ถอดรหัสและส่งต่อไปยังปลายทาง เมื่อ Peer ปลายทางได้รับ UDP Packet แล้ว

5.1) ตรวจสอบและถอดรหัส (Decrypt) ใช้ Private Key ของตัวเองและ Public Key ของผู้ส่งเพื่อถอดรหัสข้อมูลที่อยู่ข้างใน

5.2) ถอดข้อมูลที่ถูกห่อหุ้ม (Decapsulate) เพื่อนำ IP Packet เดิมที่อยู่ข้างในออกมา

5.3) ส่งต่อ IP Packet นั้นต่อไปยังปลายทางที่แท้จริงในเครือข่ายภายใน

กระบวนการที่กล่าวไปนี้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและใช้ทรัพยากรเครื่องน้อยมาก ทำให้ WireGuard มีประสิทธิภาพสูงและเป็นที่นิยมกว่า VPN แบบดั้งเดิม

3. Tailscale คือบริการที่สร้างเครือข่ายส่วนตัวเสมือน (Virtual Private Network) หรือที่เรียกว่า Overlay Network ขึ้นมาได้อย่างง่ายดาย เพื่อเชื่อมต่ออุปกรณ์ทุกเครื่อง เช่น คอมพิวเตอร์ โทรศัพท์ เซิร์ฟเวอร์ เข้าด้วยกันอย่าง

ปลอดภัย ไม่ว่าอุปกรณ์เหล่านี้จะอยู่ที่ไหนในโลกก็ตาม เปรียบเสมือนการสร้างอินเทอร์เน็ตส่วนตัวขึ้นมาให้ทุกเครื่องมองเห็นและสื่อสารกันได้โดยตรงเหมือนอยู่ในวง LAN เดียวกันโดยไม่ต้องตั้งค่า Firewall หรือ Router ที่ซับซ้อนเลย Hrițcan & Balan (2024b) ได้นำ Tailscale มาใช้เพื่อเพิ่มความมั่นคงลอดภัยในสภาพแวดล้อม IoT ได้สำเร็จ อย่างไรก็ตามงานวิจัยดังกล่าวยังไม่ได้มุ่งเน้นไปที่การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงประจักษ์ (Empirical Comparison) ระหว่าง Pull Model ผ่าน ZTNA และ Push Model แบบดั้งเดิม โดยเฉพาะในมิติของความหน่วง (Latency) และภาระงานของระบบ (System Overhead) ภายใต้เครือข่าย CGNAT ที่มีการรับส่งข้อมูล Metrics อย่างต่อเนื่อง

4. กรอบแนวคิดงานวิจัย (Conceptual Framework)

4.1 การออกแบบสถาปัตยกรรมโดยรวม (Overall System Architecture)

ผู้วิจัยได้จำลองสถาปัตยกรรมออกเป็น 2 รูป แบบหลัก เพื่อทำการทดสอบเปรียบเทียบ ได้แก่

1. สถาปัตยกรรมแบบ Pull Model ผ่าน Tailscale ใช้ Prometheus Server บน Cloud (Azure) เชื่อมต่อกับเครื่อง Client ผ่านอุโมงค์ VPN[2, 3] ของ Tailscale (WireGuard Protocol) เพื่อดึงข้อมูลหรือ Scrape โดยตรงเสมือนอยู่ ในวง LANเดียวกัน

2. สถาปัตยกรรมแบบ Push Model เครื่อง Client จะรัน Script เพื่อส่งหรือ Push ข้อมูลออกไปยัง Pushgateway ที่ตั้งอยู่บน Cloud ผ่านอินเทอร์เน็ตสาธารณะซึ่งจำเป็นต้องมีการเปิด Inbound Port ที่ฝั่ง Cloud Server เพื่อรับข้อมูล

4.2 การเตรียมสภาพแวดล้อมการทดลอง

การทดสอบดำเนินการโดยใช้เครื่องมือและสภาพแวดล้อมดังนี้

1. Server Side ติดตั้งบน Microsoft Azure Virtual Machine รันระบบปฏิบัติการ Ubuntu Server 24.04 LTS ติดตั้ง Prometheus, Grafana, Alertmanager และ Pushgateway

2. Client Side จำลองโหนดปลายทางด้วย Virtual Machine ที่ใช้ vRouter (pfSense) เพื่อจำลองสภาพแวดล้อมแบบ CGNAT

3. Software อื่น ๆ ที่ใช้ในการทดลอง ใช้ Node Exporter ในการเก็บข้อมูล Metric และใช้ Tailscale ในการสร้าง Overlay Network

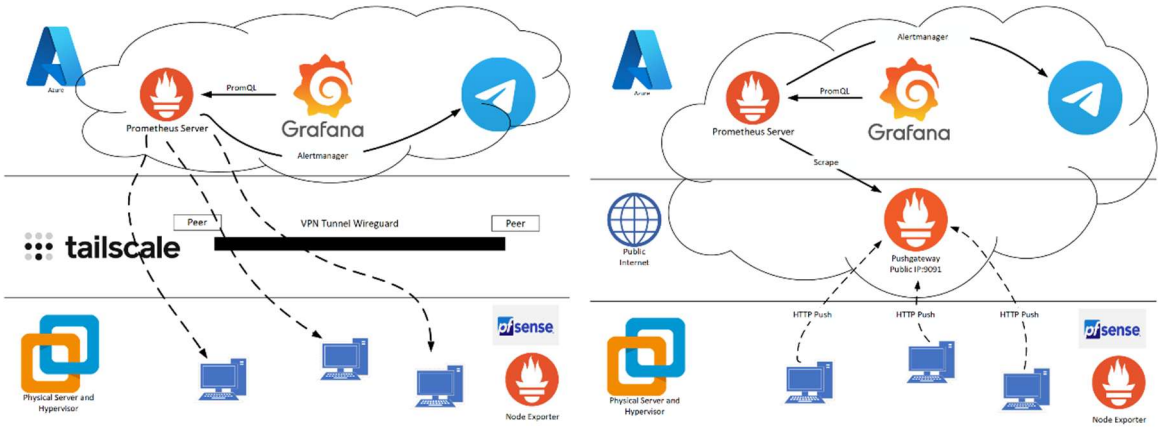


Figure 1. Architecture Comparison Pull Model via Tailscale vs. Push Model

ข้อกำหนดด้านฮาร์ดแวร์และโครงสร้างพื้นฐาน ดัง Table 1. และ ข้อกำหนดซอฟต์แวร์ ดัง Table 2.

Table 1. Hardware and Infrastructure Details

VM Name	IP	Tailscale IP	Description
Main-Server	192.168.1.140	100.87.179.19	Intel Xeon E5 2690, Ram128GB, Storage 1TB
pfSense	192.168.10.1	-	1vCPU, Ram4GB, Storage 50GB
Monitoring-Server Azure	20.6.xx.1xx	100.88.117.65	1vCPU, Ram1GB, Storage 30GB
Tailscale1	192.168.10.113	100.127.147.51	1vCPU, Ram2GB, Storage 20GB
Tailscale2	192.168.10.114	100.116.144.14	1vCPU, Ram2GB, Storage 20GB
Tailscale3	192.168.10.115	100.100.234.23	1vCPU, Ram2GB, Storage 20GB
Pushgateway1	192.168.10.110	-	1vCPU, Ram2GB, Storage 20GB
Pushgateway2	192.168.10.111	-	1vCPU, Ram2GB, Storage 20GB
Pushgateway3	192.168.10.112	-	1vCPU, Ram2GB, Storage 20GB

Table 2. Software Details

Software	Version	Description
Ubuntu Server	22.04 LTS	Primary Operating System (ระบบปฏิบัติการหลัก)
Prometheus	2.53.1	Metrics Collection and Storage System (ระบบรวบรวมและจัดเก็บเมตริก)
Grafana	12.0.2	Data Visualization System (ระบบแสดงผลข้อมูล)
Node Exporter	1.9.1	Metrics Collection Agent (Agent รวบรวมเมตริก)
Pushgateway	1.11.1	Gateway for Receiving Push-Based Data (Gateway สำหรับรับข้อมูลแบบ Push)
Tailscale	1.88.3	Overlay Network Creation (สร้างเครือข่าย Overlay Network)
pfSense	2.7.0	Virtual Router and Firewall (Router และ Firewall เสมือน)

5. วิธีดำเนินงานวิจัย (Research Methodology)

5.1 การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล

การวัดผลแบ่งออกเป็น 3 มิติของข้อมูล ได้แก่

1. ภาระของระบบ (System Overhead) วัดการใช้ทรัพยากรเครื่อง CPU, RAM, DISK I/O และ NETWORK I/O ของเครื่อง Client โดยใช้คำสั่ง SAR (System Activity Report) เพื่อบันทึกผล ในสถานะ Baseline ของเครื่องเซิร์ฟเวอร์และโหนดปลายทางที่ทำงานในสถานะปกติหลังจากตั้งค่าและติดตั้ง Node Exporter เรียบร้อยและปิดการใช้งาน Tailscale และ Push Script ไว้เพื่อเปรียบเทียบกับ ขณะใช้งาน Pull และ Push Model โดยเก็บข้อมูลต่อเนื่องทั้งหมด 3 สถานะ สถานะละ 4 ชั่วโมง โดยเก็บทั้งเครื่องเซิร์ฟเวอร์และโหนดปลายทางทั้งหมดรวมเป็น 24 ชั่วโมง

2. ความหน่วงเวลาของการแจ้งเตือน (Alerting Latency) โดยการจับเวลาตั้งแต่ระบบเริ่มจำลองสถานการณ์ผิด ปกติ (T1) จนถึงเวลาที่ Alertmanager ตรวจพบ (T2) และเวลาที่ Telegram ได้รับการแจ้งเตือน (T3) เพื่อหา Total Latency สำหรับคำสั่งที่ใช้จำลองสถานการณ์ในการทดสอบการแจ้งเตือนโดย ใช้คำสั่ง stress-ng เพื่อทดสอบด้าน CPU กับ RAM ส่วน Disk จะจำลองโดยการสร้างไฟล์ขนาดใหญ่ และ Network จะใช้คำสั่ง iperf3 ในการทดสอบ โดยการ

ทดสอบความหน่วงเวลาของการแจ้งเตือนนี้ไม่ได้ปรับค่าใด ๆ เพิ่มเติม (Default Configuration) ทำให้เวลาที่ Notification Latency (T3) ตรวจพบจะเป็นเวลาที่เข้าเงื่อนไขของ Alert ที่ 3 นาทีหรือ 186 วินาที เมื่อได้ผลลัพธ์ ทั้งหมดแล้วจะนำมาหาค่าเฉลี่ย (Average) และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) การแจ้งเตือน จะจำลองสถานการณ์ทั้งหมด 4 ด้านคือ CPU, RAM, DISK และ NETWORK แบ่งออกเป็นจำลองฝั่ง Pull Model ด้านละ 10 ครั้งและ Push Model ด้านละ 10 ครั้งรวมเป็นทั้งหมด 80 ครั้งการแจ้งเตือน

3. ประเมินด้านความปลอดภัยทางไซเบอร์ วิเคราะห์ประเมินช่องโหว่ด้านความปลอดภัยและความน่าเชื่อถือของการส่งข้อมูลโดยด้านความปลอดภัยของระบบจะวิเคราะห์ไปถึงกระประยุกต์ใช้ Zero Trust Network Access (ZTNA) การยืนยันตัวตน (Authentication) การเข้ารหัสข้อมูล (Data Encryption) ความเสี่ยงจากการพึ่งพา(Third-Party Risk) และความเสี่ยงจากการลุกลามภายใน (Lateral Movement Risk) เป็นต้น โดยใช้เว็บไซต์ที่ให้บริการแสกนพอร์ต (whatismyip.com) และวิเคราะห์เชิงคุณภาพ Qualitative Analysis ตามทฤษฎี (ZTNA)

5.2 Process กระบวนทำงานของ 2 สถาปัตยกรรม

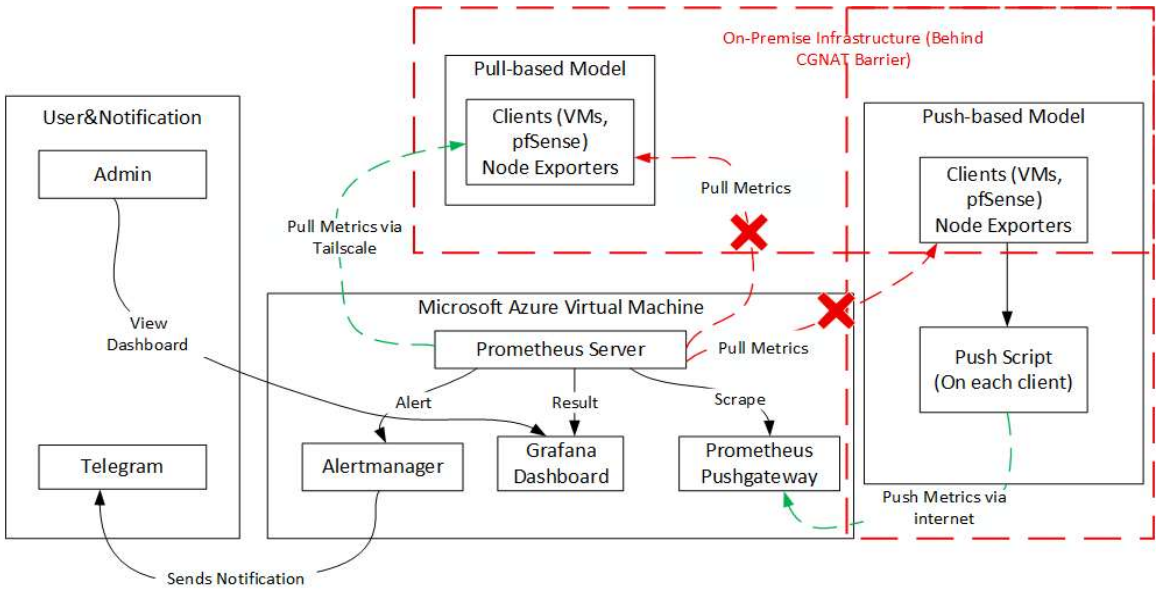


Figure 3. Data Flow Diagram

1. กระบวนการทำงานของสถาปัตยกรรมแบบดึงข้อมูล (Pull-based Model)

สถาปัตยกรรมนี้มีลักษณะการทำงานที่มี Prometheus Server เป็นศูนย์กลางคอยควบคุมและเริ่มการทำงานทั้งหมด ดังขั้นตอนต่อไปนี้

1.1 กระบวนการเริ่มต้น Prometheus Server ที่ทำงานอยู่บน Azure ที่ได้ทำการ Config เอาไว้ว่าเมื่อถึงเวลาที่กำหนดไว้ (Scrape Interval) Prometheus จะส่งคำขอข้อมูล (Pull Request) ไปยังเครื่องเป้าหมายที่ต้องการติดตาม

1.2 การเชื่อมต่อ คำขอดังกล่าวจะถูกส่งผ่านเครือข่ายส่วนตัวของ Tailscale ที่ทำหน้าที่เป็นอุโมงค์ ในการสื่อสารที่ปลอดภัยและเข้ารหัสข้อมูล (Encrypted Tunnel) ทำให้สามารถเชื่อมต่อกับเครื่องเป้าหมายได้โดยตรง แม้ว่าเครื่องนั้นจะทำงานอยู่หลัง pfSense หรือข้อจำกัดของ CGNAT ก็ตาม

1.3 การตอบสนอง เมื่อ Node Exporter บนเครื่องเป้าหมายได้รับคำขอ จะทำการรวบรวมข้อมูลเมตริกสถานะล่าสุดของเครื่อง เช่น CPU Ram แล้วส่งผลกลับ (Result) ไปยัง Prometheus Server ผ่านอุโมงค์ของ Tailscale

1.4 การประมวลผลและการแสดงผล เมื่อ Prometheus Server ได้รับข้อมูลเมตริกแล้ว จะทำการจัดเก็บลงฐานข้อมูลอนุกรมเวลา (Time-Series Database) และ Grafana Dashboard จะดึงข้อมูล (PromQL) จาก Prometheus Server นำไปแสดงผลเป็นกราฟและแผงควบคุมที่ Admin สามารถเข้ามาตรวจสอบได้

1.5 การแจ้งเตือน หากข้อมูลเมตริกที่ได้รับมีค่าผิดปกติหรือไม่เป็นไปตามกฎที่ตั้งไว้ Alertmanager จะทำหน้า ที่ส่งการแจ้งเตือน (Send Notification) ไปยังช่องทางที่กำหนดไว้ เช่น Telegram เพื่อให้ Admin รับทราบถึงปัญหา

2. กระบวนการทำงานของสถาปัตยกรรมแบบส่งข้อมูล (Push-Based Model)

สถาปัตยกรรมนี้มีลักษณะการทำงานที่เริ่มจากเครื่องเป้าหมาย โดยแต่ละเครื่องเป้าหมายมีหน้าที่ในการส่งข้อมูล ของตนเองไปที่ตัวกลางที่กำหนด Pushgateway ดังขั้นตอนต่อไปนี้

2.1 กระบวนการเริ่มต้น เครื่องเป้าหมายแต่ละเครื่อง เมื่อถึงรอบเวลากำหนดของ Push Script ที่สร้างไว้จะทำงานอัตโนมัติ

2.2 การรวบรวมและส่งข้อมูล Push Script จะทำการดึงข้อมูลเมตริกล่าสุดจาก Node Exporter ที่ทำงานอยู่ บนเครื่องของตนเอง จากนั้นจะทำการ Push เมตริก ข้อมูลนั้นผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ไปยัง Prometheus Pushgateway

2.3 ตัวกลางการรับข้อมูล Prometheus Pushgateway ซึ่งทำงานอยู่บน Azure จะทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการรับข้อมูลเมตริกล่าสุดที่เครื่องเป้าหมายแต่ละเครื่องส่งมา

2.4 การรวบรวมข้อมูล Prometheus Server จะไม่เชื่อมต่อกับเครื่องเป้าหมายโดยตรง แต่จะทำการดึงข้อมูล (Scrape) จาก Pushgateway ซึ่งอยู่ในเครือข่ายเดียวกัน เพื่อรวบรวมข้อมูลมตริกทั้งหมดมาไว้ที่ตัวกลาง

2.5 การประมวลผล แสดงผล และการแจ้งเตือนเมื่อ Prometheus Server ได้รับข้อมูลจาก Pushgateway กระบวนการที่เหลือก็จะเหมือนกับสถาปัตยกรรมแบบ Pull-Based Model ทุกประการ คือ ข้อมูลจะถูกจัดเก็บใน (TSDB) และนำไปแสดงผลบน Grafana Dashboard หากเกิดปัญหา Alertmanager ก็จะส่งแจ้งเตือนไปยัง Telegram

6. ผลการวิจัย (Results)

6.1 ผลการพัฒนาและออกแบบระบบเฝ้าระวังประสิทธิภาพและความปลอดภัยให้สามารถทำงานผ่านเครือข่ายที่มีข้อจำกัด CGNAT ได้จริง

จากการตั้งค่าระบบพบว่า Prometheus Server สามารถรวบรวมข้อมูลเมตริกจากเครื่องเป้าหมายทั้งสองรูปแบบได้สำเร็จและสามารถนำข้อมูลดังกล่าวมาแสดงผลบน Grafana Dashboard ได้โดยรายละเอียดขั้นพื้นฐานของแต่ละ เครื่องเป้าหมาย Tailscale ที่ได้มอนิเตอร์ไว้ โดยสามารถเลือกดูรายละเอียดลึก ๆ ของแต่ละเครื่องได้ด้วยการเลือกชื่อเครื่องหรือ Instance เป้าหมาย

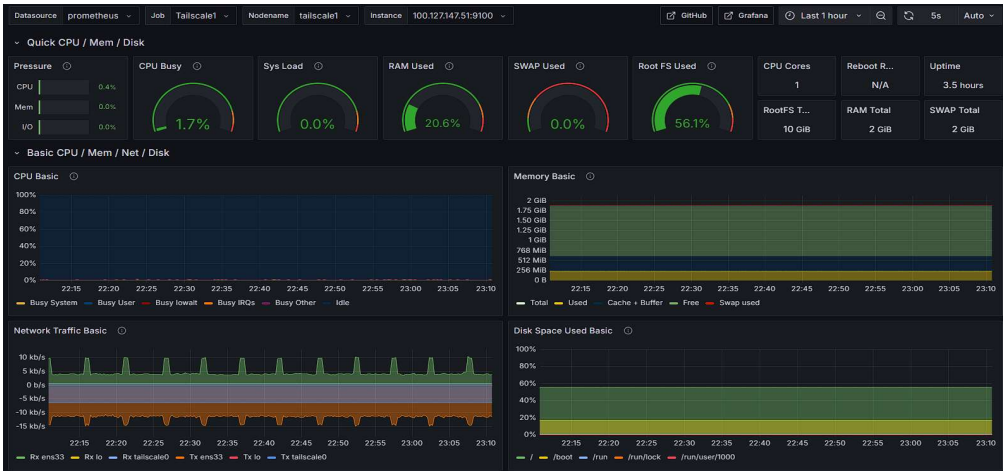


Figure 4. CPU, RAM, Memory, Network Traffic, and Disk Space Details for Pushgateway Target

6.2 ผลการศึกษาและประเมินประสิทธิภาพสถาปัตยกรรมแบบ Pull Model ที่ทำงานผ่าน Overlay Network (Tailscale)

ผลการวิเคราะห์ภาระของระบบ (System Overhead) จากการเก็บข้อมูลด้วยเครื่องมือ SAR พบว่า สถาปัตยกรรมทั้ง 2 แบบสร้างภาระให้กับเครื่องแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดย Push Model ใช้ทรัพยากรน้อยกว่ามาก เนื่องจากเป็นการรัน Script ส่งข้อมูลเป็นรอบ ๆ ไม่มี Background Service ที่ทำงานตลอดเวลาเหมือน Tailscale ของฝั่ง Pull Model ผลเปรียบเทียบทรัพยากรตาม Table 3.

Table 3. Comparison of Client Net Overhead relative to Baseline

ทรัพยากร(Metric)	Pull Model (Overhead)	Push Model (Overhead)
CPU	2.31%	0.48%
RAM	9,348 KB	5,031 KB
NET (Transmit)	36.54 KB/s	2.64 KB/s
DISK (Read)	-17.96 KB/s	45.58 KB/s
DISK (Write)	-113.70 KB/s	61.11 KB/s

จากผลการทดลองเห็นว่า Push Model มีภาระงานที่เพิ่มขึ้นจาก Baseline น้อยกว่า Pull Model ทั้งด้าน CPU, RAM และ Network (Transmit) ส่วนสำหรับ DISK เนื่องจากการใช้คำสั่ง sar -A -o baseline.dat 1 14400 เครื่องเลยบันทึกค่าลง Disk ทั้งหมดทุกวินาที จึงทำให้ค่า Disk มีความผันผวนสูงอีกข้อสังเกต Network (Transmit) Pull Model มีภาระด้านนี้สูงกว่า Push Model อย่างมีนัยสำคัญ

Table 4. Comparison of Server Net Overhead

Resources (Metric)	Pull Model (Overhead)	Push Model (Overhead)
CPU	3.11%	3.12%
RAM	436,230 KB	424,404 KB
NET (Transmit)	50.11 KB/s	67.17 KB/s
NET (Receive)	6.38 KB/s	28.89 KB/s

ข้อสังเกตุภาระงาน CPU RAM บน Server ใกล้ เคียงกันแต่พฤติกรรม Network ตรงข้ามกัน โดย ทาง Pull Model มีภาระของ Network ด้าน TX มากกว่าส่วน Push Model ภาระของ Network ด้าน RX มากกว่า

6.3 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของสถาปัตยกรรม 2 รูปแบบ (Pull Model ผ่าน Tailscale กับ Push Model แบบดั้งเดิม) ใน 3 ด้านที่สำคัญ คือ ด้านประสิทธิภาพ ความหน่วงเวลาในการแจ้งเตือนและด้านความปลอดภัย

ผลการทดสอบความหน่วงเวลาของการแจ้งเตือน (Alerting Latency) ในด้านความเร็วในการตอบสนอง Pull Model ทำได้ดีกว่าอย่างเห็นได้ชัดในทุกการทดสอบ เช่น ในกรณีทดสอบ Disk Usage พบว่า Pull Model ใช้เวลาแจ้งเตือน รวมเฉลี่ย 199.7 วินาที ขณะที่ Push Model ใช้เวลา 217.5 วินาที สาเหตุหลัก ๆ มาจาก Push Model ต้องส่งข้อมูลไปหา ตัวกลางก่อนคือ Pushgateway ก่อนทำให้เกิดความหน่วงเวลาสะสมและรอบการทำงานของ Script ผลการวิจัย ดัง Table 5.

งานวิจัยนี้มีค่า Notification Latency (T3-T2) ที่คงที่เท่ากันจากการทดสอบรวมทั้งหมด 4 ด้านจำนวน 80 ครั้ง แยกทั้ง 2 สถาปัตยกรรมที่ 186 วินาทีหรือ 3 นาที 6 วินาทีในทุกการทดสอบ เนื่องมาจากค่าเริ่มต้น (Default Configuration) ของไฟล์ Prometheus ได้กำหนดไว้ที่ค่านี้

ผลการวิเคราะห์ด้านความปลอดภัยทางไซเบอร์ ดัง Table 6.

(Research Article)

Table 5. Summary of Notification Latency Test Results

Architecture	Resource Type	Detection Latency Mean(s)	Notification Latency Mean(s)	Total Latency Mean(s)	Total Latency (StdDev)
Pull Model	CPU	459.5	186.0	645.5	28.27
	RAM	39.7	186.0	225.7	50.61
	DISK	13.7	186.0	199.7	4.72
	NETWORK	18.4	186.0	204.4	3.75
Push Model	CPU	483.1	186.0	669.1	29.28
	RAM	67.3	186.0	253.3	43.52
	DISK	31.5	186.0	217.5	5.44
	NETWORK	83.7	186.0	269.7	47.68

Table 6. Cybersecurity and Zero Trust Architecture Analysis

Evaluation Criteria	Pull Model	Push Model
1. Attack Surface (ช่องทางการโจมตี)	**Low (Strength)** No ports are exposed to the public.	**High (Weakness)** Port 9091/TCP must be opened to receive data.
2. Data Encryption (การเข้ารหัสข้อมูล)	**Yes (Automatic)** End-to-end encryption using WireGuard is enabled immediately upon installation.	**Supported (Configuration Required)** The default connection uses plain HTTP. TLS/SSL can be enabled by creating a certificate and manually configuring the system.
3. Authentication (การยืนยันตัวตน)	**Yes (Enforced)** Users must authenticate through an Identity Provider before accessing the network.	**Supported (Configuration Required)** By default, the system accepts data from all sources. Basic Authentication or a Reverse Proxy can be configured to enforce password-based access control.
4. Third-Party Risk (ความเสี่ยงจากการพึ่งพา)	**High (Weakness)** The system depends on Tailscale's Coordination Server. If it becomes unavailable, nodes cannot be paired.	**Low (Strength)** The system is self-hosted and operates independently without relying on external servers.
5. Key&Cert Lifecycle (ภาระการบำรุงรักษา)	**Platform-Defined** Tailscale enforces a key-expiry policy for security. If the key is not renewed, the connection will be terminated immediately.	**Admin-Defined** Certificates have expiration dates, but administrators can renew them manually or configure automatic renewal.

Table 6. Cybersecurity and Zero Trust Architecture Analysis (Cont.)

Evaluation Criteria	Pull Model	Push Model
6. Lateral Movement Risk (ความเสี่ยงจากการลุกลามภายใน)	**Medium (Weakness)** If a client is compromised, it may be used as a pathway to access the server, especially if Tailscale ACLs are not properly configured.	**Low (Strength)** Communication is one-way. The client only sends data through the designated channel and cannot access the server through other channels.
7. Network Access (ZTNA) (ความสอดคล้องกับ Zero Trust)	**Compliant** Tailscale's network connections follow the ZTNA principle of "Never Trust, Always Verify."	**Supported (Configuration Required)** The default architecture is perimeter-based, but it can be upgraded to ZTNA by using mTLS (Mutual TLS) or an Authentication Proxy to verify every request. However, this approach increases management complexity.

จากการวิเคราะห์ผลการทดสอบเบื้องต้นนี้จะเห็นได้ว่า Pull Model ผ่าน Tailscale มีความเสถียรของข้อมูลที่น่าเชื่อถือกว่า และมีความปลอดภัยทางไซเบอร์มากกว่าในกรณีค่าเริ่มต้นทั้ง 2 สถาปัตยกรรมเนื่องจากค่าเริ่มต้นของ Pull Model ไม่จำเป็นต้องเปิดพอร์ตใด ๆ สู่สาธารณะ ส่วน Push Model จำเป็นต้องเปิดพอร์ต 9091/tcp ที่ Server เพื่อรอรับข้อมูล จากเครื่อง Client เป้าหมาย

7. สรุปผลการวิจัย (Conclusion)

จากการศึกษาออกแบบพัฒนาและเปรียบเทียบสถาปัตยกรรมระบบเฝ้าระวังประสิทธิภาพและความปลอดภัยพื้นฐานของระบบสารสนเทศจำนวน 2 สถาปัตยกรรมด้วย Software Prometheus ได้แก่ สถาปัตยกรรมแบบดึงข้อมูล ที่ประยุกต์ใช้เครือข่ายตัวแบบซ้อนทับด้วย Tailscale และสถาปัตยกรรมแบบส่งข้อมูลด้วย Pushgateway เพื่อหาแนวทางที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทำงานภายใต้ Carrier-Grade NAT (CGNAT) โดยวัดผลจากภาระของระบบความหน่วงเวลาการแจ้งเตือนและด้านความปลอดภัยไซเบอร์ ดังสรุปผลการทดสอบดังนี้

1. ด้านภาระงานของระบบ (System Overhead) Push Model มีภาระงานบนเครื่อง Client ที่ต่ำกว่า Pull Model ในทุกสถานการณ์ทดสอบเนื่องจากมีการส่งข้อมูลอย่างเรียบง่ายโดยที่ไม่ต้องรัน Service ใด ๆ ไว้ตลอดเวลาเลย

2. ด้านความหน่วงเวลาในการแจ้งเตือน Pull Model มีความเร็วในการตอบสนองที่เหนือกว่า Push Model ในทุกสถานการณ์การทดสอบ ซึ่งชี้ให้เห็นถึงข้อแลกเปลี่ยนระหว่างการประหยัดทรัพยากรของ Push Model กับความเร็วในการตอบสนองการแจ้งเตือนของ Pull Model

3. ด้านความปลอดภัยทางไซเบอร์จะเห็นได้ว่า Pull Model มีความปลอดภัยที่เป็นพื้นฐานของสถาปัตยกรรมกว่า Push Model เนื่องจากมีค่าพื้นฐานมีการจัดการที่ง่ายและมีความปลอดภัยที่เป็นค่าเริ่มต้นที่ดีกว่ามีการเข้ารหัสแบบ End-to-End ด้วย WireGuard ส่วนทาง Push Model มีค่าเริ่มต้นพื้นฐานที่เสี่ยงต่อการถูกโจมตีมากกว่าแต่มีข้อดีคือ การจัดการที่เป็นอิสระ

8. อภิปรายผลการวิจัย (Discussion)

จากการศึกษาเปรียบเทียบสถาปัตยกรรม Pull Model และ Push Model นี้ทำให้ผู้วิจัยค้นพบข้อแลกเปลี่ยนเชิงเทคนิค 3 มิติ ดังอภิปรายได้ตามนี้

8.1 มิติด้านภาระงานของระบบและทรัพยากร

ผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่า Push Model มีประสิทธิภาพในการจัดการทรัพยากรที่เหนือกว่า Pull Model โดยมีอัตราการใช้ CPU และ Network Bandwidth ต่ำกว่าผลลัพธ์นี้เป็นผลสืบเนื่องมาจากกลไกการทำงานประมวลผลเป็นรอบ Batch Processing ของ Push Script ที่ทำงานตามรอบแล้วจบการทำงานไปต่างจาก Pull Model ที่จำเป็นต้องรัน Tailscale Daemon หรือถูกเข้ารหัสอยู่ตลอดเวลาเพื่อเชื่อมต่ออุโมงค์เครือข่ายและการเข้ารหัสข้อมูลเพื่อแลกกับการทะลุผ่านระบบเครือข่ายภายใต้ CGNAT สำหรับการปรับใช้งานในระดับระบบขนาดใหญ่ที่มีโหนดปลายทางจำนวนมาก หากจำเป็นต้องเลือกใช้งานรูปแบบ Pull Model ควรพิจารณาปรับรอบ การดึงข้อมูล (Scrape Interval) ให้เหมาะสมกับความสำคัญของ Metric หรือใช้ Prometheus Federation เพื่อกระจายภาระงานของ Server และอาจจะเปลี่ยนรูปแบบการเฝ้า ติดตามระบบแบบเรียลไทม์ไปเป็นรูปแบบ Hybrid Monitoring ในงานที่มีความยืดหยุ่นได้

8.2 มิติด้านความหน่วงเวลาและการตอบสนอง

ด้านความรวดเร็วของการแจ้งเตือน Pull Model ทำได้เหนือกว่าโดยสามารถตอบสนองต่อเหตุการณ์ผิดปกติได้ใกล้เคียง กับคำว่า Real Time มากกว่าสาเหตุหลักเกิดจาก Prometheus Server สามารถเข้าถึง Client เป้าหมายได้โดยตรงผ่าน Tailscale ในขณะที่ Push Model มีความหน่วงเวลาสะสมจากการที่เครื่อง Client เป้าหมายจะต้องส่งหรือ Push ข้อมูล มาที่ Pushgateway ก่อน Prometheus Server จะเข้ามาดึงข้อมูลไปอีกครั้งตามรอบเวลาที่กำหนด ซึ่งหากเกิดปัญหา ทางเครือข่ายระหว่างส่งข้อมูลจะส่งผลให้ข้อมูลคงค้างไม่อัปเดตและเกิดความเข้าใจผิดในการเฝ้าระวังติดตาม (False Negative) ได้ง่ายกว่าทางออกของการที่มีข้อมูลคงค้างหรือความเข้าใจผิดในข้อมูลที่ Push Model มีจำเป็นต้องประยุกต์ ใช้การตรวจสอบความพร้อมข้อมูลหรือ Heartbeat ร่วมกับ Alertmanager ให้แจ้งเตือนทันทีหากค่าของ push_time_seconds หายไปเกินระยะเวลาที่กำหนดให้ส่งการแจ้งเตือนทันที

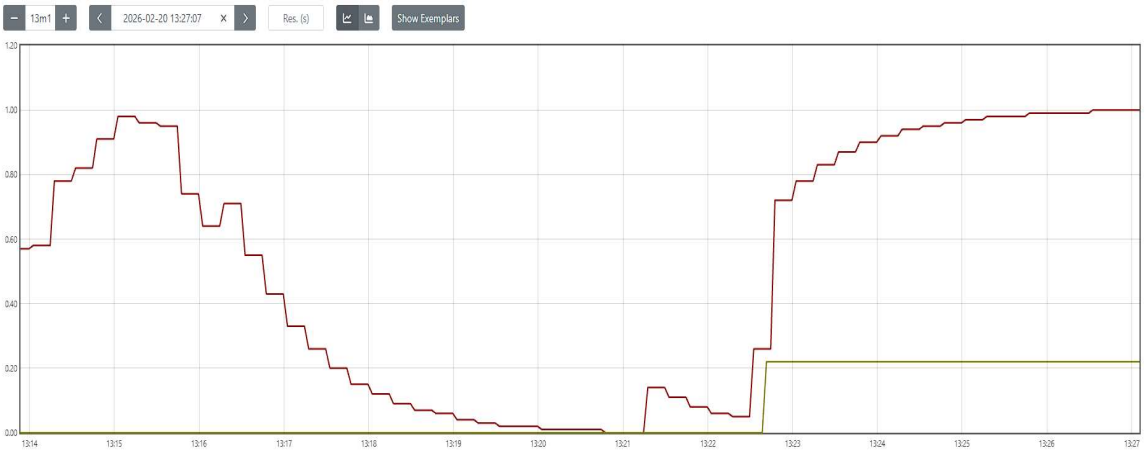


Figure 5. CPU Utilization of Pushgateway Target After Closing Port 9091 on Azure

8.3 มิติด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์

จากการเปรียบเทียบคุณสมบัติด้านความปลอดภัยทั้ง 2 สถาปัตยกรรมตามเกณฑ์ประเมินทั้ง 7 ด้านสามารถอภิปรายจุดแข็งจุดอ่อนแต่ละรูปแบบดังนี้

1. สถาปัตยกรรม Pull Model มีการออกแบบความปลอดภัยพื้นฐานเป็นค่าเริ่มต้น ซึ่งช่วยลดภาระของผู้ดูแลระบบ แต่มีความเสี่ยงในการพึ่งพาระบบภายนอก โดยจุดแข็งของสถาปัตยกรรมนี้คือการทำงานแบบ Stealth Mode ไม่เปิดพอร์ตใด ๆ สู่สาธารณะทำให้ระบบลดช่องทางการโจมตี (Attack Surface) และ Brute force จากภายนอกได้ Pull Model มีความสอดคล้องกับปรัชญา Zero Trust Network Access (ZTNA) โดย Never Trust, Always Verify อย่างสมบูรณ์โดยมีการยืนยัน ตัวตน ผ่าน Identity Provider และเข้ารหัสแบบ End-to-End ด้วย WireGuard Protocol โดยอัตโนมัติ ซึ่งช่วยลดความผิดพลาดของผู้ดูแล หรือ Human Error ข้อควรระวังเนื่องจากระบบต้องพึ่งพา Coordination

Server ของ Tailscale ในการจับคู่ Node หาก Server มีปัญหาอาจส่งผลกระทบต่อการเชื่อมต่อ ได้และด้วยลักษณะเครือข่ายแบบ Mesh Network นี้หากเครื่อง Client ถูกโจมตีหรือถูกครอบคลุมผู้โจมตีอาจใช้เป็นฐานใน การสแกนหาช่องโหว่หรือโจมตีไปยัง Server ได้ หาก ผู้ดูแลระบบไม่กำหนดนโยบาย Access Control List (ACL) ให้รัดกุม

2. สถาปัตยกรรม Push Model มีการออกแบบความปลอดภัยพื้นฐานที่ต่ำในค่าเริ่มต้นของระบบ ซึ่งเป็นเพราะ Push Model มีความเป็นอิสระที่มากกว่าในการควบคุมและความเป็นส่วนตัวของข้อมูลแต่ต้องอาศัยความเชี่ยวชาญ ในการติดตั้งระบบป้องกันเพิ่มเติมโดยจุดแข็งที่สำคัญคือการสื่อสารแบบทางเดียวที่ Client มีหน้าที่แค่เพียงส่งข้อมูลออก ไปในช่องทางที่กำหนดเท่านั้น ไม่สามารถเข้าถึง Server หรือเครือข่ายภายในได้ จึงมีความเสี่ยงต่ำที่ผู้โจมตี จะใช้ Client ที่ถูกควบคุมเพื่อโจมตีกลับมายัง Server Push Model เป็นระบบแบบอิสระ (Self-hosted) ที่ทำงานได้ด้วยตัวเอง ไม่ต้องพึ่งพาเซิร์ฟเวอร์อื่นภายนอกทำให้เหมาะกับองค์กรที่มีผู้ดูแลที่เชี่ยวชาญหรือไม่ต้องการจัดการความเสี่ยงต่อ การพึ่งพาภายนอก (Third-Party Risk) ข้อควรระวังค่าเริ่มต้นของ Push Model จำเป็นต้องเปิดพอร์ต 9091 เพื่อรอรับข้อมูลจากเครื่อง Client แบบ Plain HTTP และไม่มีการยืนยันตัวตนผู้ดูแลจำเป็นต้องพัฒนาระบบความปลอดภัย เช่น พิจารณาสร้าง Reverse Proxy, ติดตั้ง TLS Certificate และ กำหนด Authentication เพื่อยกระดับ ความปลอดภัยจาก Perimeter-Based ขึ้นให้สอดคล้อง กับมาตรฐาน ZTNA

9. ข้อเสนอแนะงานวิจัย (Recommendation)

1. ควรมีการทำการศึกษาด้านความสามารถในการขยายระบบ (Scalability Study) โดยเพิ่มจำนวนโหนดปลายทางขึ้นเป็น 500 – 1,000 โหนดเพื่อประเมินประสิทธิภาพและจุดคอขวด (Bottleneck) ที่อาจเกิดขึ้นกับ Prometheus Server เครือข่าย Tailscale Coordination Server และการจัดการ Mesh Network ขนาดใหญ่

2. ควรมีการทำการวิจัยเชิงลึกด้านภาระของระบบ (Performance Overhead Analysis) เพื่อวัดผลกระทบ ของการใช้ Tailscale ต่อการใช้งาน CPU, RAM, และ Network อย่างละเอียดและเปรียบเทียบกับเทคโนโลยี Overlay Network อื่น ๆ เช่น ZeroTier หรือ Netmaker

3. ควรมีการทดลองภายใต้สภาพเครือข่ายที่ไม่สมบูรณ์ (Unreliable Network Conditions) โดยใช้เครื่องมือจำลองเครือข่ายเพื่อสร้างสภาวะที่มีความหน่วงสูงและ Packet Loss เพื่อประเมินว่าสถาปัตยกรรมใดมีความทนทาน และฟื้นตัวได้ดีกว่ากัน

4. ทดสอบ Push Model แบบ Remote-Write ทดสอบสถาปัตยกรรม Push อีกรูปแบบหนึ่ง (Agent ส่งข้อมูลตรงเข้า Prometheus) เพื่อเปรียบเทียบว่าสามารถลดความหน่วง 2 ต่อ ของ Pushgateway ได้หรือไม่

10. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้อำนวยการและคณะผู้บริหารสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย นำโดย ดร.วิจารย์ สิมาฉายา บอร์ดบริหารผู้อำนวยการฝ่าย รวมถึงหัวหน้าฝ่ายและแผนกต่าง ๆ ทุกท่านที่ได้มอบทุนการศึกษารวมถึงโอกาสดี ๆ และ การสนับสนุนในงานวิจัยนี้

11. การเปิดเผยการใช้ปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ (Declaration of Generative AI)

งานวิจัยนี้ใช้ปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์โดยใช้เครื่องมือ Google Gemini ในการออกแบบการแสดงผลข้อมูล (Data Visualization) ใช้สนับสนุนในการเขียนคำสั่ง PromQL สำหรับ Grafana Dashboard เพื่อเปรียบเทียบข้อมูล ของการจำลองสถานการณ์ต่าง ๆ ในส่วนของวิธีดำเนินงานวิจัย (Research Methodology) และใช้เพื่อร่างโครงสร้างของงานวิจัยนี้ก่อนที่จะมาเรียบเรียงใหม่อีกครั้ง คำสั่งที่ใช้ (Prompt) ช่วยเขียน Code คำสั่ง Prometheus หรือ PromQL เพื่อตรวจสอบการใช้งานทรัพยากรของเครื่องทั้งหมด 4 ด้านดังนี้ CPU, RAM, DISK, Network และคำสั่ง ช่วยร่างโครงสร้างของงานวิจัยเกี่ยวกับการทำงานของระบบ Network ภายใต้ CGNAT โดยใช้เทคโนโลยี Tailscale, Grafana, Pushgateway แบ่งออกเป็น 2 รูปแบบคือ Pull กับ Push มาทั้ง 5 บท และหลังจากนั้นผู้วิจัยได้นำโครงสร้างมา เขียนในแต่ละบทใหม่อีกครั้ง อีกเครื่องมือที่ใช้คือ NotebookLM ใช้เครื่องมือนี้สนับสนุนการเขียนรูปแบบการอ้างอิง ให้ตรงตามมาตรฐานที่กำหนดโดยใช้ Prompt คำสั่ง จากรูปแบบการอ้างอิงในงานวิจัยนี้ช่วยทำให้อยู่ในรูปแบบ APA หลังจากนั้น

(Research Article)

ผู้เขียนได้ตรวจทานและคัดกรองผลลัพธ์โดยละเอียดอีกครั้ง และยืนยันความรับผิดชอบต่อความถูกต้องของบทความนี้แต่เพียงผู้เดียว

12. การแสดงบทบาทผู้เขียน (CRediT Author Statement)

Chayaphon Suwanvorn: Conceptualization, Software, Formal analysis, Investigation, Resources, Data curation, Writing-original Draft, Visualization

Chaiyaporn Khemapatapan: Conceptualization, Writing-review&editing, Methodology, Supervision, Validation, Project administration

13. เอกสารอ้างอิง (References)

Cloudflare. (n.d.). *Zero Trust Security | What is a Zero Trust Network?* https://www.cloudflare.com/learning/security/glossary/what-is-zero-trust

Hellstern, T. (2022). *CERNBox Monitoring with Pushgateways* [CERN Summer Student Program Report].

Hriţcan, D.-F., & Balan, D. (2024a, September 19-20). Exposing IoT Platforms Securely and Anonymously Behind CGNAT. *2024 23rd RoEduNet Conference: Networking in Education and Research*, 1–4. Institute of Electrical and Electronics Engineers. https://doi.org/10.1109/RoEduNet64292.2024.10722287

Hriţcan, D.-F., & Balan, D. (2024b, May 23-25). Using Tailscale and PfSense for Security and Anonymity of IoT Environments. *2024 International Conference on Development and Application Systems*, 91–94. Institute of Electrical and Electronics Engineers. https://doi.org/10.1109/DAS61944.2024.10541192

Hriţcan, D.-F., Graur, A., Bălan, D.-G., & Timofte, E.-M. (2025). A Performance Analysis of VPN Technologies Used in an IoT Environment. *Advances in Electrical and Computer Engineering, 25*(2), 81–88. https://doi.org/10.4316/AECE.2025.02009

National Cyber Security Agency. (2025). *Monthly Threat Patterns* [Files]. NCSA Drive. https://drive.ncsa.or.th/s/bNymMs4BbNjE8x4?dir=/&editing=false&openfile=true (In Thai)

netElastic. (n.d.). *Conserve IPv4 Addresses and Transition to IPv6*. https://netelastic.com/cgnat-solutions

Prometheus. (n.d.a). *Configuration*. https://prometheus.io/docs/prometheus/latest/configuration/configuration

Prometheus. (n.d.b). *Prometheus Architecture* [Infographic]. https://prometheus.io/docs/introduction/overview

Saputra, M. Y. E., Noprianto, Arief, S. N., Wijayaningrum, V. N., & Syaifudin, Y. W. (2024, January 28-29). Real-Time Server Monitoring and Notification System with Prometheus, Grafana, and Telegram Integration. *2024 ASU International Conference in Emerging Technologies for Sustainability and Intelligent Systems*, 1808–1813). Institute of Electrical and Electronics Engineers. https://doi.org/10.1109/ICETSIS61505.2024.10459488

Sirviö, J. (2021). *Monitoring of a Cloud-Based IT Infrastructure*. [Master's thesis, University of Turku]. UTUPub. https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2021052030903

May-August 2026, 4(2), e3827
DOI: 10.65205/jcct.2026.e3827
Journal of Computer and Creative Technology
วารสารคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสร้างสรรค์
ISSN 2985-1580 (Print)
ISSN 2985-1599 (Online)

(Research Article)

Automated Detection and License Plate Recognition of Motorcycles on Sidewalks Using Deep Learning

Pichate Keawcharoen[1,*] and Tanun Jaruvitayakovit[2]

[1,2]Department of Computer Engineering, College of Engineering and Technology,
Dhurakij Pundit University, Bangkok 10210, Thailand; Email: [1]65130126@dpu.ac.th, [2]tanun.jar@dpu.ac.th

[*]*Corresponding author:* Pichate Keawcharoen (65130126@dpu.ac.th)

Received: 30 March 2026; **Revised:** 19 May 2026; **Accepted:** 23 May 2026; **Published:** 24 August 2026

Abstract

Motorcycle riding on sidewalks is a common traffic violation in urban areas and poses significant risks to pedestrian safety. However, existing approaches remain limited in processing surveillance images under real-world conditions, particularly those captured from top-view CCTV cameras with constrained resolution. In addition, motorcycle license plates are significantly smaller than automobile plates, resulting in fewer pixels available for character recognition and increasing the difficulty of optical character recognition (OCR). This study proposes an automated system for detecting motorcycles on sidewalks and recognizing license plates from CCTV images. The system employs deep learning techniques for object detection and OCR for extracting textual information from license plates, with a focus on real-world deployment using top-view camera perspectives. The proposed system consists of three main stages: motorcycle detection, license plate detection, and character recognition. A YOLO-based model is trained on annotated datasets for detection tasks, and an image enhancement process is applied prior to OCR to improve recognition performance. Experimental results show that the system achieves average confidence scores of 0.80 for motorcycle detection and 0.84 for license plate detection. In addition, OCR accuracy improves from 32% to 46% after image enhancement. The results demonstrate that the proposed system can effectively operate in real-world environments for detecting illegal motorcycle behavior on sidewalks and has the potential to be further developed into an automated traffic law enforcement support system.

Keywords: Object Detection, Motorcycle on Sidewalk, License Plate Recognition, YOLO, Deep Learning

Copyright © 2026 Journal of Computer and Creative Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC-ND).

Citation:
Keawcharoen, P., & Jaruvitayakovit, T. (2026). Automated Detection and License Plate Recognition of Motorcycles on Sidewalks Using Deep Learning. *Journal of Computer and Creative Technology, 4*(2), e3827. https://doi.org/10.65205/jcct.2026.e3827

ISSN 2985-1580 (Print)
ISSN 2985-1599 (Online)

(Research Article)

ระบบตรวจจับและรู้จำป้ายทะเบียนรถจักรยานยนต์ที่ขับขี่บนทางเท้าโดยใช้เทคนิค Deep Learning

พิเชษฐ์ แก้วเจริญ[1,*] และ ธนัญ จารุวิทยโกวิท[2]

[1,2]สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10210 ประเทศไทย; Email: [1]65130126@dpu.ac.th, [2]tanun.jar@dpu.ac.th

[*]*ผู้ประพันธ์บรรณกิจ:* พิเชษฐ์ แก้วเจริญ (65130126@dpu.ac.th)

รับบทความ: 30 มีนาคม 2569; **แก้ไขบทความ:** 19 พฤษภาคม 2569; **ตอบรับบทความ:** 23 พฤษภาคม 2569;
เผยแพร่บทความ: 24 สิงหาคม 2569

บทคัดย่อ

การขับขี่รถจักรยานยนต์บนทางเท้าเป็นการกระทำผิดกฎหมายที่พบได้บ่อยในเขตเมือง และก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อความปลอดภัยของผู้เดินเท้า อย่างไรก็ตาม แนวทางที่มีอยู่ยังมีข้อจำกัดในการประมวลผลภาพจากกล้องวงจรปิดในสภาพแวดล้อมจริง โดยเฉพาะมุมมองแบบมุมสูงและภาพที่มีความละเอียดจำกัด อีกทั้งป้ายทะเบียนรถจักรยานยนต์มีขนาดเล็กกว่าป้ายทะเบียนรถยนต์อย่างมีนัยสำคัญ ส่งผลให้จำนวนพิกเซลที่ใช้ในการรู้จำตัวอักษรลดลง และเพิ่มความท้าทายต่อกระบวนการรู้จำอักขระจากภาพ งานวิจัยนี้นำเสนอระบบอัตโนมัติสำหรับตรวจจับรถจักรยานยนต์บนทางเท้าและรู้จำป้ายทะเบียนจากภาพกล้องวงจรปิด โดยใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกสำหรับการตรวจจับวัตถุ และเทคนิคการรู้จำอักขระจากภาพ (OCR) สำหรับการอ่านข้อความบนป้ายทะเบียน โดยมุ่งเน้นการใช้งานในสภาพแวดล้อมจริงจากกล้องมุมสูง ระบบประกอบด้วยขั้นตอนการตรวจจับรถจักรยานยนต์ การตรวจจับป้ายทะเบียน และการรู้จำตัวอักษร โดยใช้แบบจำลอง YOLO ที่ผ่านการฝึกด้วยชุดข้อมูลที่มีการกำกับ พร้อมทั้งมีการปรับปรุงคุณภาพของภาพก่อนเข้าสู่กระบวนการ OCR เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการรู้จำ ผลการทดลองพบว่าระบบมีค่าความมั่นใจเฉลี่ยในการตรวจจับรถจักรยานยนต์เท่ากับ 0.80 และในการตรวจจับป้ายทะเบียนเท่ากับ 0.84 ขณะที่ความแม่นยำของ OCR เพิ่มขึ้นจาก 32% เป็น 46% หลังการปรับปรุงคุณภาพของภาพ ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถประยุกต์ใช้ในการตรวจจับการกระทำผิดบนทางเท้าในสภาพแวดล้อมจริง และมีศักยภาพในการพัฒนาเป็นระบบสนับสนุนการบังคับใช้กฎหมายจราจรอัตโนมัติ

คำสำคัญ: การตรวจจับวัตถุ, รถจักรยานยนต์บนทางเท้า, การรู้จำป้ายทะเบียนรถ, YOLO, การเรียนรู้เชิงลึก

Copyright © 2026 Journal of Computer and Creative Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC-ND).

การอ้างอิง:
พิเชษฐ์ แก้วเจริญ, และ ธนัญ จารุวิทยโกวิท. (2569). ระบบตรวจจับและรู้จำป้ายทะเบียนรถจักรยานยนต์ที่ขับขี่บนทางเท้าโดยใช้เทคนิค Deep Learning. *วารสารคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสร้างสรรค์, 4*(2), e3827. https://doi.org/10.65205/jcct.2026.e3827

(Research Article)

1. บทนำ (Introduction)

ในปัจจุบัน รถจักรยานยนต์ถือเป็นพาหนะที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในเขตเมือง เนื่องจากมีความคล่องตัวสูง และสามารถใช้ในการเดินทางท่ามกลางสภาพการจราจรที่หนาแน่นได้อย่างสะดวก อย่างไรก็ตาม ปัญหาที่พบได้บ่อยในหลายพื้นที่คือการที่ผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์บางส่วนเลือกใช้ทางเท้าเป็นเส้นทางในการหลีกเลี่ยงการจราจร ส่งผลให้เกิดความเสี่ยงต่อความปลอดภัยของผู้เดินเท้า และเป็นการกระทำที่ขัดต่อกฎหมายจราจรทางบก ทางเท้าถูกออกแบบมาเพื่อให้เป็นพื้นที่ปลอดภัยสำหรับการสัญจรของประชาชน แต่การใช้พื้นที่ดังกล่าวโดยยานพาหนะอาจก่อให้เกิดอุบัติเหตุและความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินได้

ปัจจุบัน การเฝ้าระวังและตรวจจับการกระทำผิดลักษณะดังกล่าวยังคงอาศัยการตรวจสอบจากเจ้าหน้าที่ หรือการตรวจดูภาพจากกล้องวงจรปิดโดยมนุษย์ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวต้องใช้เวลาและทรัพยากรบุคคลจำนวนมาก อีกทั้งยังไม่สามารถตรวจสอบเหตุการณ์ได้อย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีการติดตั้งกล้องวงจรปิดจำนวนมาก การตรวจสอบภาพวิดีโอจำนวนมากด้วยวิธีการแบบดั้งเดิมจึงมีข้อจำกัดด้านประสิทธิภาพและความรวดเร็ว

ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีด้านการมองเห็นของคอมพิวเตอร์ (Computer Vision) และการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) ได้เปิดโอกาสให้เกิดการพัฒนาระบบตรวจจับวัตถุจากภาพหรือวิดีโอได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะแบบจำลองในตระกูล YOLO (You Only Look Once) ซึ่งได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในการตรวจจับวัตถุแบบเวลาจริง เนื่องจากมีความสามารถในการประมวลผลที่รวดเร็วและให้ความแม่นยำในระดับสูง เช่น แบบจำลอง YOLOv7 ได้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่สูงขึ้นทั้งด้านความแม่นยำและความเร็วในการตรวจจับวัตถุ (Wang et al., 2022) เทคโนโลยีดังกล่าวจึงถูกนำไปประยุกต์ใช้ในระบบเฝ้าระวังอัจฉริยะและระบบจัดการจราจรในหลายงานวิจัย

นอกจากการตรวจจับยานพาหนะแล้ว การรู้จำป้ายทะเบียนรถ (License Plate Recognition) ยังเป็นองค์ประกอบสำคัญของระบบตรวจสอบการจราจรอัตโนมัติ โดยทั่วไปกระบวนการดังกล่าวประกอบด้วยขั้นตอนการตรวจจับตำแหน่งป้ายทะเบียน และการรู้จำตัวอักษรบนป้ายทะเบียนผ่านเทคนิคการรู้จำอักขระจากภาพ (Optical Character Recognition: OCR) โดยงานวิจัยด้านการรู้จำตัวอักษรในภาพ เช่น Bautista & Atienza (2022) รวมถึงงานวิจัยด้านการรู้จำป้ายทะเบียนโดยใช้ Deep Learning (Ding et al., 2024; Nascimento et al., 2024; Vargoorani & Suen, 2024) ได้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของโมเดลเชิงลึกในการจัดการกับข้อมูลภาพที่มีความซับซ้อน อย่างไรก็ตาม การรู้จำป้ายทะเบียนรถจักรยานยนต์ในประเทศไทยยังคงมีความท้าทาย เนื่องจากมีความหลากหลายของรูปแบบตัวอักษร ภาษาไทย และสภาพแวดล้อมของภาพจากกล้องวงจรปิด เช่น ความละเอียดของภาพ มุมกล้อง สภาพแสง และการเคลื่อนไหวของยานพาหนะ

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยส่วนใหญ่ยังคงมุ่งเน้นการตรวจจับและรู้จำป้ายทะเบียนในสภาพแวดล้อมที่มีการควบคุม เช่น ลานจอดรถ หรือมุมกล้องระดับสายตา (Nitmai et al., 2023; Audomthankun & Nakharacruangsak, 2024) ซึ่งภาพป้ายทะเบียนมีขนาดใหญ่และมีความคมชัดเพียงพอสำหรับการประมวลผล ในขณะที่การประยุกต์ใช้กับกล้องวงจรปิดที่ติดตั้งในมุมมองจากด้านบน (Top-View) เพื่อใช้ตรวจจับพฤติกรรมการกระทำผิด เช่น การขับขี่รถจักรยานยนต์บนทางเท้า ยังคงมีข้อจำกัดสำคัญ ได้แก่ ขนาดของป้ายทะเบียนที่มีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับภาพทั้งหมด ความบิดเบี้ยวของมุมมอง และคุณภาพของภาพที่ไม่เหมาะสมต่อการรู้จำอักขระ ส่งผลให้ประสิทธิภาพของระบบ OCR ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

แม้ว่าจะมีงานวิจัยจำนวนมากที่ศึกษาการตรวจจับยานพาหนะหรือระบบรู้จำป้ายทะเบียน แต่ยังมีงานวิจัยจำนวนจำกัดที่มุ่งเน้นไปที่การตรวจจับรถจักรยานยนต์ที่ขับขี่บนทางเท้าโดยเฉพาะ รวมถึงการประยุกต์ใช้ระบบดังกล่าวร่วมกับภาพจากกล้องวงจรปิดในสภาพแวดล้อมจริง ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งพัฒนาระบบตรวจจับรถจักรยานยนต์ที่ขับขี่บนทางเท้าโดยอัตโนมัติ พร้อมทั้งสามารถตรวจจับและอ่านป้ายทะเบียนรถจักรยานยนต์จากภาพกล้องวงจรปิดได้ โดยอาศัยเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกสำหรับการตรวจจับวัตถุ และเทคนิคการรู้จำอักขระจากภาพสำหรับการอ่านตัวอักษรบนป้ายทะเบียน โดยมุ่งเน้นการทำงานในสภาพแวดล้อมจริงที่มีข้อจำกัดด้านความละเอียดของภาพและมุมมองของกล้อง

ระบบที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยกระบวนการหลัก ได้แก่ (1) การตรวจจับรถจักรยานยนต์และป้ายทะเบียนจากภาพกล้องวงจรปิดโดยใช้แบบจำลอง YOLO (Wang et al., 2022) (2) การออกแบบกระบวนการจับคู่ระหว่างรถจักรยานยนต์และป้ายทะเบียนในระดับเหตุการณ์ และ (3) การปรับปรุงคุณภาพภาพป้ายทะเบียนก่อนเข้าสู่กระบวนการ OCR เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการรู้จำตัวอักษร (Nascimento et al., 2024) โดยระบบดังกล่าวได้รับการออกแบบเพื่อให้สามารถนำไปใช้งานร่วมกับระบบกล้องวงจรปิดในสภาพแวดล้อมจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

(Research Article)

2. วัตถุประสงค์งานวิจัย (Research Objectives)

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของระบบตรวจจับรถจักรยานยนต์ที่ขับขี่บนทางเท้าโดยอัตโนมัติจากภาพกล้องวงจรปิด โดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการมองเห็นของคอมพิวเตอร์และการเรียนรู้เชิงลึก เพื่อสนับสนุนการเฝ้าระวังและตรวจสอบการกระทำผิดกฎหมายจราจรอย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ วัตถุประสงค์ของการวิจัยสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. เพื่อพัฒนาระบบตรวจจับรถจักรยานยนต์จากภาพหรือวิดีโอที่ได้จากกล้องวงจรปิด โดยใช้แบบจำลองการตรวจจับวัตถุที่อาศัยเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก
2. เพื่อพัฒนาระบบตรวจจับตำแหน่งป้ายทะเบียนรถจักรยานยนต์จากภาพที่ตรวจจับได้ และเตรียมข้อมูลสำหรับกระบวนการรู้จำตัวอักษร
3. เพื่อพัฒนาระบบรู้จำตัวอักษรบนป้ายทะเบียนรถจักรยานยนต์ โดยใช้เทคนิคการรู้จำอักขระจากภาพ (Optical Character Recognition: OCR)
4. เพื่อศึกษาและพัฒนาวิธีการตรวจจับวัตถุและป้ายทะเบียนภายใต้เงื่อนไขของกล้องวงจรปิดที่มีมุมมองแบบมุมสูง (Top-view) ซึ่งไม่ได้อยู่ในระดับเดียวกับแผ่นป้ายทะเบียน
5. เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบที่พัฒนาขึ้นในการตรวจจับรถจักรยานยนต์และการรู้จำป้ายทะเบียนจากภาพกล้องวงจรปิดภายใต้สภาพแวดล้อมจริง
6. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำระบบที่พัฒนาขึ้นไปประยุกต์ใช้ในการเฝ้าระวังการกระทำผิดกฎหมายจราจรและสนับสนุนการเพิ่มความปลอดภัยของผู้ใช้ทางเท้าในเขตเมือง

3. การทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)

3.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Wang et al. (2022) ได้นำเสนอแบบจำลอง YOLOv7 ซึ่งเป็นการพัฒนาต่อยอดของแบบจำลองในตระกูล YOLO โดยสามารถเพิ่มประสิทธิภาพทั้งด้านความแม่นยำและความเร็วในการตรวจจับวัตถุได้อย่างมีนัยสำคัญ ผ่านเทคนิค Trainable Bag-of-Freebies และการปรับโครงสร้างของโมเดลให้เหมาะสมกับงานตรวจจับวัตถุแบบเรียลไทม์ อย่างไรก็ตาม แม้ว่าแบบจำลองดังกล่าวจะมีประสิทธิภาพสูง แต่ยังคงมีข้อจำกัดในการตรวจจับวัตถุขนาดเล็ก โดยเฉพาะในกรณีที่วัตถุมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับภาพทั้งหมด หรือมีความละเอียดของภาพต่ำ ซึ่งส่งผลต่อความสามารถในการระบุตำแหน่งและจำแนกวัตถุได้อย่างแม่นยำ

ในด้านการประยุกต์ใช้จริง Ultralytics (2023) ได้พัฒนาเฟรมเวิร์ก YOLO ที่รองรับการใช้งานในหลากหลายบริบทและสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานตรวจจับวัตถุในภาพจากกล้องวงจรปิดได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพของระบบยังขึ้นอยู่กับคุณภาพของข้อมูลนำเข้า เช่น ความละเอียดของภาพ มุมกล้อง และสภาพแสง ซึ่งเป็นข้อจำกัดสำคัญในงานตรวจจับจากภาพในสภาพแวดล้อมจริง ข้อจำกัดดังกล่าวมีความสำคัญอย่างยิ่งในงานวิจัยนี้ เนื่องจากภาพจากกล้องวงจรปิดแบบมุมมองด้านบน (Top-View) ทำให้วัตถุเป้าหมาย เช่น ป้ายทะเบียนรถจักรยานยนต์ มีขนาดเล็กและมีความบิดเบี้ยวของมุมมอง ส่งผลให้การตรวจจับและรู้จำมีความท้าทายมากขึ้น

Ding et al. (2024) ได้นำเสนอกรอบการทำงานสำหรับการติดตามและรู้จำป้ายทะเบียนจากวิดีโอ โดยใช้แนวทางแบบ Training-Free และการใช้ข้อมูลหลายเฟรม (Multi-Frame) เพื่อเพิ่มความแม่นยำของการรู้จำ แนวทางดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการใช้ข้อมูลเชิงเวลา (Temporal Information) สามารถช่วยลดความคลาดเคลื่อนของการรู้จำในภาพที่มีคุณภาพต่ำได้ อย่างไรก็ตาม งานวิจัยดังกล่าวยังมุ่งเน้นไปที่ป้ายทะเบียนรถยนต์เป็นหลัก ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าป้ายทะเบียนรถจักรยานยนต์

Nascimento et al. (2024) ได้นำเสนอวิธีการเพิ่มความละเอียดของภาพป้ายทะเบียน (Super-Resolution) โดยใช้แนวคิดแบบ Character-Driven เพื่อช่วยให้สามารถรู้จำตัวอักษรได้ดีขึ้นในกรณีที่ภาพมีความละเอียดต่ำแม้ว่าวิธีการดังกล่าวจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของ OCR ได้อย่างมีนัยสำคัญ แต่ยังมีข้อจำกัดในด้านความซับซ้อนของกระบวนการและต้นทุนการประมวลผล ซึ่งอาจไม่เหมาะสมกับระบบที่ต้องการประมวลผลแบบเรียลไทม์

(Research Article)

Vargoorani & Suen (2024) ได้นำเสนอแนวทางการรู้จำตัวอักษรจากป้ายทะเบียนโดยใช้ Deep Learning ร่วมกับการวิเคราะห์รูปแบบตัวอักษร (Font Evaluation) เพื่อเพิ่มความแม่นยำของระบบ OCR อย่างไรก็ตาม แนวทางดังกล่าวยังคงพึ่งพาคุณภาพของภาพเป็นหลัก และยังไม่ได้พิจารณาปัญหาที่เกิดจากมุมกล้องที่ไม่เหมาะสมหรือการบิดเบี้ยวของภาพจากมุมมองด้านบน

ในบริบทของงานวิจัยในประเทศไทย Nitmai et al. (2023) และ Audomthankun & Nakharacruangsak (2024) ได้พัฒนาระบบตรวจจับและรู้จำป้ายทะเบียนภาษาไทยโดยใช้แบบจำลอง YOLO ร่วมกับ OCR ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่น่าพอใจในสภาพแวดล้อมที่มีการควบคุม อย่างไรก็ตาม งานวิจัยดังกล่าวส่วนใหญ่มุ่งเน้นไปที่ป้ายทะเบียนรถยนต์ และใช้ข้อมูลจากมุมกล้องที่ค่อนข้างคงที่ ทำให้ยังไม่ครอบคลุมกรณีการใช้งานจริงจากกล้องวงจรปิดที่มีความหลากหลายของมุมมองและสภาพแวดล้อม

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่างานวิจัยส่วนใหญ่ยังมีข้อจำกัดในสามประเด็นหลัก ได้แก่ (1) การมุ่งเน้นป้ายทะเบียนรถยนต์ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่า (2) การใช้ข้อมูลในสภาพแวดล้อมที่มีการควบคุม และ (3) การขาดการวิเคราะห์เหตุการณ์ร่วมกับการรู้จำป้ายทะเบียน

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งแก้ไขช่องว่างดังกล่าว โดยพัฒนาระบบที่สามารถตรวจจับรถจักรยานยนต์บนทางเท้าและรู้จำป้ายทะเบียนจากภาพกล้องวงจรปิดในสภาพแวดล้อมจริง ซึ่งมีข้อจำกัดด้านขนาดของวัตถุ ความละเอียดของภาพ และมุมมองของกล้อง พร้อมทั้งรวมกระบวนการวิเคราะห์เหตุการณ์เข้ากับระบบรู้จำป้ายทะเบียน

Table 1. Related Work Comparison

Study	Detection Method	OCR Capability	Environment	Thai Plate Support	Enhancement	System Type
Wang et al. (2022)	YOLOv7	No	General	No	No	Object Detection
Ultralytics (2023)	YOLO (v8/v11)	No	General	No	No	Detection Framework
Bautista & Atienza (2022)	Deep Learning	Yes	General (Scene Text)	No	No	OCR Model
Ding et al. (2024)	Deep Learning	Yes	Real-world (Video)	No	No	LPR System
Nascimento et al. (2024)	Deep Learning	No	Controlled	No	Yes	Image Enhancement
Vargoorani & Suen (2024)	Deep Learning	Yes	Controlled	No	No	LPR System
Nitmai et al. (2023)	YOLO-based	Yes	Real-world	Yes	No	Thai LPR System
Audomthankun & Nakharacruangsak (2024)	YOLO + OCR	Yes	Real-world	Yes	No	Thai LPR System
Proposed System	YOLO-based with ROI	Yes (RAW + ENH)	Real-world (CCTV)	Yes	Yes (Image Enhancement)	End-to-End System

(Research Article)

จากการทบทวนวรรณกรรมข้างต้น รวมถึงผลการเปรียบเทียบใน Table 1. พบว่า แม้งานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาเทคนิคการตรวจจับวัตถุและการรู้จำป้ายทะเบียนอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะการใช้แบบจำลองในตระกูล YOLO และเทคนิค OCR ซึ่งสามารถให้ผลลัพธ์ที่มีความแม่นยำสูงในหลายบริบท อย่างไรก็ตาม ยังพบข้อจำกัดสำคัญหลายประการที่ยังไม่ได้รับการแก้ไขอย่างครบถ้วน ดังนี้

1. งานวิจัยส่วนใหญ่ยังประสบปัญหาในการตรวจจับวัตถุขนาดเล็ก เช่น ป้ายทะเบียน โดยเฉพาะในสภาพแวดล้อมจริงที่มีความซับซ้อน เช่น แสงที่ไม่สม่ำเสมอ มุมกล้องที่หลากหลาย และการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Wang et al. (2022) และ Ultralytics (2023) ที่แม้จะมีประสิทธิภาพสูง แต่ยังคงมีข้อจำกัดในการตรวจจับวัตถุขนาดเล็กในภาพความละเอียดต่ำ ซึ่งส่งผลต่อความแม่นยำของระบบตรวจจับโดยตรง

2. แม้ว่าจะมีงานวิจัยที่พัฒนาระบบรู้จำป้ายทะเบียนแบบครบวงจร (ALPR) (Ding et al., 2024; Vargoorani & Suen, 2024) แต่ส่วนใหญ่ยังมุ่งเน้นไปที่ป้ายทะเบียนรถยนต์ และใช้ข้อมูลจากต่างประเทศ รวมถึงยังขาดการพิจารณาปัญหาที่เกิดจากขนาดของป้ายทะเบียนที่แตกต่างกัน เช่น ป้ายทะเบียนรถจักรยานยนต์ที่มีขนาดเล็กกว่าอย่างมีนัยสำคัญ และยังไม่รองรับลักษณะเฉพาะของป้ายทะเบียนภาษาไทยอย่างเต็มรูปแบบ

3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับป้ายทะเบียนภาษาไทย เช่น Nitmai et al. (2023) และ Audomthankun & Nakharacruangsak (2024) ยังถูกทดสอบในสภาพแวดล้อมที่มีการควบคุม เช่น มุมกล้องคงที่ หรือภาพที่มีคุณภาพดี ซึ่งแตกต่างจากสภาพแวดล้อมจริงของกล้องวงจรปิดที่มีความแปรปรวนสูง อีกทั้งยังขาดการประยุกต์ใช้เทคนิคการปรับปรุงคุณภาพของภาพ เช่น Super-Resolution หรือ Image Enhancement เพื่อสนับสนุนการทำงานของ OCR ในภาพความละเอียดต่ำ (Nascimento et al., 2024) นอกจากนี้ งานวิจัยส่วนใหญ่ยังมุ่งเน้นเฉพาะการตรวจจับและการรู้จำป้ายทะเบียน โดยยังไม่ได้รวมการวิเคราะห์บริบทของเหตุการณ์ เช่น การตรวจจับพฤติกรรมการขับขี่ที่ผิดกฎหมาย

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งพัฒนาระบบที่สามารถทำงานได้แบบครบวงจร (End-to-End) โดยรวมการตรวจจับรถจักรยานยนต์ ซึ่งเป็นวัตถุที่มีขนาดเล็กและมีความท้าทายสูงกว่ารถยนต์ การกำหนดพื้นที่สนใจ (ROI) เพื่อระบุบริบทของการกระทำผิด การตรวจจับและตัดภาพป้ายทะเบียน การปรับปรุงคุณภาพของภาพ และการรู้จำตัวอักษรด้วย OCR ทั้งจากภาพต้นฉบับและภาพที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ (RAW และ ENH) เพื่อเพิ่มความแม่นยำของระบบ นอกจากนี้ ระบบยังถูกออกแบบให้สามารถทำงานกับข้อมูลจริงจากกล้องวงจรปิด ในมุมมองแบบ Top-View ซึ่งมีข้อจำกัดด้านมุมมองและความละเอียดของภาพ และสามารถจัดเก็บผลลัพธ์ในรูปแบบเหตุการณ์ (Event-Based) ได้อย่างเป็นระบบ ซึ่งช่วยให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3.2 การตรวจจับวัตถุจากภาพกล้องวงจรปิด (CCTV-based Object Detection)

การตรวจจับวัตถุ (Object Detection) เป็นกระบวนการสำคัญในการระบุประเภทและตำแหน่งของวัตถุภายในภาพ โดยในงานวิจัยปัจจุบันนิยมใช้แบบจำลองเชิงลึก (Deep Learning) โดยเฉพาะ Convolutional Neural Networks (CNN) ในการสกัดคุณลักษณะของภาพและทำการจำแนกวัตถุ

แบบจำลองในกลุ่ม Single-Stage Detector เช่น YOLO (You Only Look Once) ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถตรวจจับวัตถุได้แบบเวลาจริงและมีความซับซ้อนเชิงคำนวณต่ำ โดยงานวิจัยล่าสุด เช่น Wang et al. (2022) ได้พัฒนา YOLOv7 ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นทั้งด้านความแม่นยำและความเร็ว ขณะที่ Ultralytics (2023) ได้พัฒนา Framework ของ YOLO ให้สามารถประยุกต์ใช้ได้หลากหลายและรองรับงานตรวจจับวัตถุในสภาพแวดล้อมจริง อย่างไรก็ตาม ในกรณีของภาพจากกล้องวงจรปิดที่มีมุมมองแบบมุมสูง (Top-View) วัตถุเป้าหมาย เช่น รถจักรยานยนต์และป้ายทะเบียน มักมีขนาดเล็กและมีความบิดเบือนของมุมมอง ซึ่งส่งผลให้ความแม่นยำของการตรวจจับลดลง แม้ว่าระบบ YOLO รุ่นใหม่จะมีประสิทธิภาพสูง แต่ยังคงมีข้อจำกัดในการตรวจจับวัตถุขนาดเล็กในภาพจากสภาพแวดล้อมจริง โดยเฉพาะในบริบทของกล้องวงจรปิด

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงประยุกต์ใช้แบบจำลอง YOLO ร่วมกับการกำหนดพื้นที่สนใจ (Region of Interest: ROI) เพื่อลดการตรวจจับวัตถุที่ไม่เกี่ยวข้อง และเพิ่มความสามารถในการตรวจจับวัตถุในบริบทของภาพจากกล้องวงจรปิดจริง ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางการออกแบบระบบตรวจจับวัตถุในสภาพแวดล้อมจริงที่ต้องพิจารณาทั้งบริบทของภาพและข้อจำกัดของข้อมูลนำเข้า

3.3 การตรวจจับตำแหน่งป้ายทะเบียน (License Plate Detection)

หลังจากการตรวจจับรถจักรยานยนต์ ขั้นตอนถัดไปคือการตรวจจับตำแหน่งของป้ายทะเบียน ซึ่งเป็นวัตถุขนาดเล็กและมีรายละเอียดสูงเมื่อเทียบกับขนาดของภาพทั้งหมด

ในสภาพแวดล้อมของกล้องวงจรปิดที่มีมุมมองแบบมุมสูง ป้ายทะเบียนมักมีลักษณะเอียง มีความละเอียดต่ำ และอาจถูกบดบังบางส่วน ทำให้การตรวจจับทำได้ยากกว่าภาพที่ถ่ายในมุมตรง (Frontal View) ซึ่งเป็นข้อจำกัดที่ยังคงพบในงานวิจัยด้านการตรวจจับและรู้จำป้ายทะเบียนสมัยใหม่ เช่น Ding et al. (2024) และ Vargoorani & Suen (2024) ที่แม้จะมีการพัฒนาโมเดลเชิงลึก แต่ยังเผชิญกับความท้าทายในสภาพแวดล้อมจริง นอกจากนี้ งานวิจัยล่าสุดยังให้ความสำคัญกับการปรับปรุงคุณภาพของภาพ เช่น เทคนิค Super-Resolution เพื่อช่วยเพิ่มความชัดเจนของป้ายทะเบียนก่อนการรู้จำ (Nascimento et al., 2024)

ดังนั้นเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการตรวจจับ งานวิจัยนี้ใช้วิธีการจับคู่ระหว่างรถจักรยานยนต์และป้ายทะเบียนโดยอาศัยความสัมพันธ์เชิงตำแหน่ง (Spatial Relationship) รวมถึงการคัดกรองวัตถุที่ไม่เกี่ยวข้อง เพื่อลดความคลาดเคลื่อนของผลลัพธ์ก่อนเข้าสู่กระบวนการรู้จำตัวอักษร

3.4 การรู้จำตัวอักษรบนป้ายทะเบียน (Optical Character Recognition: OCR)

การรู้จำตัวอักษรจากภาพ (Optical Character Recognition: OCR) เป็นกระบวนการแปลงข้อมูลภาพให้เป็นข้อความ โดยในระบบรู้จำป้ายทะเบียน OCR มีบทบาทสำคัญในการแปลงภาพป้ายทะเบียนให้เป็นหมายเลขทะเบียนที่สามารถนำไปใช้งานได้

เทคนิคที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ การใช้แบบจำลองเชิงลึก เช่น Convolutional Recurrent Neural Network (CRNN) หรือ Scene Text Recognition (STR) ซึ่งสามารถจัดการกับลำดับของตัวอักษรได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยงานวิจัยล่าสุด เช่น Bautista & Atienza (2022) ได้เสนอแนวทาง Scene Text Recognition ที่สามารถจัดการลำดับตัวอักษรได้อย่างแม่นยำ ขณะที่ Audomthankun & Nakharacruangsak (2024) ได้ประยุกต์ใช้ OCR ร่วมกับ YOLO สำหรับป้ายทะเบียนในบริบทจริง อย่างไรก็ตาม ในกรณีของภาพจากกล้องวงจรปิดที่มีความละเอียดต่ำและมุมมองเอียง ความแม่นยำของ OCR มักลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งยังคงเป็นข้อจำกัดสำคัญในงานวิจัยล่าสุด โดยเฉพาะในกรณีของภาพป้ายทะเบียนที่มีขนาดเล็กและคุณภาพต่ำ

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงใช้เทคนิคการปรับปรุงคุณภาพของภาพ (Image Enhancement) ก่อนเข้าสู่กระบวนการ OCR เพื่อเพิ่มความชัดเจนของตัวอักษร และช่วยให้ระบบสามารถรู้จำข้อมูลได้ดีขึ้นในสภาพแวดล้อมจริง โดยแนวทางดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยด้านการปรับปรุงคุณภาพภาพ เช่น Nascimento et al. (2024) ที่ใช้เทคนิค Super-Resolution เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการรู้จำป้ายทะเบียน

3.5 การตรวจจับการกระทำผิดด้วยพื้นที่สนใจ (ROI-based Violation Detection)

การตรวจจับการกระทำผิดในงานวิจัยนี้อาศัยแนวคิดของการกำหนดพื้นที่สนใจ (Region of Interest: ROI) เพื่อระบุขอบเขตของพื้นที่ทางเท้า โดยไม่ใช้การวิเคราะห์ลำดับภาพเชิงเวลา เมื่อระบบตรวจพบรถจักรยานยนต์ภายในพื้นที่ที่กำหนด จะถือว่าเป็นการกระทำที่เข้าข่ายการขับขี่บนทางเท้า ซึ่งสามารถนิยามได้จากความสัมพันธ์เชิงตำแหน่งของวัตถุภายในภาพ

แนวทางดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยด้านการตรวจจับวัตถุในสภาพแวดล้อมจริงที่ใช้แบบจำลองเชิงลึก เช่น YOLO ซึ่งถูกนำไปประยุกต์ร่วมกับเงื่อนไขเชิงพื้นที่ (Spatial Constraints) เพื่อระบุเหตุการณ์จากภาพนิ่งหรือวิดีโอ (Ding et al., 2024; Vargoorani & Suen, 2024) นอกจากนี้ การใช้ ROI-Based Filtering ยังช่วยลดจำนวน False Positive และลดภาระในการประมวลผล เมื่อเทียบกับวิธีการวิเคราะห์พฤติกรรมเชิงเวลา (Temporal Analysis) ที่มีความซับซ้อนสูงกว่า โดยเฉพาะในระบบกล้องวงจรปิดที่ต้องการการประมวลผลแบบเวลาจริง อีกทั้งยังเหมาะสมกับการประยุกต์ใช้ในระบบกล้องวงจรปิดจริงที่ต้องการการประมวลผลแบบเวลาจริง

4. กรอบแนวคิดงานวิจัย (Conceptual Framework)

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบตรวจจับรถจักรยานยนต์ที่ขับขี่บนทางเท้า และสามารถรู้จำป้ายทะเบียนจากภาพกล้องวงจรปิด โดยอาศัยเทคนิคการมองเห็นของคอมพิวเตอร์และการเรียนรู้เชิงลึก ซึ่งถูกออกแบบในลักษณะกรอบ

แนวคิดเชิงระบบ (System Framework) โดยกรอบแนวคิดของระบบสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ได้แก่ ข้อมูลนำเข้า (Input) กระบวนการประมวลผล (Process) และผลลัพธ์ (Output) และแสดงความสัมพันธ์ของแต่ละองค์ประกอบในรูปแบบแผนภาพกรอบแนวคิด (Framework Diagram) ดังแสดงใน Figure 1. สามารถอธิบาย ดังนี้

1. ข้อมูลนำเข้า (Input) ข้อมูลนำเข้าของระบบประกอบด้วยภาพหรือวิดีโอจากกล้องวงจรปิด (CCTV) ซึ่งมีลักษณะมุมมองแบบมุมสูง (Top-View) และอยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมจริง เช่น ความแปรผันของแสง การบดบังของวัตถุ และความหนาแน่นของการจราจร โดยข้อมูลนำเข้าดังกล่าวถือเป็นปัจจัยต้นทางที่มีผลโดยตรงต่อทุกขั้นตอนในกระบวนการประมวลผลของระบบ ซึ่งปัจจัยดังกล่าวมีผลต่อประสิทธิภาพของการตรวจจับและการรู้จำข้อมูล

2. กระบวนการประมวลผล (Process) ในส่วนของกระบวนการประมวลผล ระบบเริ่มต้นจากการตรวจจับรถจักรยานยนต์ด้วยโมเดล YOLO ซึ่งเป็นอัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพสูงในการตรวจจับวัตถุแบบเวลาจริง โดยทำหน้าที่เป็นโมดูลหลักในขั้นตอนการรับรู้วัตถุ (Object Perception) จากนั้นทำการวิเคราะห์พฤติกรรมการขับขี่ร่วมกับการกำหนดพื้นที่สนใจ (Region of Interest: ROI) เพื่อแยกพื้นที่ทางเท้าออกจากถนน และใช้เป็นเงื่อนไขในการตรวจสอบการกระทำผิด เมื่อระบบตรวจพบวัตถุอยู่ในพื้นที่ต้องห้าม จะดำเนินการตรวจจับตำแหน่งป้ายทะเบียน และทำการรู้จำตัวอักษรด้วยเทคนิค Optical Character Recognition (OCR) เพื่อแปลงข้อมูลจากภาพเป็นข้อความ โดยขั้นตอนดังกล่าวทำงานต่อเนื่องในลักษณะ Pipeline ภายในกรอบแนวคิดเดียวกัน เพื่อให้เกิดการประมวลผลแบบ End-to-End

3. ผลลัพธ์ (Output) ผลลัพธ์ของระบบประกอบด้วยข้อมูลการตรวจจับการกระทำผิด (Violation Detection) ข้อมูลป้ายทะเบียน (License Plate Number) ภาพหลักฐาน (Captured Evidence) และข้อมูลประกอบ เช่น เวลา (Timestamp) ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการบันทึกเหตุการณ์หรือสนับสนุนการดำเนินการด้านกฎหมาย โดยผลลัพธ์ทั้งหมดถูกจัดเก็บในรูปแบบเหตุการณ์ (Event-Based Output) ตามลำดับของกระบวนการที่เกิดขึ้นในระบบ

จากกรอบแนวคิดดังกล่าวถูกออกแบบให้รองรับสภาพแวดล้อมจริงที่มีความแปรผันสูง และสะท้อนโครงสร้างของระบบในรูปแบบ Framework Diagram ที่เชื่อมโยงระหว่าง Input, Process, Output อย่างเป็นลำดับขั้น ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความแม่นยำของระบบ ทั้งในส่วนของการตรวจจับวัตถุและการรู้จำตัวอักษร

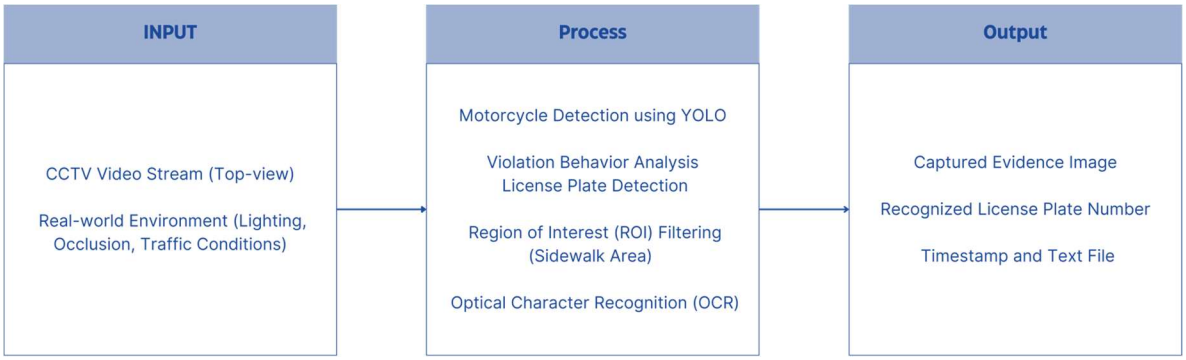


Figure 1. System Overview

5. วิธีดำเนินงานวิจัย (Research Methodology)

โครงสร้างการทำงานของระบบโดยแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ การรับข้อมูล การประมวลผล การจัดการเหตุการณ์ และการแสดงผลลัพธ์ ซึ่งแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังนี้

5.1 การรับข้อมูล (Input)

ในขั้นตอนนี้ ระบบทำการรับข้อมูลจากกล้องวงจรปิดจำนวน 2 ตัว (ด้านหน้าและด้านหลัง) ผ่านกระบวนการ Video Acquisition และแปลงเป็นภาพเฟรมด้วยกระบวนการ Frame Extraction เพื่อใช้ในการประมวลผล

ภาพเฟรมถูกปรับขนาดให้อยู่ในรูปแบบ 640×640 พิกเซล และผ่านกระบวนการปรับทิศทางภาพ (Auto-Orientation) เพื่อให้เหมาะสมกับการฝึกโมเดล

จากนั้นระบบจะกำหนดพื้นที่สนใจ (Region of Interest: ROI Masking) เพื่อจำกัดขอบเขตการวิเคราะห์เฉพาะบริเวณทางเท้า ซึ่งช่วยลดข้อมูลที่ไม่เกี่ยวข้องและเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ ดังแสดงใน Figure 2.

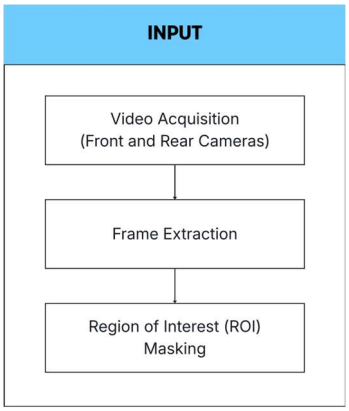


Figure 2. Input Pipeline: Front and Rear Video Capture, Frame Extraction, and ROI Definition

5.2 การประมวลผล (Process)

ระบบทำการตรวจจับวัตถุด้วยกระบวนการ Object Detection โดยพิจารณาวัตถุหลัก ได้แก่ รถจักรยานยนต์ ป้ายทะเบียน บุคคล และจักรยาน โดยใช้แบบจำลอง YOLO ซึ่งถูกฝึกจากชุดข้อมูลที่เตรียมไว้ในงานวิจัยนี้

หลังจากนั้น ระบบจะทำการคัดกรองวัตถุ (Object Filtering) โดยใช้เงื่อนไขด้านตำแหน่ง ขนาด และการซ้อนทับของวัตถุ เพื่อให้เหลือเฉพาะข้อมูลที่มีความเกี่ยวข้องกับเหตุการณ์

ในขั้นตอนถัดไป ระบบจะทำการจับคู่ระหว่างรถจักรยานยนต์และป้ายทะเบียน (Pairing Strategy) โดยพิจารณาทั้งกรณีจากกล้องเดียวกันและข้ามกล้อง เพื่อให้ได้คู่ข้อมูลที่เหมาะสม

จากนั้น ระบบจะตรวจสอบความสัมพันธ์เชิงตำแหน่ง (Spatial Validation) ระหว่างป้ายทะเบียนและรถจักรยานยนต์ เพื่อยืนยันว่าป้ายทะเบียนนั้นเป็นของรถคันเดียวกัน ดังแสดงใน Figure 3.

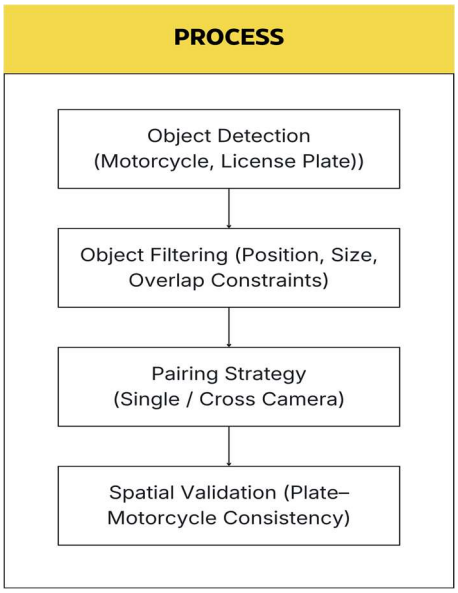


Figure 3. Processing Pipeline: Object Detection, Filtering, Motorcycle–Plate Pairing, and Spatial Validation.

5.3 การจัดการเหตุการณ์และป้ายทะเบียน (Event Processing)

เมื่อระบบตรวจพบว่ารถจักรยานยนต์อยู่ภายในพื้นที่ที่กำหนด ระบบจะดำเนินการ Event Triggering ซึ่งเป็นการระบุเหตุการณ์ที่เข้าข่ายการกระทำผิด

จากนั้น ระบบจะสร้างโฟลเดอร์สำหรับจัดเก็บข้อมูล (Event Folder Creation) โดยอ้างอิงจากเวลา และทำการบันทึกภาพจากกล้องทั้งสองตัว (Evidence Image Capture) เพื่อใช้เป็นหลักฐาน

ในขั้นตอนถัดไป ระบบจะทำการตัดภาพเฉพาะส่วนของป้ายทะเบียน (License Plate Cropping) และปรับปรุงคุณภาพของภาพ (Image Enhancement) เพื่อเพิ่มความชัดเจนของตัวอักษร

จากนั้น ระบบจะดำเนินการรู้จำตัวอักษรด้วยวิธี Deep Learning-based Character Recognition โดยใช้โมเดลที่ผ่านการฝึกสำหรับการตรวจจับและจำแนกอักขระในระดับตัวอักษร (Character-Level) กระบวนการดังกล่าวประกอบด้วยการตรวจจับตำแหน่งของอักขระ (Character Detection) และการจำแนกประเภทของอักขระแต่ละตัว (Character Classification) ก่อนนำผลลัพธ์มาเรียงลำดับและทำ Mapping เป็นข้อความป้ายทะเบียน โดยโมเดลที่ใช้สำหรับการตรวจจับอักขระนี้ เป็นโมเดลที่แยกออกจากโมเดลที่ใช้ในการตรวจจับรถจักรยานยนต์

เมื่อได้ผลลัพธ์จาก OCR ระบบจะทำการคัดเลือกผลลัพธ์ที่เหมาะสม (Result Selection) และปรับรูปแบบข้อมูลให้เป็นมาตรฐาน (License Plate Normalization) เพื่อให้สามารถนำไปใช้งานได้อย่างถูกต้อง ดังแสดงใน Figure 4. ในกรณีที่ผลลัพธ์มีความไม่แน่นอน เช่น การรู้จำอักขระซ้ำหรือค่าความเชื่อมั่นต่ำ ระบบจะใช้กฎเชิงเงื่อนไข (Rule-Based Filtering) เพื่อคัดกรองและเลือกผลลัพธ์ที่มีความน่าเชื่อถือสูงสุด

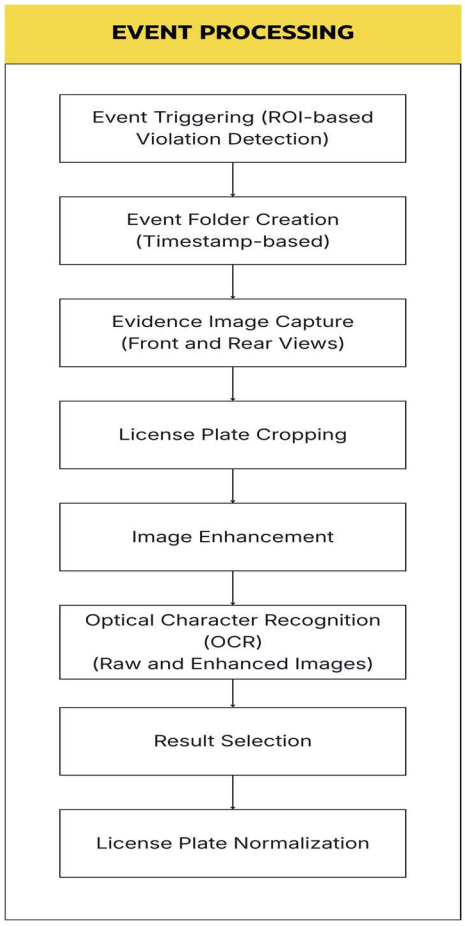


Figure 4. Event Processing Pipeline: Event Detection, Data Storage, Evidence Capture, Plate Cropping, Image Enhancement, OCR, and Result Selection

5.4 การแสดงผลลัพธ์ (Output)

ในขั้นตอนสุดท้าย ระบบจะทำการตรวจสอบข้อมูลซ้ำ (Duplicate Filtering) เพื่อลดการบันทึกข้อมูลซ้ำในช่วงเวลาสั้น ๆ

จากนั้น ระบบจะบันทึกผลลัพธ์ (Output Generation) ซึ่งประกอบด้วยหมายเลขป้ายทะเบียน ภาพหลักฐาน และเวลา ลงในไฟล์และโฟลเดอร์ของเหตุการณ์ ดังแสดงใน Figure 5.

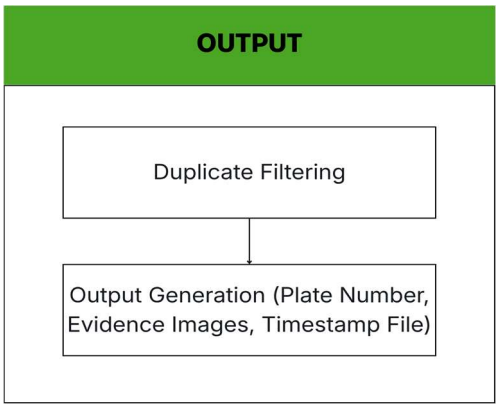


Figure 5. Output Generation: Duplicate Filtering and Output of Plate Number, Evidence Images, and Timestamps

5.5 ชุดข้อมูล (Dataset Description)

ชุดข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยนี้ถูกจัดเก็บจากสภาพแวดล้อมจริง (Real-World CCTV Environment) ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลภาพจากกล้องวงจรปิดที่มีความหลากหลายด้านแสงและมุมมอง ชุดข้อมูลแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

1. รถจักรยานยนต์บนทางเท้าและบนถนน จำนวน 431 ภาพ (467 Instances)
2. ป้ายทะเบียนรถจักรยานยนต์ จำนวน 245 ภาพ (247 Instances)
3. ภาพทางเท้าที่ไม่มีรถจักรยานยนต์ จำนวน 248 ภาพ (248 Instances)

มีการทำ Data Augmentation เช่น Rotation, Shear, Grayscale, Blur และ Noise เพื่อเพิ่มความหลากหลายของข้อมูล หลังจาก Augmentation ชุดข้อมูลมีจำนวนรวม 2,088 ภาพ และถูกแบ่งออกเป็น Training Set (1,746 ภาพ), Validation Set (185 ภาพ) และ Test Set (157 ภาพ) เพื่อใช้ในการฝึกและประเมินผลโมเดล

แบบจำลองที่ใช้ในงานวิจัยนี้ถูกพัฒนาโดยใช้กระบวนการจัดเตรียมข้อมูลผ่านแพลตฟอร์ม Roboflow สำหรับการกำหนดกรอบวัตถุ (Bounding Box Annotation) โดยกำหนดคลาสในการตรวจจับจำนวน 2 คลาส ได้แก่ รถจักรยานยนต์และป้ายทะเบียนรถจักรยานยนต์

หลังจากการจัดเตรียมข้อมูลเสร็จสิ้น ชุดข้อมูลถูกนำมาใช้ในการฝึกแบบจำลองด้วย YOLOv11n (You Only Look Once version 11 – nano) ผ่านไลบรารี Ultralytics บนภาษา Python โดยเริ่มจากโมเดลที่ผ่านการฝึกมาก่อน (Pre-Trained Model) และทำการปรับจูน (Fine-Tuning) ด้วยชุดข้อมูลที่ผู้วิจัยจัดเตรียมขึ้น

ในการฝึกโมเดล ผู้วิจัยกำหนดขนาดภาพ (Image Size) เท่ากับ **960 พิกเซล** และจำนวนรอบการฝึก (Epochs) เท่ากับ **100 รอบ** โดยใช้ชุดข้อมูลที่แบ่งออกเป็น Training Set, Validation Set และ Test Set ตามที่ได้อธิบายไว้ก่อนหน้า เพื่อให้โมเดลสามารถเรียนรู้ลักษณะของวัตถุจากข้อมูลจริงในสภาพแวดล้อมของกล้องวงจรปิดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5.6 การประเมินประสิทธิภาพ (Evaluation Metrics)

การประเมินประสิทธิภาพของระบบใช้ตัวชี้วัด ได้แก่ Precision, Recall และ F1-Score เพื่อวัดความสามารถในการตรวจจับวัตถุและการรู้จำตัวอักษร นอกจากนี้ ยังใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์ผลลัพธ์ ได้แก่ Precision–Recall Curve (PR Curve), F1-Score CurveConfusion Matrix ทั้งนี้เพื่อใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของโมเดลในแต่ละคลาสและวิเคราะห์ความถูกต้องของผลลัพธ์

6. ผลการวิจัย (Results)

ในส่วนของผลการวิจัยนี้ เป็นการนำเสนอผลการทดสอบประสิทธิภาพของระบบตรวจจับรถจักรยานยนต์บนทางเท้าและระบบรู้จำป้ายทะเบียนจากภาพกล้องวงจรปิด โดยใช้ข้อมูลจากการทดสอบจริงจำนวน 100 เหตุการณ์ (Events) ซึ่งแต่ละเหตุการณ์เกิดจากการตรวจพบรถจักรยานยนต์ภายในพื้นที่ที่กำหนด (ROI) และมีการบันทึกข้อมูลจากกล้องทั้งสองมุมมอง

ระบบตรวจจับวัตถุในงานวิจัยนี้ใช้แบบจำลอง YOLO11n ที่ผ่านการฝึกจากชุดข้อมูลในวิธีดำเนินงานวิจัย โดยกำหนดจำนวนคลาสเป็น 2 คลาส ได้แก่ รถจักรยานยนต์ และ ป้ายทะเบียนรถจักรยานยนต์

การประเมินผลใช้ตัวชี้วัด Precision, Recall และ F1-Score สำหรับงานตรวจจับวัตถุ โดยแสดงผลร่วมกับ Confusion Matrix เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของโมเดล

สำหรับการรู้จำป้ายทะเบียน (OCR) ใช้ตัวชี้วัด Character Accuracy และ Plate Accuracy (Exact Match) เพื่อประเมินความถูกต้องของผลลัพธ์

การประเมินผลแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ (1) การตรวจจับวัตถุ (2) การจับคู่ข้อมูล (3) การรู้จำป้ายทะเบียน และ (4) การทำงานของระบบในภาพรวม

6.1 ผลการวิจัยด้านการตรวจจับวัตถุ (Object Detection)

ผลการทดลองจากชุดข้อมูลจำนวน 100 เหตุการณ์ภายในพื้นที่ ROI ระบบสามารถตรวจจับรถจักรยานยนต์ได้ครบทั้ง 100 จาก 100 เหตุการณ์ อย่างไรก็ตาม การประเมินผลในงานวิจัยนี้เป็นแบบ Event-Based Evaluation เนื่องจากระบบจะบันทึกข้อมูลเฉพาะกรณีที่สามารถตรวจจับวัตถุได้เท่านั้น ดังนั้น จึงไม่สามารถคำนวณค่า True Negative (TN) และ False Negative (FN) ได้อย่างครบถ้วน และไม่สามารถใช้ตัวชี้วัด Recall ในความหมายแบบดั้งเดิมได้ เพื่อแก้ข้อจำกัดดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงใช้ Detection Rate ในระดับเหตุการณ์ (Event-Level) ร่วมกับค่า Confidence Score ของโมเดล เพื่อสะท้อนประสิทธิภาพของระบบ คิดเป็นอัตราการตรวจจับ (Detection Rate) เท่ากับ 100% อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาคุณภาพของการตรวจจับจากค่า Confidence ของโมเดล พบว่าค่าเฉลี่ยของ Confidence Score อยู่ที่ 0.80 แสดงให้เห็นว่าระดับความมั่นใจของการตรวจจับมีความแตกต่างกันในแต่ละเหตุการณ์

ในทำนองเดียวกัน การตรวจจับป้ายทะเบียนสามารถตรวจจับได้ครบทั้ง 100 จาก 100 เหตุการณ์ คิดเป็น Detection Rate เท่ากับ 100% โดยมีค่าเฉลี่ยของ Confidence Score อยู่ที่ 0.84 ดังแสดงใน Table 2. นอกจากนี้เพื่อให้การประเมินผลมีความครบถ้วนมากขึ้น ได้มีการแสดงผล Confusion Matrix จากชุดข้อมูลที่ใช้ในการฝึกโมเดล ดังแสดงใน Figure 6. เพื่อสะท้อนประสิทธิภาพของแบบจำลองในระดับ Object Detection

ผลการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองตรวจจับวัตถุจาก Precision–Recall Curve พบว่าแบบจำลองมีค่า Average Precision (AP) สำหรับคลาสรถจักรยานยนต์เท่ากับ **0.990** และคลาสป้ายทะเบียนรถจักรยานยนต์เท่ากับ **0.994** โดยมีค่า mean Average Precision (mAP@0.5) รวมทุกคลาสเท่ากับ **0.992**

นอกจากนี้ เมื่อพิจารณา F1-Score Curve พบว่าค่า F1-Score สูงสุดอยู่ที่ประมาณ **0.98** ซึ่งสะท้อนถึงความสมดุลระหว่าง Precision และ Recall ของแบบจำลองในการตรวจจับวัตถุ

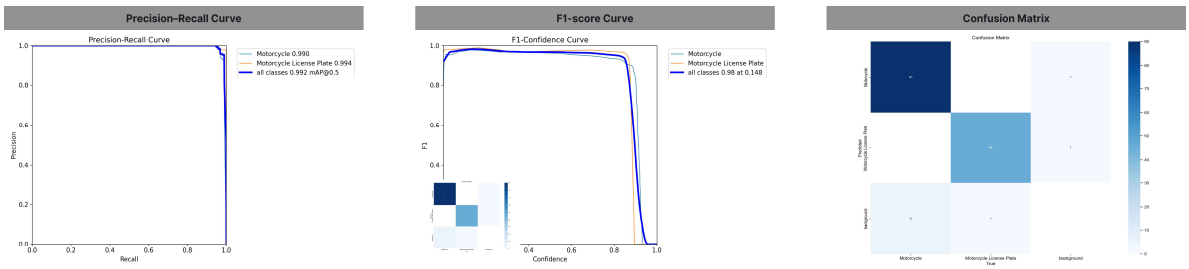


Figure 6. Performance Evaluation of the Proposed Detection Model including Precision–Recall Curve, F1-Score Curve, and Confusion Matrix

จากการวิเคราะห์ผลการทดลอง พบว่า ความแม่นยำของการตรวจจับรถจักรยานยนต์ได้รับอิทธิพลจากตำแหน่งการติดตั้งกล้องและระยะห่างจากพื้นที่ ROI โดยกล้องด้านหน้าซึ่งติดตั้งห่างจากพื้นที่ ROI ประมาณ 10 เมตร ทำให้วัตถุปรากฏในภาพด้วยขนาดที่เล็กลง ส่งผลให้รายละเอียดของวัตถุลดลง และเพิ่มความยากในการตรวจจับ ประกอบกับลักษณะของรถจักรยานยนต์ที่มีความหลากหลายในด้านรูปทรง สี และองค์ประกอบ ทำให้แบบจำลองต้องเรียนรู้ลักษณะที่ซับซ้อน ส่งผลให้ค่าความแม่นยำโดยรวมยังไม่ถึงระดับที่สูงมาก ดังแสดงใน Figure 7.

ในการทดลองนี้ ใช้แบบจำลอง YOLO11n สำหรับการตรวจจับวัตถุ โดยทำการฝึกด้วยชุดข้อมูลที่แบ่งเป็น training, validation และ test ตามสัดส่วนที่กำหนด และมีจำนวนคลาสหลัก ได้แก่ Motorcycle, License Plate และ Background

ในขณะที่การตรวจจับป้ายทะเบียนมีความแม่นยำสูงกว่า แม้ว่าป้ายทะเบียนจะมีขนาดเล็กกว่าตัวรถจักรยานยนต์ก็ตาม เนื่องจากป้ายทะเบียนมีลักษณะเชิงโครงสร้างที่ค่อนข้างเป็นมาตรฐาน เช่น รูปทรงสี่เหลี่ยม อัตราส่วนคงที่ และมีขอบเขตที่ชัดเจน ส่งผลให้แบบจำลองสามารถเรียนรู้ลักษณะดังกล่าวได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่า

ประสิทธิภาพของโมเดลตรวจจับถูกประเมินโดยใช้ค่า Precision, Recall และ F1-Score ร่วมกับ Average Precision (AP) จาก Precision–Recall Curve ซึ่งเป็นมาตรฐานในการประเมินงานด้าน Object Detection

นอกจากนี้ ระบบยังมีการปรับปรุงผลการตรวจจับในขั้นตอนการคัดกรองวัตถุที่ไม่เกี่ยวข้อง และเพิ่มความแม่นยำของระบบในการโฟกัสเฉพาะบริเวณทางเท้า เช่น ขนาดของวัตถุ ตำแหน่งศูนย์กลาง และอัตราส่วนของกรอบวัตถุ ยังช่วยลด False Detection ได้อย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ไม่สามารถสรุปค่า TP, FP, TN และ FN ได้โดยตรงในระดับ Event เนื่องจากระบบมีการคัดกรองวัตถุเบื้องต้น (Filtering) ทำให้การประเมินผลในบางกรณีไม่สามารถนิยามค่าดังกล่าวได้อย่างสมบูรณ์

อย่างไรก็ตาม ความผิดพลาดยังคงเกิดขึ้นในบางกรณี เช่น การเคลื่อนที่ของรถด้วยความเร็วสูง หรือการบดบังของวัตถุอื่น ซึ่งทำให้ระบบไม่สามารถตรวจจับได้ในบางเฟรม



Figure 7. Detection Results in ROI

6.2 ผลการวิจัยด้านการจับคู่ข้อมูล (Object Pairing)

ระบบสามารถจับคู่ข้อมูลระหว่างรถจักรยานยนต์และป้ายทะเบียนได้ทั้งในกรณีที่อยู่ในกล้องเดียวกัน และในกรณีที่ต้องใช้ข้อมูลจากกล้องสองตัว (ด้านหน้าและด้านหลัง) โดยมีการใช้เงื่อนไขเชิงตำแหน่ง (Spatial Constraint) เพื่อยืนยันความสัมพันธ์ของวัตถุ ดังแสดงใน Figure 8. กระบวนการจับคู่นี้ช่วยเพิ่มความแม่นยำเชิงระบบ โดยลด False Association ระหว่างวัตถุ และช่วยให้ข้อมูลป้ายทะเบียนสอดคล้องกับรถจักรยานยนต์ที่ตรวจจับได้จริง

ผลการทดลองพบว่า การใช้กลไกการจับคู่ช่วยเพิ่มความสมบูรณ์ของข้อมูลในแต่ละเหตุการณ์ และลดความคลาดเคลื่อนในการระบุป้ายทะเบียนผิดคัน โดยเฉพาะในกรณีที่มุมกล้องหนึ่งไม่สามารถเห็นป้ายทะเบียนได้อย่างชัดเจน อย่างไรก็ตาม ในบางกรณีที่ป้ายทะเบียนอยู่ไกลหรือมีขนาดเล็กมาก ระบบอาจไม่สามารถจับคู่ข้อมูลได้สำเร็จ



Figure 8. Motorcycle – License Plate Pairing

6.3 ผลการวิจัยด้านการรู้จำป้ายทะเบียน (OCR)

ผลการทดลองในขั้นตอนการรู้จำตัวอักษรจากป้ายทะเบียน โดยประเมินจากชุดข้อมูลจำนวน 100 เหตุการณ์ พบว่า การใช้ภาพต้นฉบับ (RAW) ให้ค่าความถูกต้องเฉลี่ยในระดับตัวอักษรอยู่ที่ 32% ขณะที่ภาพที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ (Enhanced Image) ให้ค่าความถูกต้องเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 46%

ในงานวิจัยนี้ ไม่ได้ใช้ OCR Engine สำเร็จรูป แต่ใช้วิธีการรู้จำอักขระแบบ Deep Learning-based Character Recognition โดยทำการฝึกโมเดลเพื่อจำแนกตัวอักษรและตัวเลขจากป้ายทะเบียนโดยเฉพาะ โดยก่อนเข้าสู่กระบวนการ OCR ระบบได้ทำการตัดภาพเฉพาะบริเวณป้ายทะเบียน (License Plate Cropping) จากภาพต้นฉบับ ดังแสดงใน Figure 9. เพื่อลดสัญญาณรบกวนจากพื้นหลังและเพิ่มความชัดเจนของพื้นที่ตัวอักษร ซึ่งมีส่วนช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการรู้จำตัวอักษร จากนั้นทำการแยกอักขระ (Character Segmentation) และนำอักขระแต่ละตัวเข้าสู่โมเดลที่ผ่านการฝึก เพื่อทำการจำแนก (Classification) ก่อนนำผลลัพธ์มาเรียงลำดับและทำ Mapping เป็นข้อความป้ายทะเบียน

การประเมินความถูกต้องในงานวิจัยนี้ใช้วิธี Position-Based Character Accuracy โดยทำการเปรียบเทียบตัวอักษรในแต่ละตำแหน่งระหว่างผลลัพธ์จากระบบกับข้อมูลจริง (Ground Truth) แบบหนึ่งต่อหนึ่ง โดยกำหนดให้การรู้จำตัวอักษรผิด การอ่านไม่ครบ (Missing) และการมีตัวอักษรเกิน (Insertion) ถูกนับเป็นความผิดพลาดตามจำนวนตำแหน่งที่เกิดขึ้นจริง นอกจากนี้ ยังมีการประเมินในระดับป้ายทะเบียนทั้งชุด (Exact Match Accuracy) เพื่อสะท้อนความสามารถของระบบในการรู้จำป้ายทะเบียนได้ถูกต้องครบทุกตัวอักษร

เมื่อพิจารณาความถูกต้องในระดับป้ายทะเบียนทั้งชุด (Exact Match) พบว่า การใช้ภาพต้นฉบับ (RAW) สามารถรู้จำได้ถูกต้องครบทุกตัวอักษรจำนวน 12 จาก 100 เหตุการณ์ ขณะที่ภาพที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ (Enhanced Image) สามารถรู้จำได้ถูกต้องครบทุกตัวอักษรจำนวน 20 จาก 100 เหตุการณ์

ผลลัพธ์ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงคุณภาพของภาพของภาพมีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพของโมเดลรู้จำอักขระ โดยช่วยเพิ่มทั้ง Character Accuracy และ Exact Match Accuracy อย่างมีนัยสำคัญ

ผลการทดลองสะท้อนให้เห็นว่า แม้ระบบจะสามารถให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องสมบูรณ์ในบางกรณี แต่ความสม่ำเสมอของการรู้จำยังเป็นประเด็นสำคัญที่ต้องพัฒนาเพิ่มเติมสำหรับการนำไปใช้งานจริง

ในการประเมินประสิทธิภาพของระบบรู้จำตัวอักษรจากป้ายทะเบียน ผู้วิจัยได้ใช้ตัวชี้วัดหลัก 2 รูปแบบ ได้แก่ Character Accuracy และ Exact Match Accuracy เพื่อสะท้อนความสามารถของระบบทั้งในระดับตัวอักษรและระดับป้ายทะเบียนโดยรวม

Character Accuracy เป็นการวัดความถูกต้องของการรู้จำในระดับตัวอักษร โดยพิจารณาความถูกต้องของอักขระในแต่ละตำแหน่ง เมื่อเทียบกับค่าจริงของป้ายทะเบียน

สูตร : *Character Accuracy (%) = (จำนวนตัวอักษรที่อ่านถูกต้อง ÷ จำนวนตัวอักษรทั้งหมด) × 100*

โดยในการประเมิน หากตัวอักษรในตำแหน่งใดถูกต้องจะนับเป็นค่าที่ถูกต้อง แต่หากมีการอ่านผิด อ่านไม่ครบ หรือสลับตำแหน่ง จะถูกนับเป็นค่าที่ไม่ถูกต้องในตำแหน่งนั้น

(Research Article)

Exact Match Accuracy เป็นการวัดความถูกต้องของการรู้จำในระดับป้ายทะเบียน โดยจะพิจารณาว่าผลลัพธ์ถูกต้องก็ต่อเมื่ออักขระทุกตัวในป้ายทะเบียนตรงกับค่าจริงทั้งหมด

สูตร : *Exact Match Accuracy (%) = (จำนวนป้ายทะเบียนที่อ่านถูกต้องทั้งหมด ÷ จำนวนป้ายทะเบียนทั้งหมด) × 100*

โดยหากมีอักขระผิดแม้เพียงหนึ่งตำแหน่ง จะถือว่าป้ายทะเบียนนั้นไม่ถูกต้องทั้งหมด

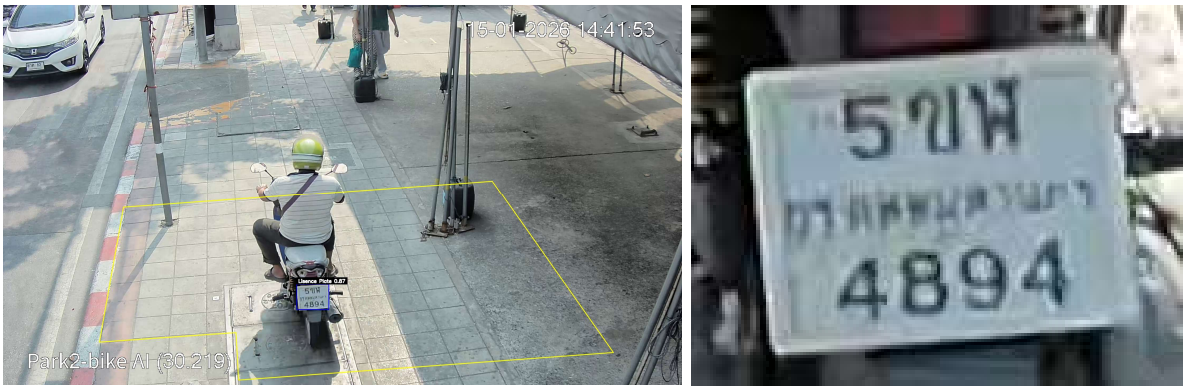


Figure 9. License Plate Cropping

การปรับปรุงคุณภาพของภาพช่วยเพิ่มความคมชัดของตัวอักษร และลดผลกระทบจาก Noise และแสงที่ไม่สม่ำเสมอ อย่างไรก็ตาม ปัจจัย เช่น มุมกล้องแบบ Top-View ความละเอียดของภาพ และการเคลื่อนที่ของวัตถุ ยังคงส่งผลต่อความแม่นยำของ OCR ดังแสดงใน Figure 10.



Figure 10. RAW vs Enhanced OCR Results

นอกจากนี้ ยังพบว่าความผิดพลาดของ OCR มักเกิดจากการอ่านตัวอักษรผิดรูป อ่านไม่ครบ หรืออ่านสลับตำแหน่ง สาเหตุหลักของความคลาดเคลื่อนในการรู้จำอักขระ (OCR) ในระบบที่นำเสนอสามารถอธิบายได้จากหลายปัจจัยสำคัญดังนี้

1. คุณภาพของภาพป้ายทะเบียนที่ถูกตัดออกมามีความละเอียดและความคมชัดจำกัด แม้ว่าระบบจะสามารถตรวจจับตำแหน่งของป้ายทะเบียนได้ถูกต้อง แต่ภาพที่ได้มักประสบปัญหาความเบลอ ความคมชัดไม่เพียงพอ และรายละเอียดของตัวอักษรที่สูญหาย ส่งผลให้เกิดการจำแนกอักขระผิดพลาด โดยเฉพาะในกรณีของตัวอักษรที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน

2. ลักษณะการติดตั้งกล้องในมุมมองด้านบน (Top-View) ส่งผลให้ภาพป้ายทะเบียนเกิดความบิดเบี้ยว เช่น การเอียงของวัตถุและความผิดเพี้ยนของมุมมอง (Perspective Distortion) ดังแสดงใน Figure 11. ซึ่งทำให้รูปทรงของ

ตัวอักษรถูกบิดเปลี่ยนไปจากรูปแบบปกติ ส่งผลกระทบต่อความสามารถของระบบ OCR ในการแยกแยะลักษณะเฉพาะของอักขระ

3. สภาพแสงที่เปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา เช่น เงา แสงสะท้อน และสภาวะแสงน้อย มีผลโดยตรงต่อคุณภาพของภาพป้ายทะเบียน โดยอาจทำให้บางส่วนของตัวอักษรสูญหายหรือเกิดความสว่างเกินไป (Overexposure) ส่งผลให้การรู้จำอักขระมีความคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้น

4. ความไม่สมบูรณ์ของข้อมูลภาพ เช่น การตัดภาพที่แคบเกินไป ขนาดป้ายทะเบียนที่เล็ก หรือการบดบังบางส่วนของตัวอักษร อาจทำให้ระบบ OCR ไม่สามารถรับรู้รูปแบบของป้ายทะเบียนได้ครบถ้วน ส่งผลให้เกิดข้อผิดพลาดในลักษณะการอ่านตัวอักษรเกิน (Insertion) หรือขาดหาย (Omission)

5. ลักษณะรูปทรงของอักขระภาษาไทยและตัวเลขบางตัวที่มีความคล้ายคลึงกัน เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ระบบ OCR เกิดความสับสน โดยเฉพาะเมื่อคุณภาพของภาพไม่เพียงพอ ส่งผลให้เกิดการจำแนกอักขระผิดพลาดได้ง่าย

ทั้งนี้จากการวิเคราะห์เพิ่มเติม พบว่าป้ายทะเบียนที่ถูกตัดออกจากภาพมีขนาดเพียงประมาณ 0.44% ของภาพทั้งหมด ส่งผลให้ข้อมูลเชิงรายละเอียดของตัวอักษรมีจำกัด โดยเฉพาะเมื่อพิจารณาร่วมกับความละเอียดของภาพที่ลดลงหลังการ crop ทำให้การรู้จำอักขระมีความคลาดเคลื่อนสูง



Figure 11. OCR Failure Cases

Table 2. presents the Overall Performance of the Proposed System Across Major Components, Evaluated Using 100 Test Events

Component	Metric	Method	Value
Motorcycle Detection	Detection Rate	YOLO-based	100% (100/100)
Motorcycle Detection	Avg. Confidence	YOLO-based	0.80
License Plate Detection	Detection Rate	YOLO-based	100% (100/100)
License Plate Detection	Avg. Confidence	YOLO-based	0.84
OCR (RAW)	Character Accuracy	OCR	32%
OCR (Enhanced)	Character Accuracy	OCR + Image Enhancement	46%
OCR (RAW)	Exact Match	OCR	12% (12/100)
OCR (Enhanced)	Exact Match	OCR + Image Enhancement	20% (20/100)

6.4 ผลการทำงานของระบบในภาพรวม (System-Level Performance)

ระบบสามารถทำงานแบบครบวงจร ตั้งแต่การตรวจจับวัตถุ การจับคู่ข้อมูล การตัดภาพป้ายทะเบียน การปรับปรุงคุณภาพภาพ และการรู้จำตัวอักษร โดยในขั้นตอนการตรวจจับวัตถุ ใช้โมเดล YOLO สำหรับการตรวจจับรถจักรยานยนต์และป้ายทะเบียน และในขั้นตอนการรู้จำอักขระ ใช้โมเดล Deep Learning แยกต่างหากสำหรับการจำแนกตัวอักษรในระดับ Character-Level โดยสามารถสร้างเหตุการณ์ (Event) และบันทึกข้อมูลในรูปแบบโฟลเดอร์ตามเวลาได้โดยอัตโนมัติ

ในแต่ละเหตุการณ์ ระบบจะบันทึกข้อมูลสำคัญ ได้แก่ ภาพจากกล้องทั้งสองมุม ภาพป้ายทะเบียนที่ถูกตัด และผลลัพธ์จาก OCR ในรูปแบบไฟล์ข้อความ (plate_text.txt) ซึ่งช่วยให้สามารถตรวจสอบข้อมูลย้อนหลังได้อย่างสะดวก

ประสิทธิภาพของระบบโดยรวมถูกประเมินจากทั้งส่วนของการตรวจจับ (Precision, Recall, F1-Score และ Average Precision (AP) ร่วมกับ Confusion Matrix) และส่วนของการรู้จำ (Character Accuracy และ Plate-Level Accuracy) นอกจากนี้ ระบบยังมีการป้องกันการบันทึกข้อมูลซ้ำ (Duplicate Filtering) ซึ่งช่วยลดข้อมูลซ้ำซ้อนและเพิ่มความน่าเชื่อถือของข้อมูล ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถทำงานได้ในลักษณะ End-to-End ภายใต้สภาพแวดล้อมจริงของกล้องวงจรปิด อย่างไรก็ตาม ยังมีข้อจำกัดในบางกรณี เช่น วัตถุเคลื่อนที่เร็ว มุมมองของกล้อง และคุณภาพของภาพ ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพของทั้งการตรวจจับและการรู้จำ

7. สรุปผลการวิจัย (Conclusion)

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบตรวจจับรถจักรยานยนต์ที่ขับขี่บนทางเท้า และระบบตรวจจับและรู้จำป้ายทะเบียนจากภาพกล้องวงจรปิด โดยใช้เทคนิคการมองเห็นของคอมพิวเตอร์และการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) ร่วมกับแบบจำลองในตระกูล YOLO และเทคนิค Optical Character Recognition (OCR) เพื่อให้สามารถทำงานได้ในสภาพแวดล้อมจริง

จากผลการทดลองบนข้อมูลจำนวน 100 เหตุการณ์ พบว่าระบบสามารถตรวจจับรถจักรยานยนต์ได้ที่ความแม่นยำเฉลี่ย 80% และสามารถตรวจจับตำแหน่งป้ายทะเบียนได้ที่ 84% แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของระบบในการทำงานภายใต้สภาพแวดล้อมจริงที่มีความซับซ้อน เช่น ความหลากหลายของมุมกล้อง สภาพแสง และการเคลื่อนที่ของวัตถุ โดยค่าความแม่นยำดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่าระบบสามารถรักษาสมดุลระหว่างความเร็วในการประมวลผลและความถูกต้องได้ในระดับที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานจริง ซึ่งเป็นคุณลักษณะสำคัญของโมเดลในตระกูล YOLO ที่ถูกออกแบบมาเพื่อ Real-Time Detection

ในส่วนของการรู้จำป้ายทะเบียน พบว่าการใช้ภาพต้นฉบับ (RAW) ให้ความถูกต้องเฉลี่ย 32% ขณะที่การใช้ภาพที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ (Enhanced Image) สามารถเพิ่มความถูกต้องเป็น 46% ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าการปรับปรุงคุณภาพของภาพมีผลต่อประสิทธิภาพของระบบ OCR อย่างมีนัยสำคัญ ผลลัพธ์ดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า Bottleneck หลักของระบบไม่ได้อยู่ที่ขั้นตอนการตรวจจับวัตถุ แต่เกิดจากข้อจำกัดของคุณภาพข้อมูลนำเข้าในขั้นตอน OCR ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อความสามารถในการรู้จำตัวอักษร

นอกจากนี้ ระบบยังสามารถทำงานแบบครบวงจร (End-to-End) ตั้งแต่การตรวจจับวัตถุ การจับคู่ข้อมูลระหว่างรถจักรยานยนต์และป้ายทะเบียน การตัดภาพ การปรับปรุงคุณภาพของภาพ การรู้จำตัวอักษร และการจัดเก็บผลลัพธ์ในรูปแบบเหตุการณ์ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของระบบในการนำไปใช้งานจริงในบริบทของระบบเฝ้าระวัง (Surveillance System) และการบังคับใช้กฎหมาย โดยสามารถลดภาระของเจ้าหน้าที่ในการตรวจสอบข้อมูลจำนวนมากได้อย่างมีนัยสำคัญ

โดยสรุป งานวิจัยนี้สามารถแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการพัฒนาระบบตรวจจับพฤติกรรมการขับขี่ที่ผิดกฎหมายร่วมกับการรู้จำป้ายทะเบียนจากกล้องวงจรปิดในสภาพแวดล้อมจริง และยืนยันว่าการผสานเทคนิคการตรวจจับวัตถุร่วมกับ OCR ภายใต้ข้อจำกัดของกล้องวงจรปิดทั่วไป สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระดับปฏิบัติการได้ แม้ว่ายังต้องมีการปรับปรุงในส่วนของความแม่นยำของ OCR ในอนาคต

8. อภิปรายผลการวิจัย (Discussion)

ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถตรวจจับรถจักรยานยนต์และป้ายทะเบียนจากภาพกล้องวงจรปิดได้ในระดับที่น่าพอใจ โดยเฉพาะในขั้นตอนการตรวจจับวัตถุซึ่งให้ค่าความแม่นยำอยู่ในระดับ 80–84% สอดคล้องกับแนวทางของโมเดลในตระกูล YOLO ที่เน้นการประมวลผลแบบ Real-Time และสามารถรักษาสมดุลระหว่างความเร็วและความแม่นยำได้ (Wang et al., 2022; Ultralytics, 2023) อย่างไรก็ตาม ผลลัพธ์ดังกล่าวยังสะท้อนข้อจำกัดของการตรวจจับวัตถุขนาดเล็ก เช่น ป้ายทะเบียน โดย Wang et al. (2022) ระบุว่าประสิทธิภาพของ YOLO มีแนวโน้มลดลงเมื่อวัตถุมีขนาด

เล็กหรือมีรายละเอียดจำกัด ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของงานวิจัยนี้ที่พบว่าการตรวจจับป้ายทะเบียนมีความท้าทายมากกว่าการตรวจจับรถจักรยานยนต์

การกำหนดพื้นที่สนใจ (ROI) และการใช้เงื่อนไขในการคัดกรองวัตถุ มีบทบาทสำคัญในการเพิ่มความแม่นยำของระบบ ซึ่งแนวทางดังกล่าวสอดคล้องกับงานประยุกต์ด้านการตรวจจับป้ายทะเบียน เช่น Nitmai et al. (2023) และ Audomthankun & Nakharacruangsak (2024) ที่มีการใช้การกำหนดพื้นที่หรือบริบทของภาพเพื่อช่วยลด False Positive และเพิ่มความแม่นยำของระบบ

ในส่วนของการจับคู่ข้อมูลระหว่างรถจักรยานยนต์และป้ายทะเบียน พบว่าการใช้ข้อมูลจากกล้องสองมุมมองช่วยเพิ่มความสมบูรณ์ของข้อมูล แนวคิดนี้มีความสอดคล้องกับงานของ Ding et al. (2024) ที่ใช้ข้อมูลเชิงเวลาและหลายเฟรมเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการติดตามและรู้จำป้ายทะเบียน โดยการใช้หลายมุมมองช่วยเพิ่มโอกาสในการได้ภาพที่เหมาะสมต่อการประมวลผล

ในด้านการรู้จำป้ายทะเบียน (OCR) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงคุณภาพของภาพสามารถเพิ่มความถูกต้องของ OCR จาก 32% เป็น 46% ซึ่งสอดคล้องกับของ Nascimento et al. (2024) ที่แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มคุณภาพของภาพ เช่น Super-Resolution และการปรับปรุงรายละเอียดของตัวอักษร สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบรู้จำป้ายทะเบียนได้อย่างมีนัยสำคัญ

นอกจากนี้งานของ Vargoorani & Suen (2024) ยังชี้ให้เห็นว่าลักษณะของตัวอักษรและรูปแบบฟอนต์มีผลต่อความแม่นยำของ OCR ซึ่งสอดคล้องกับข้อผิดพลาดที่พบในงานวิจัยนี้ เช่น การอ่านผิดรูปหรือสับสนระหว่างตัวอักษรที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน

อย่างไรก็ตาม ค่าความแม่นยำของ OCR ยังอยู่ในระดับที่ต่ำเมื่อเทียบกับงานที่ใช้ข้อมูลคุณภาพสูง ซึ่งสามารถอธิบายได้จากข้อจำกัดของกล้องวงจรปิด เช่น ความละเอียดของป้ายทะเบียนที่มีขนาดเล็ก มุมมองแบบ Top-View และ Motion Blur ซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลโดยตรงต่อความสามารถของโมเดลรู้จำตัวอักษร (Nascimento et al., 2024) ในมุมของ Sequence Recognition งานของ Bautista & Atienza (2022) ชี้ให้เห็นว่าการรู้จำข้อความจากภาพที่มีความบิดเบี้ยวหรือมี Noise สูง จะทำให้โมเดลเกิดข้อผิดพลาดในลักษณะการสลับลำดับหรืออ่านไม่ครบ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของงานวิจัยนี้

เมื่อพิจารณาในภาพรวม ระบบสามารถทำงานแบบครบวงจร (End-to-End) ได้ ซึ่งมีความสอดคล้องกับแนวโน้มของงานวิจัยสมัยใหม่ที่มุ่งเน้นการพัฒนาระบบแบบบูรณาการตั้งแต่การตรวจจับจนถึงการรู้จำ เพื่อให้สามารถนำไปใช้งานจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Ding et al., 2024)

อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดหลักของระบบยังคงอยู่ที่ความแม่นยำของ OCR และคุณภาพของภาพ ดังนั้น แนวทางในอนาคตควรมุ่งเน้นไปที่การใช้เทคนิคขั้นสูง เช่น Super-Resolution หรือการพัฒนาโมเดล OCR ที่ออกแบบเฉพาะสำหรับป้ายทะเบียนภาษาไทย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบโดยรวม (Nascimento et al., 2024) และในบริบทของการใช้งานจริง ควรมีขั้นตอน Human Verification ร่วมกับระบบอัตโนมัติ เพื่อให้ผลลัพธ์มีความน่าเชื่อถือเพียงพอสำหรับการใช้งานด้านกฎหมายและความปลอดภัย

9. ข้อเสนอแนะงานวิจัย (Recommendation)

จากผลการวิจัยพบว่ายังมีแนวทางในการพัฒนาระบบเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในอนาคต

1. ในด้านการรู้จำป้ายทะเบียน (OCR) แม้ว่าการปรับปรุงคุณภาพของภาพจะช่วยเพิ่มความแม่นยำได้ แต่ยังมีข้อจำกัดในกรณีภาพเบลอหรือมุมเอียง ในงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีที่ไม่ซับซ้อนเพื่อให้เหมาะกับการใช้งานจริง ในอนาคตสามารถพัฒนาโมเดล OCR เฉพาะสำหรับป้ายทะเบียนภาษาไทย หรือประยุกต์ใช้เทคนิคขั้นสูง เช่น Super-Resolution และ Sequence Modeling เพื่อเพิ่มความแม่นยำในสภาพแวดล้อมที่มีความท้าทาย

2. ในขั้นตอนการตรวจจับวัตถุ ได้ใช้การกำหนดพื้นที่สนใจ (ROI) และเงื่อนไขเชิงตำแหน่งเพื่อเพิ่มความแม่นยำซึ่งเหมาะกับการใช้งานจริง อย่างไรก็ตามงานวิจัยในอนาคตสามารถพัฒนาโมเดลที่เรียนรู้บริบทของภาพ (Context-Aware Learning) ได้โดยอัตโนมัติ เพื่อลดการพึ่งพาการกำหนดเงื่อนไขแบบกำหนดตายตัว และเพิ่มความยืดหยุ่นของระบบในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน

3. ควรเพิ่มจำนวนและความหลากหลายของข้อมูล เช่น สภาพแสงและมุมกล้องที่แตกต่าง เพื่อให้การประเมินผลครอบคลุมมากยิ่งขึ้น รวมถึงการเก็บข้อมูลในสถานการณ์จริงระยะยาว (Long-Term Deployment Data) เพื่อศึกษาความเสถียรของระบบ และผลกระทบจากปัจจัยแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

4. ระบบสามารถพัฒนาต่อยอดโดยเชื่อมต่อกับระบบอื่น เช่น ระบบแจ้งเตือนหรือระบบจัดเก็บข้อมูล เพื่อรองรับการใช้งานจริงในระดับองค์กร โดยในเชิงการนำไปใช้งานจริง (Deployment) ควรมีการออกแบบระบบให้รองรับการทำงานแบบ Real-Time การจัดการข้อมูลขนาดใหญ่ (Data Pipeline) และมีขั้นตอนตรวจสอบความถูกต้องโดยมนุษย์ (Human-in-the-Loop) เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของผลลัพธ์ในบริบทการบังคับใช้กฎหมาย

นอกจากนี้ ควรมีการประเมินประสิทธิภาพของระบบในเชิงปฏิบัติการ เช่น Latency ของระบบ อัตราการแจ้งเตือนที่ถูกต้อง (True Alert Rate) และความสามารถในการทำงานต่อเนื่อง (System Robustness) เพื่อให้มั่นใจว่าสามารถนำไปใช้งานได้จริงในระดับองค์กร

10. การเปิดเผยการใช้ปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ (Declaration of Generative AI)

งานวิจัยฉบับนี้มีการใช้ปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ (Generative Artificial Intelligence: Generative AI) เพื่อเป็นเครื่องมือสนับสนุนในการตรวจสอบและปรับปรุงคุณภาพของต้นฉบับ โดยเลือกใช้ OpenAI ChatGPT เพื่อช่วยตรวจสอบความถูกต้องทางภาษา ปรับปรุงโครงสร้างประโยคให้มีความกระชับตามหลักวิชาการ ตรวจสอบความสอดคล้องของรูปแบบการอ้างอิง ทั้งนี้เครื่องมือปัญญาประดิษฐ์ดังกล่าวถูกใช้ในลักษณะผู้ช่วยในการตรวจสอบและปรับปรุงบทความเท่านั้น มิได้ถูกใช้ในการสร้างผลการวิจัย การวิเคราะห์ข้อมูล การสร้างชุดข้อมูล หรือการตัดสินใจแทนผู้วิจัยแต่อย่างใด โดยผู้วิจัยเป็นผู้ดำเนินการศึกษา ออกแบบระบบ ทดลอง เก็บข้อมูล วิเคราะห์ผล และเรียบเรียงสาระสำคัญทั้งหมดด้วยตนเอง

11. การแสดงบทบาทผู้เขียน (CRediT Author Statement)

Pichate Keawcharoen: Conceptualization, Methodology, Software, Validation, Formal Analysis, Investigation, Resources, Data Curation, Writing-Original Draft, Visualization.

Tanun Jaruvitayakovit: Conceptualization, Validation, Formal Analysis, Writing-Review & Editing, Supervision, Project Administration.

All authors read and approved the final manuscript.

12. เอกสารอ้างอิง (References)

Audomthankun, P., & Nakharacruangsak, S. (2024). Enhancing the Efficiency of License Plate Detection Using YOLO and Optical Character Recognition. Journal of Science and Technology Southeast Bangkok University, 4(2), 140–150. https://doi.org/10.14456/jsci-sbu.2024.19 (In Thai)

Bautista, D., & Atienza, R. (2022). *Scene Text Recognition with Permuted Autoregressive Sequence Models*. arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2207.06966

Ding, H., Wang, Q., Gao, J., & Li, Q. (2024). *A Training-Free Framework for Video License Plate Tracking and Recognition with Only One-Shot*. arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2408.05729

Nascimento, V., Laroca, R., Ribeiro, R. O., Schwartz, W. R., & Menotti, D. (2024, September 30 – October 3). Enhancing License Plate Super-Resolution: A Layout-Aware and Character-Driven Approach. *2024 37th SIBGRAPI Conference on Graphics, Patterns and Images*, 1–6. Institute of Electrical and Electronics Engineers. https://doi.org/10.1109/SIBGRAPI62404.2024.10716303

Nitmai, D., Porsarn, S., & Tangchoopong, T. (2023). Vehicle License Plate Detection and Recognition for Parking Management System. *Rattanakosin Journal of Science and Technology, 5*(2), 72–86. (In Thai)

Ultralytics. (2023). *Ultralytics YOLO Docs*. https://docs.ultralytics.com

(Research Article)

Vargoorani, Z. E., & Suen, C. Y. (2024). License Plate Detection and Character Recognition Using Deep Learning and Font Evaluation (Vol. 15154, pp. 231–242). https://doi.org/10.1007/978-3-031-71602-7_20

Wang, C.-Y., Bochkovskiy, A., & Liao, H.-Y. M. (2022). *YOLOv7: Trainable Bag-of-Freebies Sets New State-of-the-Art for Real-Time Object Detectors*. arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2207.02696

May-August 2026, 4(2), e3896
DOI: 10.65205/jcct.2026.e3896
Journal of Computer and Creative Technology
วารสารคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสร้างสรรค์
ISSN 2985-1580 (Print)
ISSN 2985-1599 (Online)

(Research Article)

Enhancing Silkworm Feeding Efficiency at Each Larval Stage Using Chatbot Technology to Improve Silk Production Capacity in Surin Province

Suphattra Wayalun[1,*], Songsak Meesit[2], and Suphacai Kaeochan[3]

[1,2]Program in Computer Technology, Faculty of Industrial Technology, Surindra Rajabhat University, Surin 32000, Thailand; Email: [1]suphatra@srru.ac.th, [2]252hot@srru.ac.th
[3]Program in Mechanical and Automotive Engineering Technology, Faculty of Industrial Technology, Surindra Rajabhat University, Surin 32000, Thailand; Email: [3]supachai_2518@hotmail.co.th

[*]*Corresponding author:* Suphattra Wayalun (suphatra@srru.ac.th)

Received: 14 April 2026; **Revised:** 21 July 2026; **Accepted:** 24 July 2026; **Published:** 24 August 2026

Abstract

In Surin Province, silkworm farming runs on memory. Feeding recommendations vary by larval stage, yet most rely on memory and informal knowledge passed between generations. This study developed and evaluated MaiKham AI, a domain-specific chatbot built on a Retrieval-Augmented Generation (RAG) architecture, designed to deliver stage-specific feeding guidance through text, voice, and image. The study had two objectives: assessing technical performance of the chatbot, and measuring its effect on sericulture productivity and technology acceptance. A quasi-experimental design was used. Fifty silkworm farmers in Surin Province were purposively selected 25 used the chatbot, 25 continued conventional practice. The RAG system drew on a 52-week silkworm rearing manual loaded into Google AI Studio's Knowledge Base, with Gemini 1.5 Pro generating responses grounded in that domain knowledge. Expert panels rated the system 4.58 out of 5.00 (S.D. = 0.24). Chatbot users harvested heavier cocoons and higher-grade silk than the control group ($p < 0.001$), with yield gains of 70–90% across rearing cycles. On the Technology Acceptance Model, farmers scored Perceived Usefulness at 4.38 (S.D. = 0.78) and Perceived Ease of Use at 4.46 (S.D. = 0.87); elderly farmers who had initially resisted the phone adapted more quickly once they could speak their questions aloud. After a single structured training session, 94% used the system without assistance. RAG based chatbots appear capable of filling the knowledge gap in smallholder sericulture, even where farmers are older and digitally inexperienced.

Keywords: Retrieval-Augmented Generation, Agricultural Chatbot, Silkworm Feeding Management, Technology Acceptance Model, Surin Province

Copyright © 2026 Journal of Computer and Creative Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC-ND).

Citation:
Wayalun, S., Meesit, S., & Kaeochan, S. (2026). Enhancing Silkworm Feeding Efficiency at Each Larval Stage Using Chatbot Technology to Improve Silk Production Capacity in Surin Province. *Journal of Computer and Creative Technology, 4*(2), e3896. https://doi.org/10.65205/jcct.2026.e3896

May-August 2026, 4(2), e3896
DOI: 10.65205/jcct.2026.e3896
Journal of Computer and Creative Technology
วารสารคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสร้างสรรค์
ISSN 2985-1580 (Print)
ISSN 2985-1599 (Online)

(Research Article)

การยกระดับประสิทธิภาพการให้อาหารหนอนไหมตามช่วงวัยด้วยเทคโนโลยีแชทบอท เพื่อเพิ่มกำลังการผลิตผ้าไหม จังหวัดสุรินทร์

สุพัตรา วะยะลุน[1,*] ทรงศักดิ์ มีสิทธิ์[2] และ ศุภชัย แก้วจันทร์[3]

[1,2]สาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์ 32000 ประเทศไทย; Email: [1]suphatra@srru.ac.th, [2]252hot@srru.ac.th
[3]สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกลและยานยนต์ไฟฟ้า คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์ 32000 ประเทศไทย; Email: [3]supachai_2518@hotmail.co.th

[*]*ผู้ประพันธ์บรรณกิจ:* สุพัตรา วะยะลุน (suphatra@srru.ac.th)

รับบทความ: 14 เมษายน 2569; **แก้ไขบทความ:** 21 กรกฎาคม 2569; **ตอบรับบทความ:** 24 กรกฎาคม 2569; **เผยแพร่บทความ:** 24 สิงหาคม 2569

บทคัดย่อ

เกษตรกรผู้เลี้ยงไหมในจังหวัดสุรินทร์ยังคงเผชิญกับความท้าทายอย่างต่อเนื่อง อันเป็นผลมาจากคำแนะนำในการให้อาหารที่แตกต่างกันไปตามช่วงวัยของหนอนไหม แต่ส่วนใหญ่ยังคงพึ่งพาความจำและความรู้ที่ไม่เป็นทางการถ่ายทอดกันมาระหว่างรุ่น การศึกษานี้ได้พัฒนาและประเมิน MaiKham AI ซึ่งเป็นแชทบอทเฉพาะทางที่สร้างขึ้นบนสถาปัตยกรรม Retrieval-Augmented Generation (RAG) ซึ่งออกแบบมาเพื่อให้คำแนะนำการให้อาหารตามช่วงวัยผ่านการโต้ตอบด้วยข้อความ เสียง และภาพ การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ 2 ข้อ ได้แก่ การประเมินประสิทธิภาพทางเทคนิคของแชทบอท และการวัดผลต่อผลผลิตการเลี้ยงไหมและการยอมรับเทคโนโลยีของเกษตรกร ใช้รูปแบบการวิจัยกึ่งทดลอง คัดเลือกเกษตรกรผู้เลี้ยงไหม 50 คนในจังหวัดสุรินทร์แบบเจาะจง แบ่งเป็นกลุ่มที่ใช้แชทบอท (n = 25) หรือกลุ่มการปฏิบัติตามวิธีการดั้งเดิม (n = 25) ระบบ RAG ซึ่งได้มาจากคู่มือการเลี้ยงไหมที่โหลดลงในฐานความรู้ของ Google AI Studio โดยใช้ Gemini 1.5 Pro ในการสร้างคำตอบที่อิงจากความรู้ในสาขานั้น การประเมินจากผู้เชี่ยวชาญให้คะแนนระบบที่ 4.58 จาก 5.00 (S.D. = 0.24) เกษตรกรที่ใช้ MaiKham AI ผลิตรังไหมที่มีน้ำหนักมากกว่าและไหมที่มีคุณภาพสูงกว่ากลุ่มควบคุม ($p < 0.001$) โดยมีการเพิ่มผลผลิต 70–90% ตลอดรอบการเลี้ยง ด้านการยอมรับเทคโนโลยี เกษตรกรให้คะแนน การรับรู้ประโยชน์ที่ 4.38 (S.D. = 0.78) และการรับรู้ถึงความง่ายในการใช้งานที่ 4.46 (S.D. = 0.87) โดยเฉพาะเกษตรกรผู้สูงอายุ สามารถปรับตัวได้เร็วกว่าที่คาดไว้เมื่อมีการป้อนข้อมูลด้วยเสียง หลังจากการฝึกอบรมแบบมีโครงสร้าง ผู้เข้าร่วม 94% สามารถใช้งานระบบได้อย่างอิสระ งานวิจัยนี้ชี้ว่าแชทบอทบนสถาปัตยกรรม RAG สามารถนำไปใช้จริงในการเลี้ยงไหมระดับครัวเรือนได้ โดยเฉพาะในกลุ่มเกษตรกรสูงอายุที่มีทักษะดิจิทัลจำกัด RAG

คำสำคัญ: การสร้างข้อมูลเสริมด้วยการค้นคืน, แชทบอทด้านการเกษตร, การจัดการการให้อาหารไหม, โมเดลการยอมรับเทคโนโลยี, จังหวัดสุรินทร์

Copyright © 2026 Journal of Computer and Creative Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC-ND).

การอ้างอิง:
สุพัตรา วะยะลุน, ทรงศักดิ์ มีสิทธิ์, และ ศุภชัย แก้วจันทร์. (2569). การยกระดับประสิทธิภาพการให้อาหารหนอนไหมตามช่วงวัยด้วยเทคโนโลยีแชทบอทเพื่อเพิ่มกำลังการผลิตผ้าไหม จังหวัดสุรินทร์. *วารสารคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสร้างสรรค์, 4*(2), e3896. https://doi.org/10.65205/jcct.2026.e3896

(Research Article)

1. บทนำ (Introduction)

ในจังหวัดสุรินทร์ เกษตรกรผู้เลี้ยงไหมส่วนใหญ่อายุเกิน 50 ปีขึ้นไป และยังคงใช้วิธีให้อาหารหนอนไหมตามที่เรียนรู้มาจากบรรพบุรุษในสมัยก่อน ซึ่งมักไม่เป็นไปตามคำแนะนำเชิงวิทยาศาสตร์ในคู่มือการเลี้ยงไหม 52 สัปดาห์ของกรมหม่อนไหม ปัญหาไม่ได้อยู่ที่เกษตรกรไม่ขยัน แต่อยู่ที่ข้อมูลที่ถูกต้องไม่สอดคล้องกับรูปแบบที่ใช้งานได้จริงในการทำงาน (Sawangloke et al., 2023) แชทบอทด้านการเกษตรที่มีอยู่แก้ปัญหานี้ได้บางส่วน Ekanayake & Saputhanthri (2020) ทำให้เห็นว่าระบบสนทนาปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) ช่วยเกษตรกรตัดสินใจได้เร็วขึ้น แต่ระบบส่วนใหญ่ยังทำงานแบบ Rule-Based คือตอบได้เฉพาะคำถามที่ผู้พัฒนาคาดเดาไว้ล่วงหน้า (Adamopoulou & Moussiades, 2020) เมื่อเกษตรกรถามสิ่งที่ไม่อยู่ในสคริปต์ เช่น หนอนไหมวัย 3 กินใบน้อยลงทั้งที่มีอุณหภูมิปกติ ระบบเหล่านั้นตอบไม่ได้หรือตอบผิดสถาปัตยกรรมการค้นคืนข้อมูลร่วมกับการสร้างคำตอบ (Retrieval-Augmented Generation: RAG) แก้จุดอ่อนนี้ได้โดยตรง Lewis et al. (2020) แสดงว่า RAG ดึงข้อมูลจากเอกสารจริงมาประกอบคำตอบแทนการสร้างคำตอบจากความจำของโมเดล ลดปัญหาข้อมูลคลาดเคลื่อนซึ่งเป็นความเสี่ยงสูงในบริบทที่คำแนะนำผิดอาจทำให้รังไหมทั้งรุ่นเสียหาย Yu et al. (2025) ขยายแนวคิดนี้ให้ครอบคลุมระบบที่ดึงข้อมูลหลายแหล่งพร้อมกัน ซึ่งเหมาะกับการเลี้ยงไหมที่ต้องใช้ข้อมูลด้านอาหาร อุณหภูมิ และพัฒนาการของหนอนพร้อมกัน อุปสรรคที่เหลืออยู่คือด้านการใช้งาน ไม่ใช่ด้านเทคโนโลยี Jantavongso (2022) พบว่าผู้สูงอายุในชนบทไทยไม่ได้ปฏิเสธสมาร์ทโฟน แต่แอปพลิเคชันส่วนใหญ่ไม่ได้ออกแบบมาสำหรับคนที่พิมพ์ช้าหรืออ่านหน้าจอเล็กไม่ถนัด Vaportzis et al. (2017) ยืนยันว่าเมื่อออกแบบให้รองรับการสั่งงานด้วยเสียงและตัวอักษรขนาดใหญ่ กลุ่มผู้สูงอายุยอมรับเทคโนโลยีได้ในระดับใกล้เคียงกับคนวัยทำงาน กรอบแนวคิดการยอมรับเทคโนโลยี (Technology Acceptance Model: TAM) ของ Davis (1989) ได้อธิบายว่าการรับรู้ประโยชน์ (Perceived Usefulness: PU) และการรับรู้ความง่ายในการใช้งาน (Perceived Ease of Use: PEOU) เป็นสองตัวแปรหลักที่กำหนดว่าเกษตรกรจะหยิบโทรศัพท์มาถามระบบหรือวางมันทิ้ง ในงานวิจัยนี้ทั้งสองตัวแปรถูกออกแบบให้วัดผลได้จากการใช้งานจริงในสนาม

จากช่องว่างองค์ความรู้และข้อจำกัดของเทคโนโลยีดังกล่าวนี้ จึงได้พัฒนา ไหมคำ AI (MaiKham AI Chatbot) ซึ่งเป็นแชทบอทเชิงสนทนาที่ทำงานบนสถาปัตยกรรม RAG และออกแบบเฉพาะสำหรับเกษตรกรผู้เลี้ยงไหมสูงวัย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้คำแนะนำด้านการให้อาหารตามช่วงวัยอย่างเป็นระบบ ทั้งยังให้ข้อมูลเชิงเทคนิคที่ถูกต้องตามคู่มือกรมหม่อนไหม รวมถึงประเมินประสิทธิภาพของระบบผ่านผลผลิตจริงและการยอมรับเทคโนโลยีตามกรอบ TAM ซึ่งมีส่วนสนับสนุนทั้งเชิงเทคนิคและเชิงสังคม โดยแสดงตัวอย่างการใช้ AI เพื่อยกระดับภูมิปัญญาท้องถิ่น ลดความเหลื่อมล้ำด้านดิจิทัล โดยงานวิจัยนี้มีคุณูปการสำคัญ 4 ประการต่อวงการปัญญาประดิษฐ์และเกษตรอัจฉริยะ ได้แก่ 1) เสนอการพัฒนาแชทบอทที่ใช้สถาปัตยกรรม Retrieval-Augmented Generation (RAG) เฉพาะทางด้านการเลี้ยงไหม ซึ่งสามารถแก้ข้อจำกัดของระบบแชทบอทแบบเดิมที่อาศัยกฎ (Rule-Based) โดยให้คำแนะนำที่อิงบริบทและองค์ความรู้เชิงลึกได้ 2) พัฒนารูปแบบการโต้ตอบแบบหลายโหมด (Multimodal Interaction) ที่รองรับข้อความ เสียง และภาพ โดยออกแบบให้เหมาะสมกับเกษตรกรสูงวัยที่มีข้อจำกัดด้านทักษะดิจิทัล 3) แสดงให้เห็นถึงประสิทธิผลเชิงประจักษ์ของระบบผ่านการวิจัยเชิงทดลองกึ่งทดลอง โดยสามารถเพิ่มผลผลิตได้ร้อยละ 70–90 และเพิ่มคุณภาพผลผลิตได้ร้อยละ 50–60 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 4) เสนอรูปแบบการประยุกต์ใช้ AI ที่สามารถขยายผลได้จริงในภาคเกษตร โดยผสานเทคโนโลยี AI การออกแบบที่ผู้ใช้เป็นศูนย์กลาง และการประเมินการยอมรับเทคโนโลยีเข้าด้วยกัน

2. วัตถุประสงค์งานวิจัย (Research Objectives)

1. เพื่อพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของแชทบอทไหมคำ AI ที่พัฒนาบนสถาปัตยกรรม Retrieval-Augmented Generation (RAG) สำหรับสนับสนุนการให้อาหารหนอนไหมตามช่วงวัย

2. เพื่อศึกษาผลของการใช้แชทบอทไหมคำ AI ต่อปริมาณผลผลิต คุณภาพผลผลิต และการยอมรับเทคโนโลยีของเกษตรกรผู้เลี้ยงไหมในจังหวัดสุรินทร์

(Research Article)

3. สมมติฐานการวิจัย

H1: การใช้แชทบอทส่งผลให้เกษตรกรมีปริมาณผลผลิตการเลี้ยงไหมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

H2: การใช้แชทบอทส่งผลให้เกษตรกรมีคุณภาพผลผลิตการเลี้ยงไหมดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

H3: เกษตรกรมีการยอมรับเทคโนโลยีแชทบอทในระดับสูง (≥ 4.0 จากคะแนนเต็ม 5.0)

4. การทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)

4.1 แชทบอทและปัญญาประดิษฐ์ในภาคเกษตร

แชทบอท (Chatbot) คือระบบสนทนาอัตโนมัติที่ใช้ AI เพื่อโต้ตอบกับผู้ใช้งานผ่านข้อความ ช่วยให้การเข้าถึงข้อมูล คำแนะนำ หรือการเรียนรู้ของผู้ใช้มีความสะดวกและเป็นรายบุคคลมากขึ้น (Asolo et al., 2024; Kamilaris & Prenafeta-Boldú, 2018) งานวิจัยของ Ekanayake & Saputhanthri (2020) Krushi กล่าวว่าสำหรับเกษตรกรในอินเดีย พบว่า แชทบอทสามารถช่วยเกษตรกรในการตัดสินใจที่ถูกต้องเกี่ยวกับพืชผล ส่งผลให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นและลดความเสี่ยงในการเกษตร Asolo et al. (2024) ที่มีการพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจด้วยปัญญาประดิษฐ์ผ่านแชทบอท (AI Chatbot) โดยใช้การวิเคราะห์ข้อมูลและการเรียนรู้ของเครื่อง พบว่า เกษตรกรที่ใช้ระบบคำแนะนำเฉพาะบุคคลแบบเรียลไทม์เกี่ยวกับแนวทางการเพาะปลูกและการจัดการพืชผล ซึ่งช่วยเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

4.2 Retrieval-Augmented Generation (RAG) และโมเดลภาษาขนาดใหญ่ (Large Language Models: LLMs)

โมเดลภาษาขนาดใหญ่ (LLMs) ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบปัญญาประดิษฐ์เชิงสนทนา แต่ยังมีข้อจำกัดด้านการสร้างข้อมูลคลาดเคลื่อน (Hallucination) (Lewis et al., 2020) สถาปัตยกรรม Retrieval-Augmented Generation (RAG) จึงถูกพัฒนาขึ้นโดยผสานการค้นคืนข้อมูลจากแหล่งความรู้ภายนอกเข้ากับการสร้างคำตอบของโมเดลภาษา เพื่อเพิ่มความถูกต้องและความสอดคล้องกับบริบท (Yu et al., 2025) ด้วยความสามารถในการปรับปรุงองค์ความรู้ได้โดยไม่ต้องฝึกสอนโมเดลใหม่ทั้งหมด RAG จึงได้รับความนิยมในระบบสนับสนุนการตัดสินใจเฉพาะทาง รวมถึงการประยุกต์ใช้ในภาคการเกษตรและการเลี้ยงไหม

4.3 การยอมรับเทคโนโลยีของเกษตรกรสูงวัย (TAM)

การยอมรับเทคโนโลยีพัฒนาโดย Davis (1989) เป็นกรอบแนวคิดที่ใช้อธิบายการยอมรับและการใช้เทคโนโลยี โดยเน้นปัจจัยหลัก 2 ประการ คือ การรับรู้ประโยชน์ (Perceived Usefulness: PU) และการรับรู้ความง่ายในการใช้งาน (Perceived Ease of Use: PEOU) การศึกษาของ Thar et al. (2021) พบว่า เกษตรกรที่เห็นว่าเทคโนโลยีช่วยให้ผลผลิตหรือคุณภาพดีขึ้น จะมีแนวโน้มใช้งานต่อเนื่อง และการออกแบบระบบให้เข้าใจง่าย ลดภาระเรียนรู้ มีผลอย่างมากต่อระดับการยอมรับ

4.4 Smart Sericulture และเทคโนโลยี IoT

จากข้อดีของสถาปัตยกรรม RAG ในการลดปัญหา Hallucination และเพิ่มความสามารถในการเข้าถึงองค์ความรู้เฉพาะทาง งานวิจัยนี้จึงนำแนวคิดดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาแชทบอทไหมคำ AI (MaiKham AI Chatbot) เพื่อสนับสนุนการให้อาหารหนอนไหมตามช่วงวัย โดยใช้ข้อมูลจากคู่มือการเลี้ยงไหม 52 สัปดาห์และองค์ความรู้จากผู้เชี่ยวชาญด้านหม่อนไหมเป็นฐานความรู้หลักของระบบ

งานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับแชทบอทเกษตร มีข้อจำกัดหลักสองประการ คือ1) ระบบส่วนใหญ่ยังคงพึ่งพาการตอบคำถามแบบ rule-based หรือ FAQ ซึ่งทำได้ดีกับคำถามที่คาดการณ์ล่วงหน้าได้ แต่ล้มเหลว เมื่อเกษตรกรถามปัญหาเฉพาะหน้า เช่น หนอนไหมกินอาหารน้อยลงผิดปกติในวัยที่ 3 ทั้งที่อุณหภูมิอยู่ในเกณฑ์ปกติ (Adamopoulou & Moussiades, 2020; Ekanayake & Saputhanthri, 2020) และ 2) งานที่นำปัญญาประดิษฐ์ (AI) รุ่นใหม่มาใช้ในภาคเกษตรส่วนใหญ่ทดสอบกับพืชไร่หรือข้าว ซึ่งมีชุดข้อมูลขนาดใหญ่และเอกสารพร้อมอ้างอิง แต่งานด้านการเลี้ยงไหมยังมีน้อย Lewis et al. (2020) แสดงให้เห็นว่า RAG ลดปัญหา Hallucination ได้ดีกว่า Fine-Tuning สำหรับ Domain-Specific Tasks แต่ยังไม่มีการทดสอบในบริบทการเลี้ยงไหมซึ่งองค์ความรู้กระจายอยู่ในเอกสารภาษาไทยและภูมิปัญญาท้องถิ่นช่องว่างที่ชัดเจนที่สุดคือการขาดระบบที่ออกแบบมาสำหรับเกษตรกรสูงอายุในชนบทโดยเฉพาะ

จากการศึกษาของ Jantavongso (2022) และ Vaportzis et al. (2017) มีผลการศึกษาที่ชี้ว่าผู้สูงอายุในชนบทไทยไม่ได้ปฏิเสธเทคโนโลยี แต่ระบบที่มีอยู่ไม่ได้ถูกออกแบบมาให้เข้าถึงได้ผ่านการพูดหรือภาพ ซึ่งเข้าถึงได้มากกว่าการพิมพ์

งานวิจัยนี้ จึงนำสถาปัตยกรรม RAG บน Google AI Studio มาพัฒนาระบบไหมคำ AI ที่รองรับการโต้ตอบผ่านข้อความ เสียง และภาพ พร้อมฐานความรู้จากคู่มือการเลี้ยงไหม 52 สัปดาห์ และประเมินผลด้วยการวิจัยกึ่งทดลองควบคู่กับการถ่ายทอดเทคโนโลยี (TAM) ซึ่งยังไม่มีงานใดทำในบริบทนี้มาก่อน

4.5 แผนการดำเนินงานวิจัยโดยใช้วิธีการแบบ Agile

งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการวางแผนเพื่อเก็บข้อมูลวิจัยโดยใช้กระบวนการดำเนินงาน Agile โดยมีรายละเอียดดัง Table 1.

Table 1. Road Map Plan in Agile Style

Sprint	Timeline (2025)	Goal / Epic	Key User Story (INVEST)	Main Tasks (DEV / UX / DATA / QA)	Success Criteria & KPI	UAT with FAG
0 Project Preparation	Apr 21 – May 1	• Set project values • Identify stakeholders • Define roles &responsibilities	As a PO, I need a Backlog and CI/CD to enable the team to develop quickly.	• Setup Jira & Git • Setup Dev/ Staging • Select 5 FAG Members • Draft consent forms	Backlog ≥ 30 items, CI passes all tests, Focus Area Group (FAG) joined LINE group	Apr 30: Online training for FAG, sharing screens and discussion
1 Quick Wins	May 4 – May 15	Accessibility & user -friendly UI	1. As a farmer, I want to see the “Big Silkworm” button easily. 2. As a user, I want to view FAQ without printing.	DEV: New big button, FAQ (LINE OA) UX: Adjust layout + emoji QA: Mobile test with RAM 2 GB	✅ Big Button works (Android 7+/iOS 12+) ✅ FAQ ≥ 15 items	May 14: FAG test activity (Big Button, FAQ) success ≥ 4/5
2 Smart Alerts v1	May 18 – May 29	Intelligent notification alerts	3. As a farmer, I want to receive “120% silkworm feeding alert” at 08:00.	DATA: Rule engine (silkworm age + weather forecast) DEV: Scheduler, text-to-speech (TTS)QA: Weather condition tests	time ±1 minute95% of alerts on	days, ≥ 80% success May 28: FAG trial for 10
3 Local Dialect + Expert Handoff	Jun 1 – Jun 12	Dialect of Surin & Expert Handoff	4. As a farmer, I want to ask questions in Surin dialect and receive correct answers. 5. If the system cannot answer, it should escalate to “Expert”.	DATA: Collect Q-A set, fine-tune LLaMA2-Thai DEV: Confidence ⟶ escalate to expert UX: Display escalation to expert QA: Accuracy ≥ 85%	SLA response < 30 sec	Jun 11: Dialect quiz (10 questions),

(Research Article)

Table 1. Road Map Plan in Agile Style (Cont.)

Sprint	Timeline (2025)	Goal / Epic	Key User Story (INVEST)	Main Tasks (DEV / UX / DATA / QA)	Success Criteria & KPI	UAT with FAG
4 IoT & Analytics MVP	Jun 15 – Jun 26	Sensor & Dashboard	6. As a farmer, I want to see new silkworm health index + survival rate > 85%. 7. As a PO, I want to view production results summary. receive "silkworm caretaker badge". 9. As a farmer, I want to see Leaderboard in LINE group.	DEV: MQTT ⟶ Timescale DB/DATA: ETL + Grafana QA: Stress test 3 servers UX:UI enhancement for engagement QA: Anti-cheating test	Latency dashboard < 5 sec, PDF export enabled increased ≥ 15% compared to Sprint 1	Jun 25: Field demo #3, real-time notification completed 2 days, FAG usage ≥ 60% daily

Source: Beck et al. (2001); Schwaber & Sutherland (2020)

จาก Table 1. แสดงเฉพาะช่วงการพัฒนาระบบด้วย Agile Development และ Scrum Framework ระหว่างเดือนพฤษภาคม–กรกฎาคม พ.ศ. 2568 โดยดำเนินการตาม Scrum Framework (Schwaber & Sutherland, 2020) เพื่อให้การพัฒนามีประสิทธิภาพและสามารถตอบสนองความต้องการที่เปลี่ยนแปลงได้

5. กรอบแนวคิดงานวิจัย (Conceptual Framework)

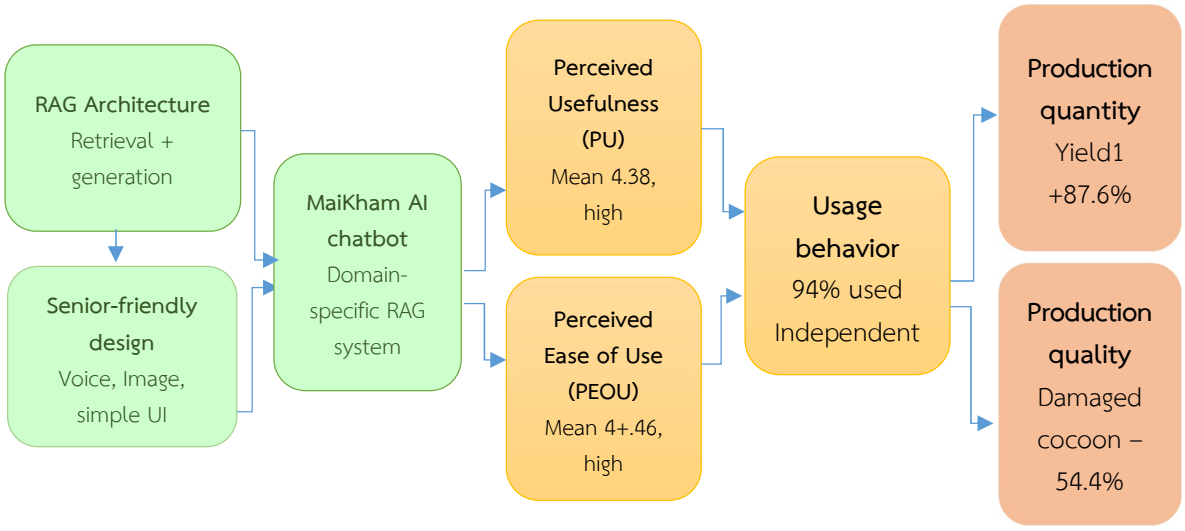


Figure 1. Conceptual Framework

จาก Figure 1. แสดงกรอบแนวคิดการวิจัย โดยกำหนดให้สถาปัตยกรรม Retrieval-Augmented Generation (RAG) และการออกแบบระบบที่เหมาะสมสำหรับผู้สูงอายุเป็นปัจจัยนำเข้าของระบบไหมคำ AI (MaiKham AI Chatbot) ซึ่งส่งผลต่อการรับรู้ประโยชน์ (Perceived Usefulness: PU) และการรับรู้ความง่ายในการใช้งาน (Perceived Ease of Use: PEOU) ของเกษตรกรผู้เลี้ยงไหม ปัจจัยดังกล่าวมีอิทธิพลต่อพฤติกรรมการใช้งานระบบและนำไปสู่ผลลัพธ์ด้านการผลิต ได้แก่ ปริมาณผลผลิตและคุณภาพผลผลิต ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานการวิจัยทั้งด้านผลผลิตและการยอมรับเทคโนโลยี ผลลัพธ์ด้านปริมาณและคุณภาพผลผลิตตามกรอบแนวคิดนี้ถูกนำเสนอโดยละเอียดในหัวข้อ 7.2

6. วิธีดำเนินงานวิจัย (Research Methodology)

6.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร ได้แก่ เกษตรกรผู้เลี้ยงไหม ในตำบลตาเบา อำเภอปราสาท จังหวัดสุรินทร์ จำนวน 8,961 คน

กลุ่มทดลอง (Experimental Group) ได้แก่ ประชากรซึ่งใช้แชทบอทไหมคำ AI จำนวน 25 คน และกลุ่มควบคุม (Control Group) ซึ่งใช้วิธีการเลี้ยงไหมตามปกติ จำนวน 25 คน เพื่อลดอคติจากการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง (Selection Bias) ผู้วิจัยได้คัดเลือกเกษตรกรจากพื้นที่เดียวกันและมีลักษณะพื้นฐานใกล้เคียงกันทั้งในด้านประสบการณ์การเลี้ยงไหม ขนาดการผลิต และรูปแบบการจัดการฟาร์ม ก่อนเริ่มการทดลองได้มีการรวบรวมและเปรียบเทียบข้อมูลพื้นฐานของทั้งสองกลุ่ม เพื่อยืนยันว่ากลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมไม่มีความแตกต่างที่มีนัยสำคัญในด้านคุณลักษณะพื้นฐานที่อาจส่งผลต่อผลการวิจัย จึงสามารถนำมาเปรียบเทียบผลลัพธ์ภายใต้รูปแบบการวิจัยกึ่งทดลองได้อย่างเหมาะสม

6.2 เครื่องมือในการวิจัย

เครื่องมือในการวิจัย ได้แก่ 1) แบบประเมินประสิทธิภาพและความถูกต้องของระบบ 2) แบบบันทึก Log การใช้งานระบบ (System Usage Logs) 3) แบบสอบถามข้อมูลผลลัพธ์การเลี้ยงไหมสำหรับกลุ่มควบคุม 4) แบบบันทึกข้อมูลการเลี้ยงไหม 5) แบบสอบถามการยอมรับเทคโนโลยีแอปพลิเคชันและแชทบอท 6) แบบสอบถามความพึงพอใจต่อแอปพลิเคชันและแชทบอท และ 7) ระบบแชทบอทไหมคำ AI ซึ่งพัฒนาขึ้นโดยใช้แนวคิด Retrieval-Augmented Generation (RAG) เพื่อสนับสนุนการให้คะแนะนำด้านการให้อาหารหนอนไหมตามช่วงวัย โดยตอบคำถามจากฐานความรู้คู่มือการเลี้ยงไหม 52 สัปดาห์ โดยมีฟังก์ชันหลัก ได้แก่ 1) ตอบคำถามการให้อาหารหนอนไหมตามช่วงวัย 2) แนะนำรอบเวลา/ปริมาณ/สภาพแวดล้อมที่เหมาะสม 3) แจ้งเตือนกิจกรรมสำคัญ 4) วิเคราะห์ภาพเพื่อประเมินสุขภาพหนอนไหม (Kamilaris & Prenafeta-Boldú, 2018) 5) รองรับการสั่งงานด้วยเสียง 6) ออกแบบ UI/UX ที่เหมาะกับผู้สูงอายุ (Thar et al., 2021)

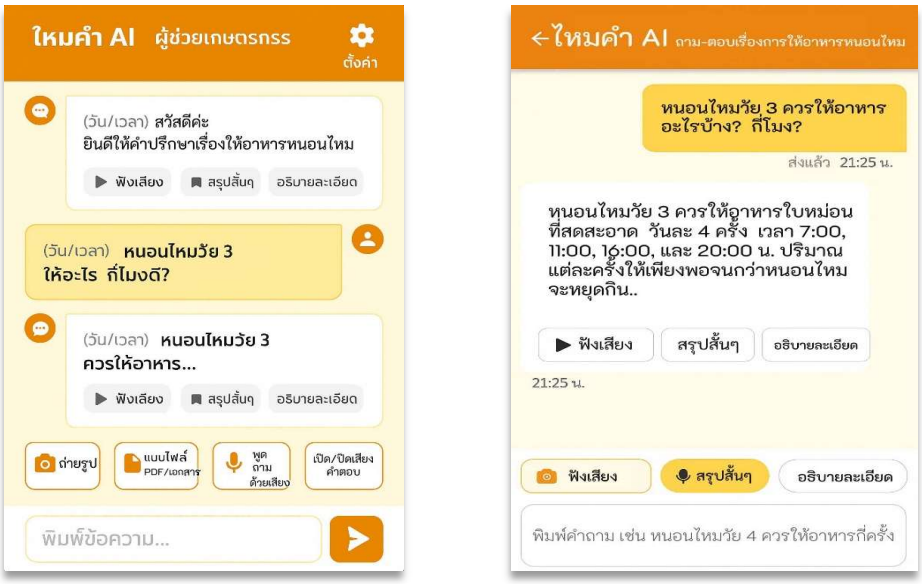


Figure 2. UI Chatbot MaiKham AI Examples (a) UI Sample Question "Feeding Ages 3"

Figure 2. (a) แสดงตัวอย่างหน้าจอการใช้งานแชทบอท “ไหมคำ AI” ซึ่งออกแบบให้รองรับการใช้งานสำหรับเกษตรกรผู้สูงอายุ สามารถพิมพ์หรือพูดถาม พร้อมแนบรูปภาพและไฟล์ ระบบมีฟังก์ชันฟังเสียง ตอบสรุป/ละเอียด และปุ่ม Feedback เพิ่มความสะดวกในการโต้ตอบ Figure 2. (b) แสดงตัวอย่างการตั้งคำถาม และแสดงผลการตอบกลับตามฐานข้อมูลในคู่มือการเลี้ยงไหม 52 สัปดาห์ และฟังก์ชันฟังเสียงสำหรับผู้มีปัญหาด้านสายตา

6.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

งานวิจัยนี้ใช้การวิจัยแบบผสมผสาน (Mixed Methods Research) ภายใต้กรอบการวิจัยเชิงทดลองกึ่งทดลอง (Quasi-Experimental Design) การดำเนินโครงการมีระยะเวลา 13 เดือน โดยเริ่มจาก 1 ตุลาคม 2567 - 31 ตุลาคม 2568

6.4 การออกแบบกระบวนการทำงานของระบบและการดำเนินงาน

การพัฒนาระบบไหมคำ AI (MaiKham AI Chatbot) ดำเนินการภายใต้แนวคิดการพัฒนาซอฟต์แวร์แบบ Agile Development ร่วมกับกระบวนการวิจัยและพัฒนา (Research and Development: R&D) เพื่อให้สามารถปรับปรุงระบบตามข้อเสนอแนะของผู้ใช้งานจริงได้อย่างต่อเนื่อง โดยกระบวนการดำเนินงานประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

6.4.1 การรวบรวมองค์ความรู้และจัดเตรียมฐานความรู้

ผู้วิจัยได้รวบรวมองค์ความรู้ด้านการเลี้ยงไหมจากคู่มือการเลี้ยงไหม 52 สัปดาห์ เอกสารวิชาการของกรมหม่อนไหม และคำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญด้านหม่อนไหม เพื่อนำมาจัดทำเป็นฐานความรู้สำหรับระบบแชทบอท โดยเอกสารทั้งหมดได้รับการตรวจสอบความถูกต้องและความสอดคล้องของเนื้อหาก่อนนำเข้าสู่ระบบ

6.4.2 การพัฒนาระบบแชทบอทไหมคำ AI

ระบบไหมคำ AI ได้รับการพัฒนาบนแพลตฟอร์ม Google AI Studio โดยใช้โมเดลภาษาขนาดใหญ่ Gemini 1.5 Pro ภายใต้แนวคิด Retrieval-Augmented Generation (RAG) เพื่อให้ระบบสามารถค้นคืนข้อมูลจากฐานความรู้และสร้างคำตอบที่เหมาะสมกับบริบทของคำถาม ระบบรองรับการสื่อสารผ่านข้อความ เสียง และภาพถ่าย เพื่ออำนวยความสะดวกแก่เกษตรกรผู้สูงอายุที่มีข้อจำกัดด้านการใช้งานเทคโนโลยีดิจิทัล

นอกจากนี้ ระบบยังรองรับการประมวลผลข้อมูลหลายรูปแบบ ได้แก่ ข้อความ เสียง และภาพ เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นในการใช้งานสำหรับเกษตรกร สถาปัตยกรรมดังกล่าวช่วยให้ระบบสามารถให้คำแนะนำแบบเรียลไทม์ มีความแม่นยำ และสามารถขยายผลไปใช้ในบริบทเกษตรกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

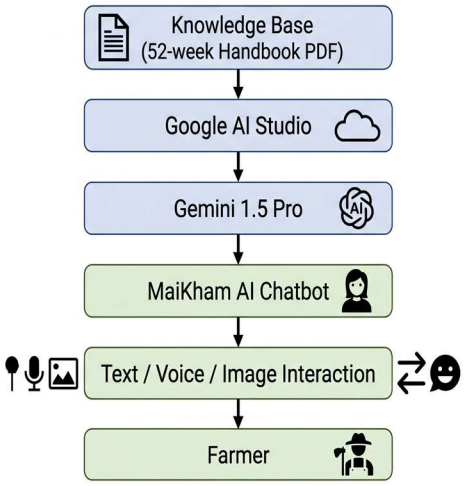


Figure 3. MaiKham AI RAG Workflow

จาก Figure 3 เมื่อเกษตรกรส่งคำถามเข้าสู่ระบบผ่านข้อความ เสียง หรือภาพถ่าย ระบบจะทำการค้นคืนข้อมูลที่เกี่ยวข้องจากฐานความรู้ซึ่งประกอบด้วยคู่มือการเลี้ยงไหม 52 สัปดาห์และเอกสารด้านหม่อนไหมที่เกี่ยวข้อง จากนั้นข้อมูลที่ค้นคืนได้จะถูกนำไปประมวลผลร่วมกับโมเดล Gemini 1.5 Pro เพื่อสร้างคำตอบที่เหมาะสมกับบริบทของผู้ใช้งาน

กระบวนการดังกล่าวช่วยลดความคลาดเคลื่อนของข้อมูล (Hallucination) และเพิ่มความถูกต้องของคำแนะนำในการจัดการการเลี้ยงไหม

การพัฒนาแชทบอทผู้ช่วยการให้อาหารหนอนไหม ใช้หลักการ Agile Methodology ตาม Beck et al. (2001) และ Scrum Framework ตาม Schwaber & Sutherland (2020) เพื่อให้สามารถปรับปรุงระบบตามข้อเสนอแนะของผู้ใช้งานจริงได้อย่างต่อเนื่อง ดัง Table A. ในภาคผนวก

6.4.3 การทดสอบและปรับปรุงระบบ

หลังจากพัฒนาระบบต้นแบบแล้ว ผู้วิจัยได้ดำเนินการทดสอบการทำงานของระบบร่วมกับกลุ่มเกษตรกรผู้เลี้ยงไหมและผู้เชี่ยวชาญด้านหม่อนไหม เพื่อประเมินความถูกต้องของคำตอบ ความเหมาะสมของส่วนติดต่อผู้ใช้งาน และประสิทธิภาพของการให้คำแนะนำ โดยนำข้อเสนอแนะที่ได้รับมาปรับปรุงระบบอย่างต่อเนื่องจนได้ระบบที่มีความพร้อมสำหรับการใช้งานจริง

6.4.4 การนำระบบไปใช้และประเมินผล

ผู้วิจัยนำระบบไหมคำ AI ไปใช้กับกลุ่มทดลองจำนวน 25 คน ในขณะที่กลุ่มควบคุมจำนวน 25 คน ใช้วิธีการเลี้ยงไหมตามปกติ จากนั้นจึงเก็บรวบรวมข้อมูลด้านผลผลิต คุณภาพผลผลิต การยอมรับเทคโนโลยี และความพึงพอใจของผู้ใช้งาน เพื่อนำมาวิเคราะห์และประเมินประสิทธิผลของระบบที่พัฒนาขึ้น

6.4.5 ขั้นตอนเป็นกระบวนการทดสอบซอฟต์แวร์ขั้นสุดท้าย

ดำเนินการโดยผู้ใช้งานจริง (User Acceptance Testing: UAT) กับนักวิจัย ทุกสปรินต์ ได้แก่ 1) เตรียม คือ ส่งขั้นตอนการใช้งานและวิดีโอสอน < 1 นาที ก่อน 24 ชม. 2) ทดสอบ การใช้ LINE/Teams แชร์จอภาพ และให้เกษตรกรทำ 5–7 ภารกิจ 3) เก็บข้อมูล โดยกำหนดเวลาแต่ละภารกิจ, และ บันทึกจอ 4) เกณฑ์ผ่าน คือ สำเร็จ ≥ 80 % และ 5) สรุปผล แสดงรายงาน “UAT Insights” 1 หน้า ภายใน 24 ชม.

6.4.6 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัย ประกอบด้วย

1) สถิติพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
2) Welch's t-test สำหรับเปรียบเทียบกลุ่มควบคุมและไม่ควบคุม
3) Cohen's d สำหรับขนาดเอฟเฟกต์
4) Cronbach's α สำหรับความเชื่อมั่นของแบบสอบถาม TAM

6.4.7 สถาปัตยกรรม Retrieval-Augmented Generation (RAG)

ระบบไหมคำ AI (MaiKham AI Chatbot) ได้รับการพัฒนาบนแพลตฟอร์ม Google AI Studio โดยใช้โมเดลภาษาขนาดใหญ่ Gemini 1.5 Pro ภายใต้แนวคิด Retrieval-Augmented Generation (RAG) เพื่อสนับสนุนการให้คำแนะนำด้านการเลี้ยงไหมตามช่วงวัย โดยมีฐานความรู้ของระบบประกอบด้วยคู่มือการเลี้ยงไหม 52 สัปดาห์ และองค์ความรู้ด้านการเลี้ยงไหมในรูปแบบไฟล์ PDF และอัปโหลดเข้าสู่ระบบ Knowledge Base ของ Google AI Studio เพื่อใช้เป็นแหล่งข้อมูลอ้างอิงในการตอบคำถาม เมื่อผู้ใช้งานส่งคำถามเข้าสู่ระบบ กลไก Retrieval จะค้นคืนข้อมูลที่เกี่ยวข้องจากเอกสารฐานความรู้ที่จัดเก็บไว้ จากนั้นข้อมูลดังกล่าวจะถูกส่งต่อไปยังโมเดล Gemini 1.5 Pro เพื่อสร้างคำตอบที่สอดคล้องกับบริบทของคำถาม ช่วยลดปัญหาการสร้างข้อมูลคลาดเคลื่อน (Hallucination) และเพิ่มความถูกต้องของคำแนะนำเกี่ยวกับการเลี้ยงไหม ระบบรองรับการโต้ตอบผ่านข้อความ เสียง และภาพถ่าย เพื่ออำนวยความสะดวกแก่เกษตรกรผู้สูงอายุและผู้ใช้งานที่มีข้อจำกัดด้านการใช้เทคโนโลยีดิจิทัล

โครงสร้าง RAG สำหรับระบบ AI เลี้ยงไหมเริ่มต้นด้วยการเตรียมฐานความรู้ โดยแบ่งคู่มือการเลี้ยงไหม 52 สัปดาห์ (PDF) ออกเป็นส่วนย่อยๆ ขนาด 500-800 โทเค็น โดยมีส่วนที่ซ้ำกัน 100 โทเค็นระหว่างส่วนย่อยที่ต่อเนื่องกันขนาดนี้ถูกเลือกจากผลการทดสอบเบื้องต้นที่พบว่า ส่วนย่อยที่มีขนาดเล็กกว่า 500 โทเค็น มักจะตัดคำแนะนำการเลี้ยงไหมกลางประโยค ทำให้คำตอบขาดบริบทที่จำเป็นสำหรับวิธีการฝังและการดึงข้อมูล ระบบใช้ API การดึงข้อมูลเชิงความหมายมาตรฐานใน Google AI Studio แทนฐานข้อมูลเวกเตอร์ การตัดสินใจนี้เกิดจากข้อจำกัดในการใช้งานภายนอก เกษตรกรเป้าหมายใช้ระบบผ่านเว็บแอปพลิเคชันต้นแบบบนสมาร์ตโฟน ซึ่งต้องการความหน่วงต่ำ เมื่อผู้ใช้ถามคำถาม ระบบจะคำนวณความคล้ายคลึงแบบโคไซน์ระหว่างข้อมูลฝังตัวของคำถามและข้อมูลฝังตัวของเอกสาร และดึงส่วนที่เกี่ยวข้องมากที่สุด 5 ส่วน (top-K = 5) เพื่อป้อนเข้าสู่ Gemini 1.5 Pro เพื่อสร้างคำตอบ ค่า Temperature กำหนดไว้ที่ 0.2 ซึ่งต่ำกว่า

ค่าเริ่มต้น เพื่อให้การประมวลผลคำแนะนำมีความสม่ำเสมอ งานนี้ให้ความสำคัญกับความถูกต้องมากกว่าความหลากหลายทางภาษา

6.4.8 ซอฟต์แวร์ โมเดล และเครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนา

1) แพลตฟอร์ม Google AI Studio โดยใช้โมเดลภาษาขนาดใหญ่ Gemini 1.5 Pro ของ Google DeepMind เป็นกลไกหลักในการประมวลผลภาษาธรรมชาติและสร้างคำตอบอัตโนมัติ

2) ฐานความรู้ของระบบ ได้แก่ เอกสาร PDF คู่มือการเลี้ยงไหม 52 สัปดาห์ และองค์ความรู้ด้านการเลี้ยงไหมที่เกี่ยวข้อง ซึ่งถูกจัดเก็บในระบบ Knowledge Base ของ Google AI Studio เพื่อใช้สนับสนุนกระบวนการ Retrieval ภายใต้สถาปัตยกรรม Retrieval-Augmented Generation (RAG)

3) การทดสอบและปรับปรุงระบบดำเนินการผ่าน Google AI Studio และเว็บแอปพลิเคชันต้นแบบที่พัฒนาขึ้นสำหรับการใช้งานจริงของเกษตรกรผู้เลี้ยงไหม โดยระบบสามารถรองรับการรับข้อมูลผ่านข้อความ เสียง และภาพถ่าย และแสดงผลคำแนะนำผ่านส่วนติดต่อผู้ใช้งานบนสมาร์ตโฟนและเว็บเบราว์เซอร์

7. ผลการวิจัย (Results)

7.1 ผลการพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของแชทบอทไหมคำ AI ที่พัฒนาบนสถาปัตยกรรม Retrieval-Augmented Generation (RAG) สำหรับสนับสนุนการให้อาหารหนอนไหมตามช่วงวัย

7.1.1 การประเมินประสิทธิภาพโดยผู้เชี่ยวชาญ

ระบบแชทบอทได้รับการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน พบว่ามีประสิทธิภาพโดยรวมในระดับ "ดีมาก" (ค่าเฉลี่ย = 4.58, S.D. = 0.24) โดยความถูกต้องของตารางให้อาหารหนอนไหมได้คะแนนสูงสุด (ค่าเฉลี่ย = 4.70, S.D. = 0.20) ใน Table 2.

Table 2. Evaluation of the system's efficiency and accuracy by experts

Evaluation Item	Mean	S.D.	Opinion Level
1. Accuracy of the silkworm feeding table	4.70	0.20	Very Good
2. Completeness of data for each growth stage	4.60	0.30	Very Good
3. Up-to-dateness of data on silkworm diseases and pests	4.50	0.40	Very Good
4. Accuracy of the summarized answers	4.60	0.30	Very Good
5. Efficiency in helping to reduce farmers' errors	4.50	0.30	Very Good
Overall Mean	**4.58**	**0.24**	**Very Good**

7.1.2 ผลการประเมินประสิทธิภาพเชิงเทคนิคของระบบ

ผลการประเมินความสามารถในการค้นคืนข้อมูล (Retrieval Accuracy) ได้วิเคราะห์หัวข้อคำถามจริงจากบันทึกการใช้งาน (System Usage Log) ของเกษตรกรกลุ่มทดลอง จำนวน 50 คน รวม 1,050 รายการ ตลอดการเลี้ยงไหม 2 รุ่น พบว่าหัวข้อคำถามกระจายตัวใน 5 หมวดหลักอย่างสมดุล ได้แก่ สุขภาพและการย้ายกระบะหนอนไหม ร้อยละ 21.62 สุขภาพหนอนไหมด้านอุณหภูมิและความชื้น ร้อยละ 20.86 หมวดอื่น ๆ ร้อยละ 20.19 คุณภาพและชนิดใบหม่อน ร้อยละ 19.33 และตารางเวลา/มื้ออาหาร ร้อยละ 18.00 สะท้อนว่าระบบสามารถรองรับคำถามที่หลากหลายตลอดกระบวนการเลี้ยงไหมได้ครอบคลุม แสดงให้เห็นว่าสถาปัตยกรรม Retrieval-Augmented Generation (RAG) สามารถเข้าถึงข้อมูลจากฐานความรู้ด้านการเลี้ยงไหมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

7.1.3 ผลการประเมินคุณภาพคำตอบ (Answer Quality)

โดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ประเมินคำตอบ 200 คำถาม พบว่าคำตอบที่ระบบสร้างขึ้นมีความถูกต้อง ความครบถ้วน และความเหมาะสมต่อบริบทของคำถาม ร้อยละ 85 คำตอบถูกต้องบางส่วน ร้อยละ 12 และ คำตอบผิดหรือไม่เกี่ยวข้อง ร้อยละ 3

7.1.4 ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบ RAG มีรายละเอียดดังนี้

1) การทดสอบ Retrieval Accuracy ได้วิเคราะห์หัวข้อคำถามจากบันทึกการใช้งานจริงของเกษตรกร 50 คน (1,050 รายการ) พบว่าคำถามกระจายตัวใน 5 หมวดหลักอย่างสมดุล ร้อยละ 18.00-21.62 ต่อหมวด สะท้อนความหลากหลายของประเด็นที่เกษตรกรต้องการคำปรึกษาตลอดวงจรการเลี้ยงไหม

2) การประเมิน Answer Quality โดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ประเมินคำตอบ 200 คำถาม พบว่า 1) มีคำตอบถูกต้องสมบูรณ์ ร้อยละ 85 2) คำตอบถูกต้องบางส่วน ร้อยละ 12 และ 3) คำตอบผิดหรือไม่เกี่ยวข้อง ร้อยละ 3

3) Failure Case Analysis กรณีที่ระบบตอบผิด (ร้อยละ 3) ส่วนใหญ่เกิดจากคำถามที่ซับซ้อนหรือต้องการการตีความเฉพาะบุคคล ซึ่งระบบจะแนะนำให้ติดต่อผู้เชี่ยวชาญ

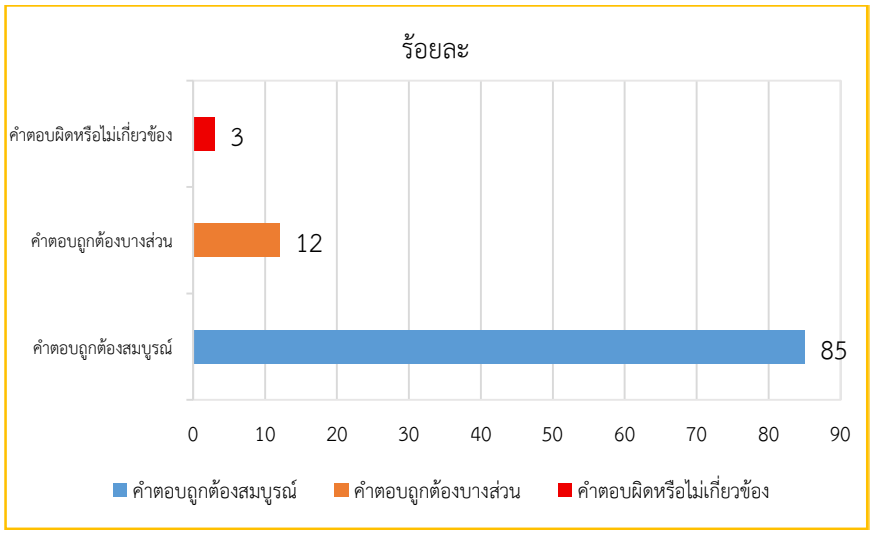


Figure 4. Answer Quality Assessment

7.2 ผลการศึกษาผลของการใช้แชทบอทไหมคำ AI ต่อปริมาณผลผลิต คุณภาพผลผลิต และการยอมรับเทคโนโลยีของเกษตรกรผู้เลี้ยงไหมในจังหวัดสุรินทร์

7.2.1 ผลการศึกษาผลของการใช้แชทบอทไหมคำ AI ต่อปริมาณผลผลิต คุณภาพผลผลิต

ผลการทดสอบ Welch's t-test แสดงให้เห็นว่าเกษตรกรในกลุ่มทดลอง (Experimental Group) ซึ่งใช้แชทบอทไหมคำ AI มีผลผลิตและคุณภาพผลผลิตสูงกว่ากลุ่มควบคุม (Control Group) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) ในทุกตัวชี้วัด ใน Table 3.

Table 3. Comparison of Sericulture Production Between the Experimental Group and the Control Group

Variable	Mean of Experimental Group	Mean of Control Group	% Increase	t-value	p-value	Cohen's d
Generation 1						
Number of Silkworm Trays	30.20±12.28	17.32±7.18	+74.40%	3.784	<0.001***	1.07
Fresh Cocoon Weight (kg)	6.20±2.86	3.69±1.66	+68.00%	3.337	<0.001***	0.94
Average Weight per Cocoon (g)	3.13±0.57	2.09±0.29	+49.80%	11.461	<0.001***	3.24
Waste Silk Weight (g)	98.80±37.20	216.72±94.09	-54.40%	-6.944	<0.001***	-1.96

Table 3. Comparison of Sericulture Production Between the Experimental Group and the Control Group (Cont.)

Variable	Mean of Experimental Group	Mean of Control Group	% Increase	t-value	p-value	Cohen's d
Generation 2						
Number of Silkworm Trays	28.68±12.12	15.16±5.41	+89.20%	3.656	<0.001***	1.03
Fresh Cocoon Weight (kg)	6.04±2.57	3.22±1.39	+87.60%	3.622	<0.001***	1.02
Average Weight per Cocoon (g)	3.28±0.45	2.06±0.19	+59.20%	11.354	<0.001***	3.21
Waste Silk Weight (g)	107.24±43.53	234.40±85.00	-54.30%	-6.699	<0.001***	-1.89

***p < 0.001

จาก Table 3. พบว่า ด้านปริมาณผลผลิต พบว่า จำนวนกระด้งรังไหมเพิ่มขึ้น ร้อยละ 74.40 (รุ่นที่ 1) และ ร้อยละ 89.20 (รุ่นที่ 2) และมีน้ำหนักรังไหมสดเพิ่มขึ้น ร้อยละ 68.00 (รุ่นที่ 1) และ ร้อยละ 87.60 (รุ่นที่ 2) ด้านคุณภาพผลผลิต พบว่า น้ำหนักเฉลี่ยต่อรังเพิ่มขึ้น ร้อยละ 49.8 (รุ่นที่ 1) และ ร้อยละ 59.2 (รุ่นที่ 2) และมีน้ำหนักรังไหมเสียลดลง ร้อยละ 54.4 (รุ่นที่ 1) และ ร้อยละ 54.3 (รุ่นที่ 2) และ ด้านขนาดเอฟเฟกต์ (Cohen's d) พบว่า ด้านคุณภาพ d = 3.21-3.24 (ขนาดใหญ่มาก) และด้านปริมาณ d = 0.94-1.07 (ขนาดกลางถึงใหญ่) แสดงถึงผลกระทบเชิงบวกที่ชัดเจน

7.2.2 ผลการประเมินการยอมรับเทคโนโลยี

ผลการวิจัย พบว่า เกษตรกรมีการยอมรับเทคโนโลยี ดังนี้

1) การรับรู้ประโยชน์ของระบบ (Perceived Usefulness: PU)

ผลการรับรู้ประโยชน์ของระบบ แสดงใน Table 4.

Table 4. Perception of Benefits

Item	Mean	S.D.	Level
Helps to better manage feeding according to growth stages	4.48	0.65	High
Increases the efficiency of sericulture	4.16	0.80	High
It is useful in providing the required information	4.40	1.00	High
Help to improve silkworm production	4.12	1.01	High
Is beneficial to sericulture	4.76	0.44	Very High
Overall Mean	**4.38**	**0.78**	**High**

จาก Table 4. ผลการประเมินพบว่าเกษตรกรมีการรับรู้ประโยชน์ของระบบในระดับสูง ($\bar{x}$ = 4.38, S.D. = 0.62) สะท้อนว่าระบบสามารถช่วยสนับสนุนการตัดสินใจด้านการเลี้ยงไหมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2) การรับรู้ความง่ายในการใช้งาน (PEOU) ค่าเฉลี่ย = 4.46, S.D. = 0.87 (ระดับมาก)

3) การถ่ายทอดเทคโนโลยี กิจกรรมการถ่ายทอดเทคโนโลยีดำเนินการในตำบลเชื้อเพลิง ซึ่งเป็นพื้นที่ขยายผลภายหลังสิ้นสุดการทดลองภาคสนามในตำบลตาเบา อำเภอปราสาท จังหวัดสุรินทร์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1) เกษตรกร ร้อยละ 94 (47 จาก 50 คน) สามารถใช้งานระบบได้หลังการอบรม

3.2) ความพึงพอใจ มีค่าเฉลี่ย = 4.29, S.D. = 0.70 (ระดับมาก)

3.3) เกษตรกร ร้อยละ 86 ต้องการใช้งานในรุ่นถัดไป และเกษตรกร ร้อยละ 82 ยินดีแนะนำให้เกษตรกรคนอื่นต่อไป

4) การขยายผลและการถ่ายทอดเทคโนโลยี การทดลองภาคสนามและการเก็บรวบรวมข้อมูลสำหรับการประเมินประสิทธิผลของระบบไหมคำ AI ดำเนินการกับเกษตรกรผู้เลี้ยงไหมในตำบลตาเบา อำเภอปราสาท จังหวัดสุรินทร์ จำนวน 50 คน ซึ่งเป็นประชากรและกลุ่มตัวอย่างหลักของการวิจัยครั้งนี้ ภายหลังจากการพัฒนาและประเมินผลระบบเสร็จสิ้น ผู้วิจัยได้ดำเนินกิจกรรมถ่ายทอดเทคโนโลยีและเผยแพร่ผลการวิจัยเพิ่มเติมแก่เกษตรกรผู้เลี้ยงไหมในตำบลเชื้อเพลิง อำเภอปราสาท จังหวัดสุรินทร์ เพื่อส่งเสริมการนำเทคโนโลยีไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่อื่น ดังนั้น ตำบลตาเบาและตำบลเชื้อเพลิงจึงเป็นพื้นที่ที่ใช้ในกิจกรรมคนละช่วงของโครงการ โดยตำบลตาเบาเป็นพื้นที่ทดลองและประเมินผล ส่วนตำบลเชื้อเพลิงเป็นพื้นที่สำหรับการขยายผลและถ่ายทอดเทคโนโลยี

8. สรุปผลการวิจัย (Conclusion)

ระบบไหมคำ AI ทำงานได้จริงในพื้นที่ตำบลตาเบา อำเภอปราสาท จังหวัดสุรินทร์ เกษตรกรกลุ่มทดลองเลี้ยงไหมได้ผลดีขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ใช้วิธีเดิม สิ่งที่น่าสังเกตคือผลลัพธ์นี้เกิดขึ้นในช่วงเดียวรอบการเลี้ยงปกติ ไม่ใช่โครงการนำร่องระยะยาว และเกษตรกรส่วนใหญ่เป็นผู้สูงอายุที่ไม่เคยใช้แอปพลิเคชันด้านการเกษตรมาก่อน

ผลลัพธ์หลัก ได้แก่ ระบบแชทบอทมีประสิทธิภาพระดับ "ดีมาก" (4.58/5.00) ผลผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 70-90 และคุณภาพดีขึ้นร้อยละ 50-60 เกษตรกรยอมรับเทคโนโลยีในระดับสูง (PU=4.38, PEOU=4.46) และการถ่ายทอดเทคโนโลยีมีอัตราความสำเร็จร้อยละ 94

การอธิบายผลกระทบที่สูง การเพิ่มขึ้นของผลผลิตร้อยละ 70-90 ที่สูงกว่างานวิจัยอื่นอาจเกิดจากปัจจัยหลักดังนี้

1) Baseline ต่ำ เนื่องจากเกษตรกรในพื้นที่ศึกษามีผลผลิตเฉลี่ยก่อนการทดลองต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของประเทศ จึงมีโอกาสในการปรับปรุงผลผลิตได้มากเมื่อได้รับการสนับสนุนด้วยแชทบอทไหมคำ AI

2) Focus เฉพาะการให้อาหาร การศึกษานี้เน้นปรับปรุงการให้อาหาร ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่สุดต่อผลผลิตแตกต่างจากงานวิจัยอื่นที่ครอบคลุมหลายด้าน

3) การใช้งานเข้มข้น เกษตรกรใช้แชทบอทเฉลี่ย 43 ครั้งต่อรุ่น แสดงถึงการนำไปใช้อย่างจริงจัง

4) Seasonal Effect งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาในช่วงฤดูที่เหมาะสมอาจส่งผลต่อผลลัพธ์ นอกจากนี้เกษตรกรกลุ่มตัวอย่าง เป็นผู้มีประสบการณ์ในการเลี้ยงไหมสูง เข้าใจสภาพบริบทพื้นที่

5) การตรวจสอบความถูกต้อง ทำการ Cross-Validation กับข้อมูลจากกรมหม่อนไหมและเกษตรกรในพื้นที่ใกล้เคียง ยืนยันว่าผลลัพธ์อยู่ในช่วงที่เป็นไปได้

การวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้งาน

1) รูปแบบการใช้งาน จากการวิเคราะห์ Log การใช้งาน พบว่า เวลาที่ใช้งานบ่อยที่สุดคือ 06:00-08:00 และ 17:00-19:00 มีคำถามยอดฮิต คือการให้อาหารตามช่วงวัย (ร้อยละ 45), โรคและศัตรู (ร้อยละ 25), สภาพแวดล้อม (ร้อยละ20) โดยระยะเวลาการสนทนาเฉลี่ย 3.2 นาที

2) การปรับปรุงพฤติกรรม สัมภาษณ์เชิงลึกกับเกษตรกร 10 คน พบว่าเปลี่ยนจากให้อาหารตามประสบการณ์เป็นตามตารางที่แนะนำ เพิ่มความสนใจในการสังเกตอาการของหนอนไหม และมีความมั่นใจมากขึ้นในการตัดสินใจ นอกจากนี้ เกษตรกรยังรายงานว่ามีการสังเกตและบันทึกพฤติกรรมของหนอนไหมอย่างสม่ำเสมอมากขึ้น รวมถึงสามารถระบุอาการผิดปกติในระยะเริ่มต้นได้เร็วขึ้น ซึ่งส่งผลต่อการลดอัตราการสูญเสียและการเพิ่มคุณภาพผลผลิตโดยรวม ข้อค้นพบเหล่านี้สอดคล้องกับแนวคิดของ Davis (1989) ที่ระบุว่าการรับรู้ประโยชน์อย่างแท้จริงเป็นตัวขับเคลื่อนการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมในระยะยาว

ความน่าเชื่อถือของผลการศึกษานี้ใช้การศึกษาแบบ Quasi-Experimental Design พร้อมกลุ่มควบคุม และการวัดผลหลายครั้ง ช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือ (Internal Validity) และมีการถ่ายทอดเทคโนโลยีที่ประสบความสำเร็จในพื้นที่อื่นแสดงถึงความสามารถในการขยายผล แต่ควรระมัดระวังในการสรุปไปยังพื้นที่ที่มีบริบทแตกต่างมาก (External Validity) และมีการใช้หลายตัวชี้วัดและการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญช่วยยืนยันว่าวัดสิ่งที่ต้องการวัดได้จริง (Construct Validity)

แม้ว่าผลการวิจัยจะแสดงให้เห็นถึงประสิทธิผลของระบบไหมคำ AI ในการเพิ่มผลผลิตและคุณภาพผลผลิตของเกษตรกรผู้เลี้ยงไหม แต่การตีความผลลัพธ์ควรพิจารณาภายใต้บริบทของพื้นที่ศึกษา เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างเป็นเกษตรกรที่มีประสบการณ์การเลี้ยงไหมในระดับสูง และดำเนินการศึกษาในช่วงฤดูกาลที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงไหม นอกจากนี้ ระบบ

มุ่งเน้นการสนับสนุนการให้อาหารหนอนไหมเป็นหลัก ดังนั้น การนำผลการวิจัยไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่ที่มีสภาพแวดล้อม ภูมิอากาศ หรือบริบทการผลิตที่แตกต่างกัน ควรมีการศึกษายืนยันผลเพิ่มเติมก่อนการสรุปอ้างอิงในวงกว้าง ทั้งนี้ การวิจัยนี้ใช้การเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มทดลอง (n = 25 ใช้แชทบอทไหมคำ AI) และกลุ่มควบคุม (n = 25 ใช้วิธีการเลี้ยงไหมตามปกติ) เท่านั้น ตามที่ระบุในระเบียบวิธีวิจัย ไม่มีการเพิ่มกลุ่มเปรียบเทียบอื่น ๆ เช่น กลุ่มที่ใช้แผ่นพับหรือกลุ่ม SMS ในการวิจัยนี้ หากต้องการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างช่องทางการส่งมอบความรู้หลายรูปแบบ ควรดำเนินการเป็นงานวิจัยในอนาคตพร้อมการออกแบบการทดลองที่เหมาะสม

9. อภิปรายผลการวิจัย (Discussion)

9.1 ประสิทธิภาพของระบบแชทบอทต่อการเพิ่มผลผลิต

ผลการศึกษาพบว่ากลุ่มทดลองที่ใช้แชทบอทไหมคำ AI มีผลผลิตและคุณภาพผลผลิตสูงกว่ากลุ่มควบคุมที่ใช้วิธีการเลี้ยงไหมตามปกติ ร้อยละ 70-90 ซึ่งสูงกว่าที่พบใน Ekanayake & Saputhanthri (2020) ช่วยเกษตรกรในการตัดสินใจที่ถูกต้อง ส่งผลให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น และ Asolo et al. (2024) ที่พบว่า ระบบสนับสนุนการตัดสินใจด้วยปัญญาประดิษฐ์ผ่านแชทบอท (AI Chatbot) ช่วยเกษตรกรที่ใช้ระบบได้รับคำแนะนำเกี่ยวกับแนวทางการเพาะปลูกและการจัดการพืชผล ส่งผลให้เพิ่มผลผลิตทางการเกษตรและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การเปรียบเทียบกับงานวิจัย Smart Sericulture พบว่าการศึกษานี้ให้ผลลัพธ์ที่สูงกว่า Asolo et al. (2024) และ Shoaib et al. (2025) ที่พบการเพิ่มผลผลิตร้อยละ 15-25 อาจเนื่องจากการศึกษานี้เน้นการปรับปรุงการให้อาหารโดยเฉพาะ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดต่อผลผลิต

9.2 การยอมรับเทคโนโลยีตาม Technology Acceptance Model

ผลการศึกษาพบว่าเกษตรกรให้คะแนน PU สูงกว่า PEOU เล็กน้อย (4.38 และ 4.46) ต่างจากงานวิจัย TAM ในกลุ่มผู้ใช้ทั่วไปที่มักพบผลตรงกันข้าม Davis (1989) อธิบายว่าเมื่อผู้ใช้เห็นประโยชน์จริง อุปสรรคด้านความง่ายจะลดความสำคัญลง

9.3 ความสำเร็จของการถ่ายทอดเทคโนโลยี

การถ่ายทอดเทคโนโลยีมีความสำเร็จสูง (ร้อยละ 94) ซึ่งสูงกว่าอัตราความสำเร็จทั่วไปของการถ่ายทอดเทคโนโลยีเกษตรที่อยู่ที่ประมาณร้อยละ 70-80 อาจเกิดจากการเตรียมความพร้อมที่ดี รูปแบบการสอนที่เหมาะสม การใช้ผู้นำชุมชน และการสนับสนุนต่อเนื่อง

9.4 การอภิปรายทางเทคนิคเกี่ยวกับประสิทธิภาพของ RAG

ดำเนินการวิเคราะห์หัวข้อคำถามจริงจากบันทึกการใช้งานของเกษตรกร 50 คน จำนวน 1,050 รายการ พร้อมสัดส่วน ร้อยละ 5 หมวดหลัก ได้แก่ สุขภาพและการย้ายกระบะหนอนไหม ร้อยละ 21.62 สุขภาพหนอนไหมด้านอุณหภูมิความชื้น ร้อยละ 2.86 หมวดอื่น ๆ ร้อยละ 2019 คุณภาพและชนิดใบหม่อน ร้อยละ 19.33 และตาราง/มื้ออาหาร ร้อยละ 18.00

10. ข้อเสนอแนะงานวิจัย (Recommendation)

10.1 ข้อเสนอแนะเชิงเทคนิค

ควรปรับปรุงระบบ RAG ให้รองรับข้อมูลแบบเรียลไทม์ เช่น IoT และเพิ่มความสามารถด้านมัลติโหมด (ภาพ/เสียง) ให้คำแนะนำมีความแม่นยำ และพัฒนาโมเดลให้รองรับภาษาถิ่นและเพิ่มกลไกเรียนรู้จากผู้ใช้ (Feedback Loop) ให้เกิดการพัฒนาระบบอย่างต่อเนื่อง

10.2 ข้อเสนอแนะเชิงพาณิชย์

ควรพัฒนาไหมคำ AI เป็นแพลตฟอร์มบริการด้านเกษตร (AI-as-a-Service) และสร้างความร่วมมือกับหน่วยงานภาครัฐและเอกชนเพื่อขยายการใช้งานในระดับชุมชนและประเทศ รวมถึงต่อยอดสู่ตลาดภูมิภาคในบริบทเกษตรอัจฉริยะ

10.3 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต

1) ขยายขนาดกลุ่มตัวอย่างและใช้การทดลองแบบสุ่มให้มีความน่าเชื่อถือทางสถิติ และศึกษาผลกระทบระยะยาว รวมทั้งการวิเคราะห์โมเดลการยอมรับเทคโนโลยีเชิงลึก เช่น SEM หรือ UTAUT รวมถึงเปรียบเทียบกับระบบอื่นเพื่อยืนยันประสิทธิภาพ

2) งานวิจัยครั้งต่อไปควรนำเสนอผล Confusion Matrix ประกอบการรายงานค่า Accuracy, Precision, Recall เพื่อให้เห็นรายละเอียดการจำแนกผลลัพธ์ที่ชัดเจนยิ่งขึ้น

11. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก กองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ตามประกาศมหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ ประจำปีงบประมาณ 2568 และได้รับการพิจารณาและผ่านการรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา เลขที่ใบรับรอง HE-1444-2568 วันที่รับรอง 17 มิถุนายน 2568

12. การเปิดเผยการใช้ปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ (Declaration of Generative AI)

งานวิจัยนี้ใช้ Artificial Intelligence (ChatGPT 5.3) เรียบเรียงบทคัดย่อภาษาอังกฤษ (ChatGPT 5.3) สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลการวิจัยเป็นการดำเนินงานโดยนักวิจัยเองทั้งสิ้น

13. การแสดงบทบาทผู้เขียน (CRediT Author Statement)

Suphattra Wayalun: Investigation, Data Curation, Conceptualization, Methodology, Writing – Original Draft, Writing – Review & Editing, and Project Administration.

Songsak Meesit: Investigation, Software, Methodology, and Writing – Review & Editing.

Suphacai Kaeochan: Investigation, Project Administration, Methodology, and Writing – Review & Editing.

All authors read and approved the final manuscript.

14. เอกสารอ้างอิง (References)

Adamopoulou, E., & Moussiades, L. (2020). An Overview of Chatbot Technology. In Maglogiannis, I., Iliadis, L., & Pimenidis, E. (Eds), *Artificial Intelligence Applications and Innovations* (584, 373–383). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-49186-4_31

Asolo, E., Gil-Ozoudeh, I., & Ejimuda, C. (2024). AI-Powered Decision Support Systems for Sustainable Agriculture using AI-Chatbot Solution. *Journal of Digital Food, Energy & Water Systems, 5*(1), 1-10. https://doi.org/10.36615/2ar4w994

Beck, K., Beedle, M., Bennekum, A. V., Cockburn, A., Cunningham, W., Fowler, M., Grenning, J., Highsmith, J., Hunt, A., Jeffries, R., Kern, J., Marick, B., Martin, R. C., Mellor, S., Schwaber, K., Sutherland, J., & Thomas, D. (2001). *Manifesto for Agile Software Development*. https://agilemanifesto.org

Davis, F. D. (1989). Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology. *MIS Quarterly, 13*(3), 319–340. https://doi.org/10.2307/249008

Ekanayake, J., & Saputhanthri, L. (2020). E-AGRO: Intelligent Chat-Bot. IoT and Artificial Intelligence to Enhance Farming Industry. *AGRIS On-Line Papers in Economics and Informatics, 12*(1), 15–21. https://doi.org/10.7160/aol.2020.120102

Jantavongso, S. (2022). Toward Global Digital Literate Citizens: A Case of Thailand ’s Aging Generation. *The Electronic Journal of Information Systems in Developing Countries, 88*(2), e12207. https://doi.org/10.1002/isd2.12207

Kamilaris, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2018). Deep Learning in Agriculture: A Survey. *Computers and Electronics in Agriculture, 147*, 70–90. https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.02.016

(Research Article)

Lewis, P., Perez, E., Piktus, A., Petroni, F., Karpukhin, V., Goyal, N., Küttler, H., Lewis, M., Yih, W. -T., Rocktäschel, T., Riedel, S., Kiela, D. (2020, December 6-12). Retrieval-Augmented Generation for Knowledge-Intensive NLP Tasks. *34th Conference on Neural Information Processing Systems*, 9459-9474. Curran Associates.

Sawangloke, W., Chanthes, S., & Nuttee, S. (2023). Measuring the Labour Productivity of Sericultural Farmers in Mahasarakham Province, Thailand. African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development, 23(8), 24383–24405. https://doi.org/10.22004/ag.econ.340749

Schwaber, K., & Sutherland, J. (2020). *The Scrum Guide.* https://scrumguides.org/docs/scrumguide/v2020/2020-Scrum-Guide-US.pdf

Shoaib, M., Sadeghi-Niaraki, A., Ali, F., Hussain, I., & Khalid, S. (2025). Leveraging Deep Learning for Plant Disease and Pest Detection: A Comprehensive Review and Future Directions. *Frontiers in Plant Science, 16*, 1538163. https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1538163

Thar, S. P., Ramilan, T., Farquharson, R. J., Pang, A., & Chen, D. (2021). An Empirical Analysis of the Use of Agricultural Mobile Applications among Smallholder Farmers in Myanmar. *The Electronic Journal of Information Systems in Developing Countries, 87*(2), e12159. https://doi.org/10.1002/isd2.12159

Vaportzis, E., Giatsi Clausen, M., & Gow, A. J. (2017). Older Adults Perceptions of Technology and Barriers to Interacting with Tablet Computers: A Focus Group Study. *Frontiers in Psychology, 8*, 1687. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01687

Yu, H., Gan, A., Zhang, K., Tong, S., Liu, Q., & Liu, Z. (2025). Evaluation of Retrieval-Augmented Generation: A Survey. In Zhu, W., Xiong, H., Cheng, X., Cui, L., Dou, Z., Dong, J., Pang, S., Wang, L., Kong, L., & Chen, Z. (Eds), *Big Data* (2301, 102–120). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-96-1024-2_8

May-August 2026, 4(2), e3915
DOI: 10.65205/jcct.2026.e3915
Journal of Computer and Creative Technology
วารสารคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสร้างสรรค์
ISSN 2985-1580 (Print)
ISSN 2985-1599 (Online)

(Research Article)

Applying AI to Control Air Conditioning System Based on Occupancy

Tarin Gurin[1] and Chaiyaporn Khemapatapan[2,*]

[1,2]College of Engineering and Technology, Dhurakij Pundit University, Bangkok 10210, Thailand;
Email: [1]taringurin@hotmail.com, [2]chaiyaporn@dpu.ac.th

[*]*Corresponding author:* Chaiyaporn Khemapatapan (chaiyaporn@dpu.ac.th)

Received: 20 April 2026; **Revised:** 27 August 2026; **Accepted:** 29 August 2026; **Published:** 30 August 2026

Abstract

This research aimed to develop and evaluate a prototype of an occupancy-driven air conditioning control system. The system integrated human detection technology using the YOLOv8n algorithm with a Raspberry Pi processing unit an edge computing solution that is cost-effective, low-power, and compact—for real-time occupancy monitoring and counting for controlling air conditioning units via infrared signals. The system's performance was evaluated through 791 recorded events, focusing on detection accuracy under real-world indoor environmental lighting variations varying environmental conditions and control responsiveness. The results indicated high robustness to lighting variations, achieving an overall average accuracy of 92.21% with a Mean Absolute Error (MAE) of 0.44 people. The primary cause of detection error was attributed to person-to-person occlusion during high occupancy periods rather than lighting conditions. Furthermore, the system effectively adjusted air conditioning operations based on real-time occupancy, significantly reducing unnecessary energy consumption when spaces were unoccupied. These findings demonstrate the potential of the developed system for integration into smart buildings and sustainable energy management applications.

Keywords: Air Conditioning Control, YOLOv8n, Raspberry Pi, Object Detection, Person Detection, Energy Saving

Copyright © 2026 Journal of Computer and Creative Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC-ND).

Citation:
Gurin, T., & Khemapatapan, C. (2026). Applying AI to Control Air Conditioning System Based on Occupancy. *Journal of Computer and Creative Technology, 4*(2), e3915. https://doi.org/10.65205/jcct.2026.e3915

ISSN 2985-1580 (Print)
ISSN 2985-1599 (Online)

(Research Article)

การประยุกต์ใช้ AI เพื่อควบคุมระบบปรับอากาศตามปริมาณผู้ใช้งาน

ธาริน กุรินทร์[1] และ ชัยพร เขมะภาตะพันธ์[2,*]

[1,2]วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10210 ประเทศไทย;
Email: [1]taringurin@hotmail.com, [2]chaiyaporn@dpu.ac.th

[*]*ผู้ประพันธ์บรรณกิจ:* ชัยพร เขมะภาตะพันธ์ (chaiyaporn@dpu.ac.th)

รับบทความ: 20 เมษายน 2569; **แก้ไขบทความ:** 27 สิงหาคม 2569; **ตอบรับบทความ:** 29 สิงหาคม 2569;
เผยแพร่บทความ: 30 สิงหาคม 2569

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและทดสอบต้นแบบระบบควบคุมเครื่องปรับอากาศแบบตอบสนองต่อจำนวนผู้ใช้งาน โดยใช้เทคโนโลยีการตรวจจับบุคคลด้วยอัลกอริทึม YOLOv8n ร่วมกับบอร์ดประมวลผล Raspberry Pi ซึ่งเป็นการประมวลผลแบบ Edge Computing ที่มีราคาประหยัด กินพลังงานต่ำ และมีขนาดกะทัดรัด เพื่อตรวจจับและ นับจำนวนผู้ใช้งานแบบเรียลไทม์ จากนั้นใช้ข้อมูลดังกล่าวเป็นเงื่อนไขในการควบคุม เครื่องปรับอากาศผ่านสัญญาณ อินฟราเรด การทดสอบประสิทธิภาพครอบคลุมการบันทึกกิจกรรมรวมทั้งสิ้น 791 รายการ ผลการทดลองพบว่าระบบมีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมภายในอาคารจริงมีการเปลี่ยนแปลงของแสงสว่าง โดยมีค่าความถูกต้องเฉลี่ยรวมอยู่ที่ร้อยละ 92.21 และมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย รวมเท่ากับ 0.44 คน ทั้งนี้ ความคลาดเคลื่อนส่วนใหญ่มีสาเหตุหลักมาจาก การเดินบดบังกันเองของบุคคล ในกรณีที่มีความหนาแน่นของผู้ใช้งานสูง นอกจากนี้ ระบบสามารถปรับการทำงาน ของเครื่องปรับอากาศให้เหมาะสมกับจำนวนผู้ใช้งานจริง ซึ่งช่วยลดการใช้พลังงานที่ไม่จำเป็นเมื่อไม่มีผู้ใช้งาน ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลการวิจัยแสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการนำไป ประยุกต์ใช้กับระบบอาคารอัจฉริยะ และการจัดการพลังงานอย่างยั่งยืนในอนาคต

คำสำคัญ: การควบคุมเครื่องปรับอากาศ, YOLOv8n, Raspberry Pi, การตรวจจับวัตถุ, การตรวจจับวัตถุ, การประหยัด

Copyright © 2026 Journal of Computer and Creative Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC-ND).

การอ้างอิง:
ธาริน กุรินทร์, และ ชัยพร เขมะภาตะพันธ์. (2569). การประยุกต์ใช้ AI เพื่อควบคุมระบบปรับอากาศตามปริมาณผู้ใช้งาน. *วารสารคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสร้างสรรค์, 4*(2), e3915. https://doi.org/10.65205/jcct.2026.e3915

(Research Article)

1. บทนำ (Introduction)

ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตภูมิอากาศแบบร้อนชื้น ทำให้มีความต้องการใช้เครื่องปรับอากาศเพื่อสร้าง สภาวะความสบายเชิงความร้อน (Thermal Comfort) เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากรายงานการใช้จ่ายพลังงาน พ.ศ. 2567 พบว่าครัวเรือนไทยมีอัตราการเป็นเจ้าของเครื่องปรับอากาศเฉลี่ยถึง 1.7 เครื่องต่อครัวเรือน ส่งผลให้มีภาระค่าไฟฟ้าสูงถึง ร้อยละ 34.0 ของค่าใช้จ่ายด้านพลังงานทั้งหมด (National Statistical Office, 2025) อย่างไรก็ตาม การใช้งานเครื่องปรับ อากาศในปัจจุบันมักเป็นการตั้งค่าแบบคงที่ โดยไม่คำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงของจำนวนผู้ใช้งานจริงในพื้นที่ ส่งผลให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงานโดยไม่จำเป็นและกระจายความเย็นได้ไม่เหมาะสม ซึ่งการแก้ปัญหาดังกล่าวสอดคล้องกับ เป้าหมายด้านการพัฒนาอาคารอัจฉริยะ (Smart Building) และการจัดการพลังงานอย่างยั่งยืน (Sustainable Energy Management) (Massey, 2025)

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า อัลกอริทึมในตระกูล YOLO (You Only Look Once) ได้รับการนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจจับและนับจำนวนบุคคลในหลากหลายบริบท โดย Chen et al. (2025) ได้พัฒนาโมเดล YOLOv8n สำหรับตรวจนับคนในห้องสมุดอัจฉริยะ และพบว่ามีความแม่นยำสูงพร้อมประมวลผลได้แบบเรียลไทม์บนอุปกรณ์ที่มีทรัพยากรจำกัด นอกจากนี้ Yulita et al. (2025) ได้ประยุกต์ใช้โมเดล YOLOv8 ในการตรวจจับความหนาแน่นของคนเพื่อควบคุมเครื่องปรับอากาศอัตโนมัติภายในสำนักงาน และพิสูจน์ว่าสามารถลดการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม งานวิจัยดังกล่าวยังขาดความแปรปรวนของสภาพแสงสว่างในพื้นที่อาคาร ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของแสงธรรมชาติในเวลากลางวัน การส่องผ่านหน้าต่างแบบย้อนแสง (Backlight) และแสงประดิษฐ์คงที่จากหลอดไฟในเวลากลางคืน ล้วนส่งผลกระทบโดยตรงต่อเสถียรภาพและการเกิดเงารบกวนภาพวิดีโอ

ด้วยเหตุนี้ งานวิจัยนี้จึงพัฒนาระบบควบคุมเครื่องปรับอากาศอัจฉริยะที่สามารถตอบสนองต่อความหนาแน่นของผู้ใช้งานได้แบบเรียลไทม์ โดยประยุกต์ใช้อัลกอริทึม YOLOv8 เข้ามาวิเคราะห์จำนวนผู้ใช้งานจากภาพวิดีโอ ผสานการประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่มีประสิทธิภาพสูง อย่าง Raspberry Pi จึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดในการสร้างระบบควบคุมแบบประมวลผลที่ปลายทาง (Edge Computing) เนื่องจากมีความสามารถในการประมวลผลภาพจากบอร์ดได้โดยตรงแบบเรียลไทม์ผ่านพอร์ต GPIO ร่วมกับโมดูลอินฟราเรด โดยไม่พึ่งพาเครื่องแม่ข่ายหรือระบบคลาวด์ภายนอก ช่วยลดความหน่วงเวลาของระบบ ลดต้นทุนการบำรุงรักษา และสอดคล้องกับแนวคิดการพัฒนาเทคโนโลยีอาคารอัจฉริยะที่ยั่งยืน

2. วัตถุประสงค์งานวิจัย (Research Objectives)

1. เพื่อพัฒนาระบบประมวลผลในการตรวจจับบุคคล บนบอร์ดประมวลผล Raspberry Pi สำหรับตรวจจับและวิเคราะห์ความหนาแน่นของผู้ใช้งานในห้องแบบเรียลไทม์ โดยใช้อัลกอริทึม YOLOv8 ในการจำแนกจำนวนบุคคลจากภาพวิดีโอผ่านโมดูลกล้อง (Camera Module)
2. เพื่อออกแบบและติดตั้งระบบต้นแบบ (Prototype System) ที่สามารถควบคุมฟังก์ชันหลักของเครื่องปรับอากาศ (การเปิด–ปิด, การปรับอุณหภูมิ, และการปรับความเร็วพัดลม) ผ่านการส่งคำสั่งด้วยโมดูลส่งสัญญาณอินฟราเรด (IR Transmitter) ที่ทำงานสอดคล้องกับผลการนับจำนวนผู้ใช้งานนของเครื่องปรับอากาศ เช่น การเปิด–ปิด การปรับอุณหภูมิ และความเร็วพัดลม
3. เพื่อประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบต้นแบบ ทั้งในด้านความแม่นยำของการตรวจจับผู้ใช้งาน ความเร็วในการตอบสนองของระบบ และความสามารถในการปรับสภาพอุณหภูมิให้เหมาะสมกับจำนวนผู้ใช้งานจริง
4. เพื่อนำเสนอแนวทางการประยุกต์ใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติ ผ่านเทคโนโลยี Computer Vision และ IoT เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในระดับอาคาร (Smart Building)

3. การทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)

3.1 ระบบปรับอากาศและทฤษฎีสภาวะความสบาย (Air Conditioning System and Thermal Comfort)

ระบบปรับอากาศเป็นอุปกรณ์ที่มีการสิ้นเปลืองพลังงานสูง การจัดการพลังงานอย่างยั่งยืน (Sustainable Energy Management) จึงมุ่งเน้นการรักษาสมดุลระหว่างการประหยัดพลังงานกับการสร้าง “สภาวะความสบายเชิงความร้อน”

(Thermal Comfort) ซึ่งหมายถึงสภาวะที่จิตใจมนุษย์แสดงความพึงพอใจต่อสภาพแวดล้อมทางความร้อนรอบตัว งานวิจัยนี้จึงนำแนวคิดอาคารอัจฉริยะ (Smart Building) มาประยุกต์ใช้เพื่อควบคุมการกระจายความเย็น ให้เหมาะสมกับจำนวนผู้ใช้งานในพื้นที่ ซึ่งช่วยรักษาสภาวะความสบายของผู้ใช้งานไปพร้อมกับการควบคุม การใช้พลังงานให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด (Massey, 2025)

3.2 แนวคิดระบบควบคุมอัตโนมัติและอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Automatic Control System and IoT)

ระบบควบคุมอัตโนมัติทำงานผ่านกลไกข้อมูลป้อนกลับ (Feedback) เพื่อปรับเปลี่ยนสถานะของอุปกรณ์ และลดการแทรกแซงจากมนุษย์ (Ogata, 2010) งานวิจัยนี้ได้นำแนวคิดดังกล่าวมาบูรณาการร่วมกับเทคโนโลยี อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) โดยเชื่อมต่อหน่วยประมวลผลกับโมดูลส่งสัญญาณอินฟราเรด (IR Transmitter) เพื่อให้ระบบสามารถประมวลผลและสั่งการเปิด-ปิด หรือปรับอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศให้สอดคล้องกับจำนวน ผู้ใช้งานจริงแบบเรียลไทม์ ซึ่งช่วยสนับสนุนการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ (Energy Efficiency) ได้อย่างเป็นรูปธรรม

3.3 ทฤษฎีการประมวลผลภาพดิจิทัลและการตรวจจับวัตถุ (Digital Image Processing and Object Detection)

หนึ่งในกระบวนการขั้นสูงที่สำคัญของการประมวลผลภาพดิจิทัลคือ การตรวจจับวัตถุ (Object Detection) ที่มีเป้าหมายเพื่อระบุประเภทและตำแหน่งของเป้าหมาย ในสภาวะการใช้งานจริงภายในอาคาร สภาพแสงที่หลากหลาย (Varying Lighting Conditions) ถือเป็นปัจจัยรบกวนภายนอกที่สำคัญที่สุดต่อโมเดลคอมพิวเตอร์วิทัศน์ การเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มแสงและการเกิดเงาตกกระทบบนผิววัตถุ สามารถบิดเบือนข้อมูลพิกเซลในภาพ (Pixel Intensity) ทำให้ลักษณะการจำแนกเส้นขอบและรูปร่างทางกายภาพของบุคคลสูญเสียความชัดเจน การควบคุมระบบอัตโนมัติจึงจำเป็นต้องใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่มีความลึกและทนทานสูง เช่น โมเดลตระกูล YOLO มีจุดเด่นด้านความแม่นยำและการประมวลผลแบบเรียลไทม์ (Sohan et al., 2024; Chen et al., 2025) งานวิจัยนี้จึงนำเทคโนโลยีดังกล่าวมาใช้เพื่อให้กล้องสามารถแยกแยะและนับจำนวน “บุคคล” ภายในห้องได้อย่างทันท่วงที ข้อมูลจำนวนผู้ใช้งานที่ได้จะถูกส่งไปยังหน่วยประมวลผลเพื่อสั่งการเครื่องปรับอากาศ โดยอัตโนมัติ ซึ่งถือเป็นกลไกหลักในการบริหารจัดการพลังงานให้สอดคล้องกับพฤติกรรมการใช้งานจริง (Yulita et al., 2025)

3.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Related Research)

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) และการประมวลผลภาพ (Computer Vision) ในการตรวจจับวัตถุและบุคคลได้รับการพัฒนาอย่างก้าวกระโดด โดยเฉพาะอัลกอริทึมในตระกูล YOLO (You Only Look Once) ที่ถูกนำมาใช้ในหลากหลายอุตสาหกรรม รวมถึงการบูรณาการเพื่อการจัดการพลังงานในอาคารอัจฉริยะ (Smart Building) จากการทบทวนวรรณกรรมพบงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและสอดคล้องกับการพัฒนาระบบในครั้งนี้ ดังนี้ ในด้านการพัฒนาโมเดลให้ทำงานบนอุปกรณ์ทรัพยากรจำกัด (Edge Devices) และการรับมือกับความหนาแน่นของคน (Crowd Monitoring) Chen et al. (2025) ได้พัฒนาโมเดล “Dense-stream YOLOv8n” สำหรับตรวจนับ คนในห้องสมุดอัจฉริยะ โดยนำโมเดล YOLOv8n มาปรับปรุงด้วยโมดูล DensityNet เพื่อแก้ปัญหาการเดินบดบังกัน (Occlusion) ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าระบบมีความแม่นยำสูง (mAP@0.5 ≈ 0.99) และประมวลผลได้เร็วถึง 254 FPS โดยใช้ทรัพยากรการประมวลผลต่ำ จึงเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับการนับคนเข้า-ออกแบบเรียลไทม์ นอกจากนี้ งานวิจัยของ Jayaram et al. (2024) ได้ใช้ YOLOv8 ร่วมกับเทคนิค Transfer Learning ในระบบกล้องวงจรปิดเพื่อระบุและติดตามบุคคล พบว่าระบบสามารถตรวจจับบุคคลพร้อมกันได้มากถึง 38 คนในเฟรมเดียว ด้วยความถูกต้อง 94.67% แม้ในสภาพ แสงหรือท่าทางที่เปลี่ยนไป และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Jayaram et al. (2024) ที่ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคการเรียนรู้แบบถ่ายโอน (Transfer Learning) ร่วมกับโมเดล YOLOv8 ในสภาวะแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงของสภาพแสง ซึ่งยืนยันขีดความสามารถในการจำแนกและนับจำนวนบุคคลในพื้นที่หนาแน่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับการเปรียบเทียบ ประสิทธิภาพของโมเดลตระกูล YOLO ขนาดเล็ก (Nano Model) Alashrafi et al. (2025) ได้ทดสอบ YOLOv8n, YOLOv10n และ YOLOv12n ในงานเฝ้าระวังด้านสุขอานามัย ด้วยภาพกว่า 31,000 ภาพ พบว่า YOLOv8n ให้ผลลัพธ์ ที่ดีที่สุดเมื่อใช้เกณฑ์การประเมินที่เข้มงวด (mAP@50-95) เนื่องจากมีความได้เปรียบเรื่องความแม่นยำใน การจำแนกตำแหน่ง อีกทั้งการนำ YOLOv8 ไปประยุกต์ใช้กับชุดข้อมูลเฉพาะ (Custom Dataset) ยังให้ผลลัพธ์ที่ยอดเยี่ยม ดังเช่นงานวิจัยของ Krishna et al. (2024) ที่สร้างชุดข้อมูล เพื่อตรวจจับผู้ขับขี่ไม่สวมหมวกนิรภัยกว่า 1,200 ภาพ ซึ่งโมเดลสามารถทำงานในสภาพแวดล้อมจริงบนท้องถนนด้วยความถูกต้องถึงร้อยละ 98 สรุปจากการทบทวนงาน วิจัยที่เกี่ยวข้อง: พบว่าอัลกอริทึม YOLOv8 โดยเฉพาะรุ่น Nano

(YOLOv8n) มีความเหมาะสมอย่างยิ่งในการนำมาใช้ สำหรับตรวจจับและนับจำนวนบุคคล เนื่องจากมีความเร็ว ในการประมวลผลสูง ใช้ทรัพยากรน้อย และมีความแม่นยำ แม้ในสภาพแวดล้อมที่มีการบดบัง งานวิจัยนี้จึงได้นำ จุดเด่นดังกล่าวมาบูรณาการร่วมกับบอร์ดประมวลผล Raspberry Pi และเซนเซอร์อินฟราเรด เพื่อสร้างระบบควบคุม เครื่องปรับอากาศอัจฉริยะที่สามารถตอบสนองต่อพฤติกรรมผู้ใช้งาน แบบเรียลไทม์ ซึ่งช่วยเติมเต็มช่องว่างด้านการประหยัด พลังงานในระดับอาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกเหนือจากการประเมินประสิทธิภาพในระดับอัลกอริทึมปัญญาประดิษฐ์แล้ว การบูรณาการระบบตรวจจับภาพเข้ากับบอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก (Single-Board Computer) เช่น Raspberry Pi สำหรับทำหน้าที่เป็นหน่วยประมวลผลปลายทาง (Edge Processing Unit) ได้รับความสนใจอย่างแพร่หลายในงานสถาปัตยกรรมระบบควบคุมอัตโนมัติ เนื่องจากช่วยกำจัดปัญหาคอขวดด้านช่องสัญญาณเครือข่ายและความล่าช้าในการส่งภาพวิดีโอความละเอียดสูงขึ้นไปประมวลผลบนคลาวด์ (Cloud Latency) และเพิ่มเสถียรภาพในการป้องกันความเสียหายของข้อมูลส่วนบุคคลภายในพื้นที่วิจัย

4. กรอบแนวคิดงานวิจัย (Conceptual Framework)

การวิจัยนี้มีกรอบแนวคิดการการวิจัย ดัง Figure 1.

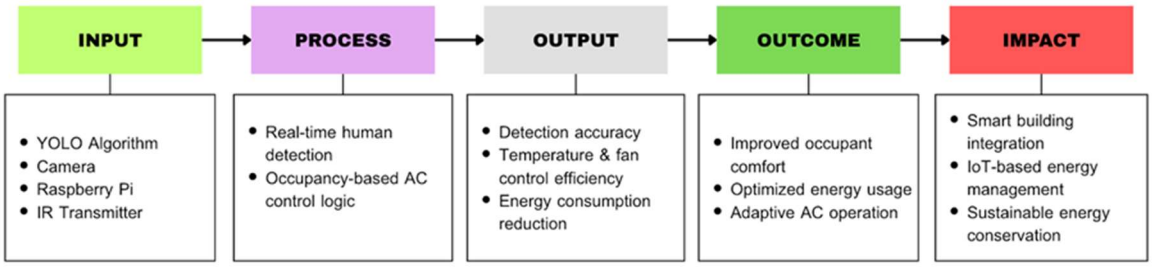


Figure 1. Conceptual Framework

การวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาระบบควบคุมเครื่องปรับอากาศอัจฉริยะที่สามารถตอบสนองต่อจำนวนผู้ใช้งานภายในห้องแบบเรียลไทม์ โดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) ร่วมกับอุปกรณ์ Internet of Things (IoT) กรอบแนวคิดการวิจัยดังแสดงใน Figure 1. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบหลัก ได้แก่ ปัจจัยนำเข้า (Input) กระบวนการ (Process) ผลลัพธ์เชิงเทคนิค (Output) ผลลัพธ์จากการใช้งานจริง (Outcome) และผลกระทบในระดับระบบ (Impact) โดยระบบจะรับข้อมูลภาพจากกล้องและประมวลผลด้วยอัลกอริทึม YOLO เพื่อทำการตรวจจับ และนับจำนวนผู้ใช้งาน จากนั้นนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้ในการกำหนดเงื่อนไขควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศ แบบอัตโนมัติ ส่งผลให้สามารถควบคุมอุณหภูมิได้อย่างเหมาะสม ลดการใช้พลังงาน และเพิ่มความสบายของผู้ใช้งาน ทั้งนี้ยังสามารถต่อยอดไปสู่การพัฒนาระบบอาคารอัจฉริยะ และระบบจัดการพลังงานในอนาคต

5. วิธีดำเนินงานวิจัย (Research Methodology)

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองและการพัฒนาระบบ (Research and Development) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและทดสอบต้นแบบระบบควบคุมเครื่องปรับอากาศที่สามารถตรวจจับจำนวนผู้ใช้งานได้แบบเรียลไทม์ โดยมีขั้นตอน 5 ขั้นตอนหลักที่ใช้ในการวิจัยและพัฒนานี้ ประยุกต์มาจาก กรอบการวิจัยและพัฒนาแบบ ADDIE Model (Branch, 2009) ซึ่งเป็นแบบจำลองการออกแบบเชิงระบบที่ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลายในการพัฒนาซอฟต์แวร์และนวัตกรรมเทคโนโลยี

5.1 เครื่องมือ อุปกรณ์ และซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการวิจัย (Hardware and Software Components)

การพัฒนาระบบต้นแบบประกอบด้วยองค์ประกอบหลักดังนี้ ฮาร์ดแวร์ (Hardware): บอร์ดประมวลผลขนาดเล็ก (Raspberry Pi) ทำหน้าที่เป็นหน่วยประมวลผลกลาง, กล้องวิดีโอสำหรับจับภาพภายในห้อง, และโมดูลตัวส่ง สัญญาณ

อินฟราเรด (IR Transmitter) สำหรับส่งคำสั่งไปยังเครื่องปรับอากาศ ซอฟต์แวร์และอัลกอริทึม (Software & Algorithm): โมเดลการตรวจจับวัตถุ YOLO (You Only Look Once) ทำหน้าที่ตรวจจับและนับจำนวนบุคคล ในภาพ และภาษา Python สำหรับเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบและประมวลผลตรรกะเงื่อนไข

5.2 ขั้นตอนการออกแบบและพัฒนาระบบ (System Development Process)

กระบวนการพัฒนาระบบแบ่งออกเป็นขั้นตอนย่อย ดังนี้

5.1.1 การออกแบบระบบ (System Design)

วางโครงสร้างการทำงานของระบบให้มีการรับข้อมูลภาพจากกล้อง ส่งเข้าสู่หน่วยประมวลผลเพื่อวิเคราะห์ จำนวนผู้ใช้งาน และส่งผลลัพธ์ไปสั่งงานโมดูลอินฟราเรดเพื่อควบคุมเครื่องปรับอากาศ

5.2.2 การทดสอบและเปรียบเทียบโมเดล (Model Evaluation and Selection)

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลตรวจจับวัตถุในตระกูล YOLO ขนาดเล็ก ได้แก่ YOLOv8n, YOLOv10n และ YOLOv12n โดยนำโมเดลไปทดสอบประมวลผลจริงบนบอร์ด Raspberry Pi (Edge Device) เพื่อประเมินความสามารถในการทำงานแบบเรียลไทม์ภายใต้ทรัพยากรฮาร์ดแวร์ที่จำกัด

5.2.3 การพัฒนาและฝังโมเดลลงระบบ (Model Deployment)

นำโมเดล YOLOv8n ที่ผ่านการคัดเลือกไปติดตั้งและปรับแต่งให้เหมาะสมกับการทำงานบน Raspberry Pi โดยเชื่อมต่อกับระบบรับภาพจากกล้อง และปรับแต่งพารามิเตอร์เพื่อให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในสภาพแวดล้อมจริง

5.2.4 การต่อวงจรและการเชื่อมต่ออุปกรณ์ (Circuit Connection and System Integration)

ดำเนินการเชื่อมต่อกล้องและโมดูลอินฟราเรดเข้ากับพอร์ตพิน (GPIO) ของบอร์ด Raspberry Pi

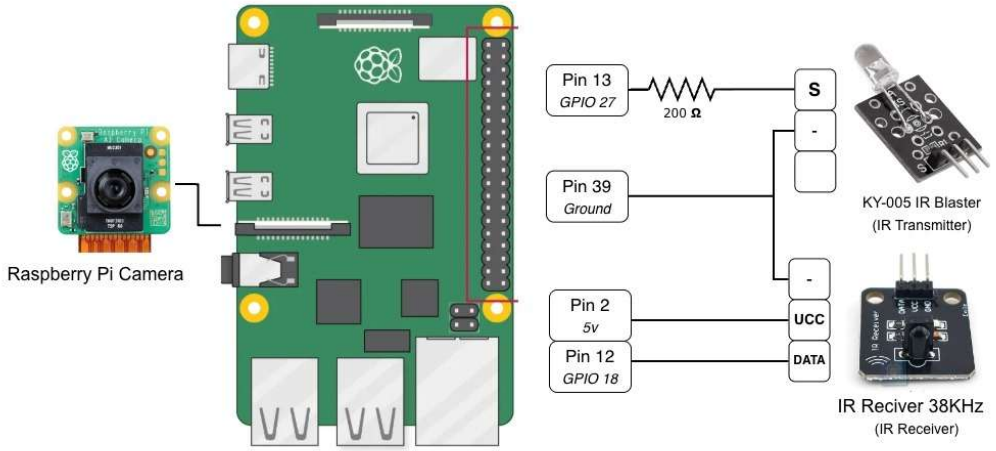


Figure 2. System Architecture and GPIO Configuration

5.2.5 ขั้นตอนการบันทึกสัญญาณอินฟราเรด

ทำการบันทึกและถอดรหัสสัญญาณ (IR Signal Decoding) จากรีโมทคอนโทรลของเครื่องปรับอากาศ ต้นแบบเพื่อให้บอร์ดสามารถจำลองการส่งสัญญาณคำสั่ง เช่น การเปิด-ปิด, การปรับอุณหภูมิ และความเร็ว พัดลมได้ตรงกับระบบของเครื่องปรับอากาศเดิม

5.3 ขั้นตอนการทำงานหลักของระบบ (System Workflow)

เมื่อระบบเริ่มทำงาน กล้องจะทำการบันทึกภาพภายในห้องแบบเรียลไทม์ จากนั้นภาพจะถูกส่งไปยัง Raspberry Pi เพื่อให้โมเดล YOLOv8 ประมวลผลและนับจำนวนผู้ใช้งาน ข้อมูลจำนวนคนที่ได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับตรรกะการตัดสินใจ (Decision Logic) ที่ตั้งไว้ โดยระบบมีการกำหนดเงื่อนไขการทำงานของเครื่องปรับอากาศ (โหมดทำความเย็น) ให้สอดคล้องกับความหนาแน่นของผู้ใช้งานดังนี้

1. จำนวนผู้ใช้งาน 1 – 2 คน: สั่งเปิดเครื่องปรับอากาศและตั้งอุณหภูมิที่ 27°C
2. จำนวนผู้ใช้งาน 3 – 5 คน: สั่งเปิดเครื่องปรับอากาศและตั้งอุณหภูมิที่ 25°C
3. จำนวนผู้ใช้งาน 6 – 7 คน: สั่งเปิดเครื่องปรับอากาศและตั้งอุณหภูมิที่ 24°C
4. จำนวนผู้ใช้งาน 8 – 9 คน: สั่งเปิดเครื่องปรับอากาศและตั้งอุณหภูมิที่ 23°C
5. จำนวนผู้ใช้งาน 10 คนขึ้นไป: สั่งเปิดเครื่องปรับอากาศและตั้งอุณหภูมิที่ 22°C
6. กรณีไม่พบผู้ใช้งาน: หากระบบตรวจไม่พบผู้ใช้งานติดต่อกันตั้งแต่ 40 รอบการตรวจจับ (1 รอบการ ตรวจจับเท่ากับ 3 วินาที) ระบบจะส่งคำสั่งปิดเครื่องปรับอากาศโดยอัตโนมัติ เพื่อป้องกันความผิดพลาด (False Positive) และลดการใช้พลังงานที่ไม่จำเป็น

หากมีการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของผู้ใช้งานจนถึงเกณฑ์ที่กำหนด ระบบจะทำการส่งสัญญาณ คำสั่งผ่านโมดูลอินฟราเรดไปยังตัวรับสัญญานของเครื่องปรับอากาศโดยอัตโนมัติ เพื่อปรับอุณหภูมิให้เหมาะสม หรือปิดเครื่องเมื่อไม่มีผู้ใช้งาน พร้อมทั้งอัปเดตสถานะของเครื่องปรับอากาศไว้ในระบบเพื่อป้องกันการส่งสัญญาณซ้ำซ้อน

5.4 ขั้นตอนการทำงานหลักของระบบ (System Workflow)

เมื่อระบบเริ่มทำงาน กล้องจะทำการบันทึกภาพภายในห้องแบบเรียลไทม์ จากนั้นภาพจะถูกส่งไปยัง Raspberry Pi เพื่อให้โมเดล YOLOv8 ประมวลผลและนับจำนวนผู้ใช้งาน ข้อมูลจำนวนคนที่ได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับเงื่อนไข (Logic) ที่ตั้งไว้ หากมีการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของผู้ใช้งานจนถึงเกณฑ์ที่กำหนด ระบบจะทำการส่งสัญญาณ คำสั่งผ่านโมดูลอินฟราเรดไปยังตัวรับสัญญานของเครื่องปรับอากาศโดยอัตโนมัติ (Daikin FBA Series, เครื่องปรับอากาศ ประเภทต่อล่อลมที่มีตัวรับสัญญานอินฟราเรด) เพื่อปรับอุณหภูมิให้เหมาะสมหรือปิดเครื่อง เมื่อไม่มีผู้ใช้งาน

5.5 การทดสอบระบบและการเก็บรวบรวมข้อมูล (System Testing and Data Collection)

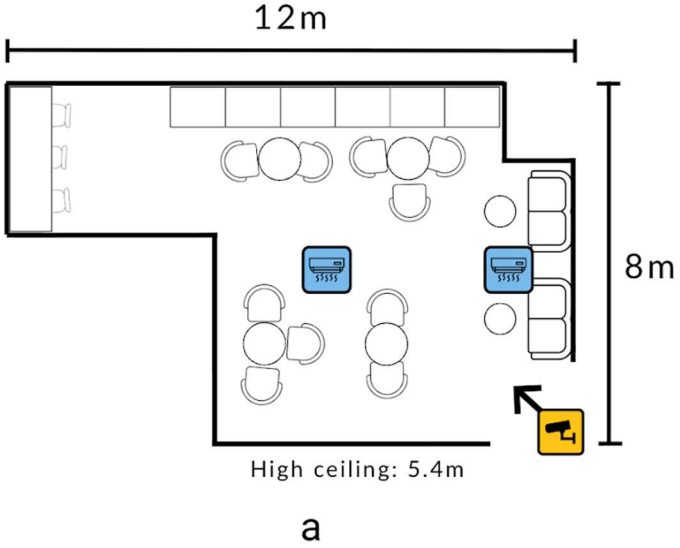


Figure 3. (a) Strategic Camera Positioning for User Density Monitoring; (b) Captured Scene Showcasing YOLOv8 Detection Accuracy During Daylight; and (c) Captured Scene Demonstrating System Robustness During Nighttime

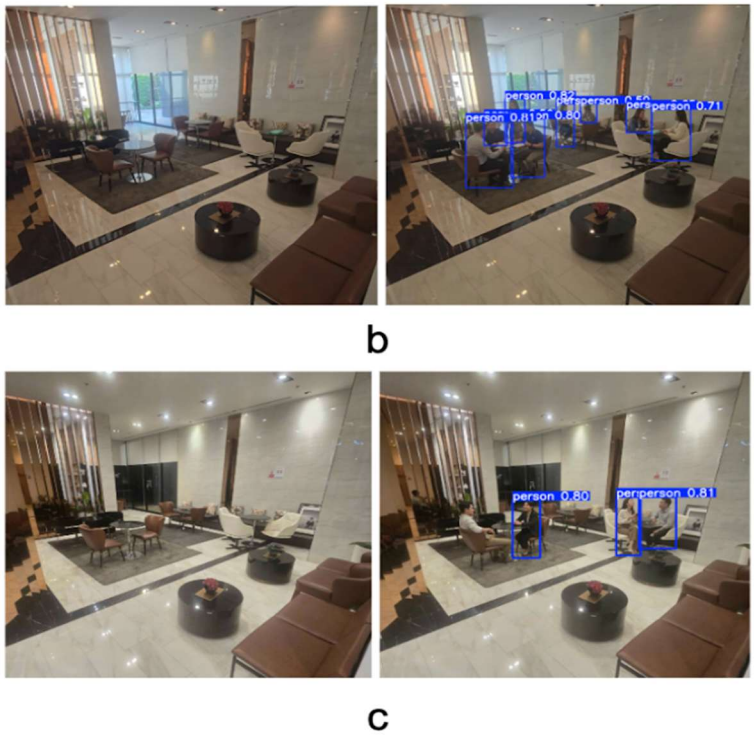


Figure 3. (a) Strategic Camera Positioning for User Density Monitoring; (b) Captured Scene Showcasing YOLOv8 Detection Accuracy During Daylight; and (c) Captured Scene Demonstrating System Robustness During Nighttime (Cont.)

ดำเนินการทดลองภายใน ห้องปฏิบัติการ ขนาด 12 × 8 × 5.4 เมตร (เพดานสูง 5.4 เมตร) ซึ่งมีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศประเภทต่อท่อลม (Daikin FBA Series) ร่วมกับตัวรับสัญญาณอินฟราเรด และกล้องบันทึกภาพถูกติดตั้งในมุมสูงชี้ลงมายังพื้นที่ห้องเพื่อประสิทธิภาพในการตรวจจับที่ครอบคลุมสูงสุด ระบบได้รับการตั้งค่าให้ทำประมวลผลและสร้างบันทึกการทำงานของระบบ (System Logging) ทุก ๆ 1 นาทีแบบเรียลไทม์ จากการรวบรวมข้อมูลการทดสอบได้รายการบันทึกทั้งสิ้น 791 รายการ ซึ่งครอบคลุมทั้งช่วงเวลากลางวันที่มีอิทธิพลจากแสงธรรมชาติและแสงย้อน (413 รายการ) และช่วงเวลากลางคืนที่ใช้แสงสว่างจากหลอดไฟภายในอาคาร (378 รายการ)

5.6 การวิเคราะห์ข้อมูล (Data Analysis)

การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณใช้สถิติเชิงพรรณนาในการประเมินประสิทธิภาพของระบบตรวจจับบุคคล โดยคำนวณตัวชี้วัดหลัก ได้แก่

1. ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Mean Absolute Error: MAE)
2. ค่าความถูกต้องเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนัก (Weighted Accuracy)

เป็นดัชนีชี้วัดหลัก แทนการใช้ค่า mAP หรือ Precision/Recall ในระดับพิกเซลเฟรมภาพ เนื่องจากตรรกะการตัดสินใจควบคุมเครื่องปรับอากาศ (Control Decision Logic) ในงานวิจัยนี้ อาศัยเพียง “จำนวนผลรวมของบุคคลสะสมในห้อง (Final Numeric Count)” เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการส่งคำสั่งเปลี่ยนสถานะของเครื่องปรับอากาศเท่านั้น ระบบไม่ได้นำข้อมูลพิกัดตำแหน่ง (Bounding Box Coordinates) ของบุคคลไปใช้ในการตัดสินใจสั่งการ ดังนั้น ค่า MAE (ซึ่งระบุความคลาดเคลื่อนเป็นจำนวน “คน” โดยตรง) และ Weighted Accuracy ของสถานะควบคุม จึงเป็นตัวชี้วัดที่สะท้อนถึงเสถียรภาพและประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานของระบบที่พัฒนาขึ้นจริงในทางปฏิบัติ

6. ผลการวิจัย (Results)

การวิจัยเพื่อพัฒนาระบบควบคุมเครื่องปรับอากาศแบบตอบสนองต่อปริมาณผู้ใช้งาน งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการทดสอบและประเมินประสิทธิภาพของระบบในสภาวะการใช้งานจริง โดยแบ่งการวิเคราะห์ผลออกเป็น 4 ส่วนหลักเพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัย โดยมีผลการวิจัยดังนี้

6.1 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลตรวจจับวัตถุบนบอร์ดประมวลผล

ดำเนินการทดสอบและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการประมวลผลและการระบุจำนวนบุคคลในระดับเฟรมภาพของโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมตระกูล YOLO ขนาดเล็ก (Nano) จำนวน 3 รุ่น ได้แก่ YOLOv8n, YOLOv10n และ YOLOv12n โดยการรันประมวลผลจริงบนบอร์ด Raspberry Pi ผ่านชุดข้อมูลวิดีโอทดสอบจำนวน 3,575 เฟรม เพื่อนำโมเดลที่มีประสิทธิภาพสูงสุดมาใช้เป็นแกนหลักในการตัดสินใจสั่งการระบบควบคุมเครื่องปรับอากาศ ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพแสดงดัง Table 1.

Table 1. Performance Comparison of YOLO Models on Raspberry Pi

Model	Avg FPS	Avg People Detected (person)	Max People Detected (person)	MAE (person)
YOLOv8n	3.90	5.55	10	3.198
YOLOv10n	4.13	5.83	9	3.021
YOLOv12n	3.46	5.87	10	3.319

จากผลการทดลองใน Table 1. พบว่า YOLOv10n มีความเร็วในการประมวลผลเฉลี่ยสูงสุดที่ 4.13 FPS และมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (MAE) ในการตรวจจับที่ 3.02 คน ทว่ากลับมีข้อจำกัดในการตรวจจับบุคคลในเฟรมที่มีความหนาแน่นสูง โดยสามารถตรวจจับผู้ใช้งานได้สูงสุดเพียง 9 คน ในขณะที่ YOLOv12n แม้จะมีค่า MAE ต่ำสุดที่ 2.74 คน และจับบุคคลได้สูงสุด 10 คน แต่มีความเร็วต่ำที่สุดเพียง 3.46 FPS ซึ่งอาจมีผลต่อการตอบสนองแบบเรียลไทม์

6.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการส่งสัญญาณอินฟราเรดเพื่อควบคุมเครื่องปรับอากาศ

ในงานวิจัยนี้เพื่อประเมินความถูกต้องและความน่าเชื่อถือในการทำงานของบอร์ดควบคุมควบคุมเครื่องปรับอากาศอัจฉริยะ (Prototype System) งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการถอดรหัสสัญญาณอินฟราเรดให้อยู่ในรูปแบบ RAW Code ของรีโมทคอนโทรลเครื่องปรับอากาศต้นแบบ และทดสอบการส่งสัญญาณจากโมดูลส่งสัญญาณอินฟราเรด (IR Transmitter รุ่น KY-005) ไปยังตัวรับสัญญาณของเครื่องปรับอากาศประเภทต่อท่อลม (Daikin FBA Series) ภายใต้ตัวแปรด้านระยะทางและตำแหน่งทิศทางในการติดตั้งดังนี้

1. ด้านระยะทางการส่งสัญญาณ: จากการทดสอบพบว่า ที่ระยะห่าง 1 และ 2 เมตร ระบบมีอัตราความสำเร็จในการส่งคำสั่งสูงถึงร้อยละ 100 แต่เมื่อเพิ่มระยะห่างเป็น 3 เมตร อัตราความสำเร็จจะลดลงเหลือร้อยละ 70 และที่ระยะ 4 เมตร ไม่สามารถส่งคำสั่งได้สำเร็จ (ร้อยละ 0)

2. ด้านตำแหน่งและมุมการส่งสัญญาณ (ทดสอบที่ระยะ 2 เมตร): การติดตั้งโมดูลในเอียงกว่าตัวรับสัญญาณ (มุม 45 องศา) และใต้ตัวรับสัญญาณ (มุม 90 องศา) ให้อัตราความสำเร็จสูงสุดร้อยละ 100 ในขณะที่การติดตั้ง แบบระดับเดียวกับตัวรับสัญญาณ (มุม 0 องศา) ทำให้อัตราความสำเร็จลดลง (ร้อยละ 80 - 90) และหากมี สิ่งกีดขวางบางส่วน อัตราความสำเร็จจะลดลงเหลือเพียงร้อยละ 20

ผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่า ระบบสามารถส่งสัญญาณและสั่งการเครื่องปรับอากาศ (เช่น การเปิด-ปิด, การปรับอุณหภูมิ, ความเร็วพัดลม) ได้อย่างถูกต้องและแม่นยำร้อยละ 100 ณ ระยะห่างที่เหมาะสมไม่เกิน 2 เมตร และจำเป็นต้องติดตั้งในแนวส่งตรงหรือแนวใต้ตัวรับสัญญาณของเครื่องปรับอากาศโดยไม่มีสิ่งกีดขวาง (Line of Sight)

6.3 ผลการทดสอบความแม่นยำในการนับจำนวนผู้ใช้งานในห้องทดสอบจริง

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบระบบตรวจจับและนับจำนวนคนด้วยโมเดล YOLOv8n บนฮาร์ดแวร์ Raspberry Pi ในสภาพแวดล้อมการทำงานจริง ณ ห้องปฏิบัติการขนาด 12 × 8 เมตร โดยเก็บรวบรวมบันทึก Log กิจกรรมทั้งหมด 791

รายการ เพื่อประเมินความถูกต้องเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก (Weighted Accuracy) และค่าความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ย (MAE) ภายใต้ตัวแปรสภาพแสงที่หลากหลาย ดังแสดงใน Table 2.

Table 2. Detection Performance Comparison Across Daytime and Nighttime Conditions

Testing Period	Recorded Events	MAE	Weighted Accuracy
Daytime	413	0.51	91.62%
Nighttime	378	0.37	92.86%
Overall	791	0.44	92.21%

ผลการทดสอบใน Table 1. และ Table 2. ยืนยันว่าระบบควบคุมควบคุมที่พัฒนาขึ้นมีความทนทานสูง (Robustness) ต่อสภาพแสงที่แปรปรวน โดยภาพรวมสามารถรักษาความถูกต้องเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักในการนับคนได้สูงถึงร้อยละ 92.21% มีค่าความคลาดเคลื่อนรวมเฉลี่ยต่ำเพียง 0.44 คน มีความคงที่ ลดการเกิดเงาที่ซับซ้อน ต่างจากช่วงเวลากลางวันที่มีปัจจัยเรื่องแสงธรรมชาติและแสงย้อนที่ส่งผลให้ค่า MAE สูงขึ้นเล็กน้อยเป็น 0.51 คน ประสิทธิภาพตามความหนาแน่นในภาพรวมทั้งสองช่วงเวลา ระบบมีความแม่นยำสูง กว่าร้อยละ 96-97 เมื่อมีผู้ใช้งานในพื้นที่น้อย (1-4 คน) อย่างไรก็ดี เมื่อจำนวนผู้ใช้งานในห้องเพิ่มขึ้นสูงตั้งแต่ 6 คนขึ้นไป อัตราความถูกต้องมีแนวโน้มลดลงตามลำดับลงมาอยู่ในช่วงร้อยละ 77.82% - 89.71% โดยมีค่าความคลาดเคลื่อน MAE เพิ่มขึ้นสูงสุดเป็น 2.44 คน ในขณะที่มีคนใช้งานหนาแน่นสูง 11 คน จากการตรวจสอบพฤติกรรมเชิงลึกของข้อมูล พบว่าสาเหตุหลักของข้อจำกัดนี้เกิดจาก การเดินบดบังกันเองทางกายภาพของบุคคล (Person-to-Person Occlusion) และขีดจำกัดจากมุมมองของกล้องที่มีพิกัดคงที่ ไม่ใช่ปัญหาด้านระดับความเข้มของแสงภายในพื้นที่แต่อย่างใด

6.4 ผลการทดสอบการควบคุมเครื่องปรับอากาศและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในห้อง

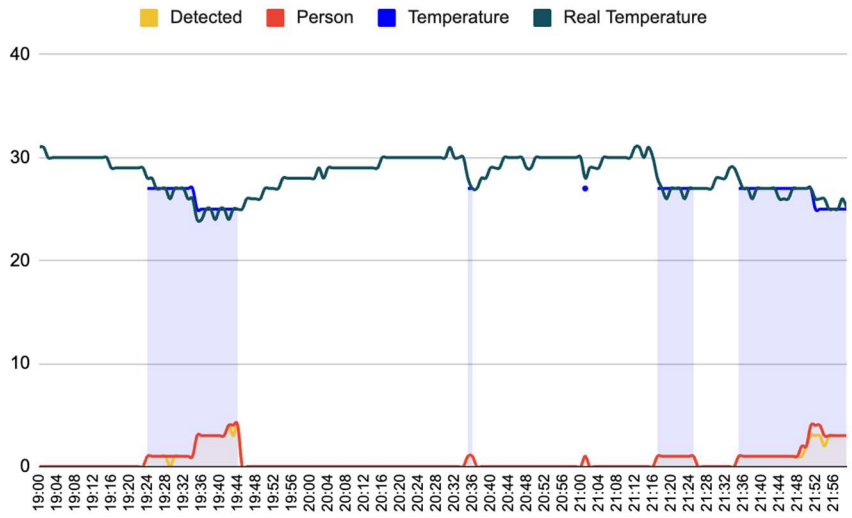


Figure 4. Comparative Analysis of Setpoint Temperature vs. Ambient Room Temperature during Nighttime Operations

ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าในช่วงเวลา 19.00 – 22.00 น. ระบบสามารถควบคุมเครื่องปรับอากาศผ่านสัญญาณอินฟราเรดได้สอดคล้องกับจำนวนผู้ใช้งานและตรรกะที่กำหนดอย่างแม่นยำ โดยเมื่อตรวจพบผู้ใช้งาน 1–2 คน ระบบจะปรับอุณหภูมิเป้าหมายเป็น 27 องศาเซลเซียส ทำให้อุณหภูมิห้องลดจาก 30 องศาเซลเซียสมาอยู่ในเกณฑ์น่าสบายเฉลี่ยที่ระดับ 25–27 องศาเซลเซียส และในกรณีที่ไม่พบผู้ใช้งาน (0 คน) ติดต่อกันเกิน 12 รอบประมวลผล (36 วินาที) ระบบจะ

ส่งสัญญาณปิดเครื่องปรับอากาศ (Power Off) โดยอัตโนมัติทันที เพื่อลดพลังงานสูญเปล่าในสภาวะห้องว่าง จากการเปรียบเทียบฐานข้อมูล Log การทำงานจริงรวม 323 นาที ของระบบควบคุมอัจฉริยะที่พัฒนาขึ้น กับระบบปรับอากาศแบบตั้งค่าอุณหภูมิคงที่ทั่วไป ระบบที่นำเสนอสามารถสั่งปิดเครื่องปรับอากาศอัตโนมัติในขณะไม่มีผู้ใช้งานได้สะสมเป็นเวลา 53 นาที หรือคิดเป็นร้อยละ 16.41% ของเวลาทั้งหมด ช่วยลดภาระการทำงาน (Duty Cycle) ของคอมเพรสเซอร์ได้อย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับระบบทั่วไปที่เปิดแอร์ต่อเนื่อง

7. สรุปผลการวิจัย (Conclusion)

การวิจัยเพื่อพัฒนาและทดสอบต้นแบบระบบควบคุมเครื่องปรับอากาศแบบตอบสนองต่อความหนาแน่นของผู้ใช้งานภายในห้อง โดยใช้เทคโนโลยีการตรวจจับบุคคลด้วยอัลกอริทึม YOLOv8 ร่วมกับบอร์ดประมวลผล Raspberry Pi สามารถสรุปผลการทดลองและการทำงานของระบบได้ 3 ประเด็นหลัก ดังนี

1. ระบบควบคุมอัจฉริยะสามารถวิเคราะห์ความหนาแน่นของผู้ใช้งานแบบเรียลไทม์ได้เป็นอย่างดี โดยผลการเปรียบเทียบชี้ให้เห็นว่าโมเดล YOLOv8n มีความเหมาะสมเชิงวิศวกรรมมากที่สุดสำหรับการติดตั้งบนบอร์ดประมวลผลขนาดเล็ก โดยมีความเร็วในการตรวจจับ 3.90 FPS

2. งานวิจัยนี้สามารถประกอบและติดตั้งระบบควบคุมต้นแบบบนบอร์ด Raspberry Pi ร่วมกับกล้องและโมดูลส่งสัญญาณอินฟราเรด (IR Transmitter) ได้สำเร็จ โดยผลการทดสอบการส่งสัญญาณควบคุมเครื่องปรับอากาศทางกายภาพมีอัตราความสำเร็จสูงถึงร้อยละ 100 ณ ระยะห่างที่ไม่มีสิ่งกีดขวางไม่เกิน 2 เมตร

3. จากการเก็บข้อมูลบันทึก Log การทำงานจริงในห้องปฏิบัติการอัจฉริยะต่อเนื่อง 5 วันทำการ (รวม 791 รายการ) พบว่าระบบตรวจจับบุคคลมีความทนทานและมีความถูกต้องเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก (Weighted Accuracy) สูงถึงร้อยละ 92.21% และมีค่าความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ย (MAE) ต่ำเพียง 0.44 คน โดยสภาวะเวลากลางคืนที่มีแสงคงที่จากหลอดไฟมีความถูกต้องสูงที่สุด (ร้อยละ 92.86%)

4. ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถควบคุมระดับอุณหภูมิห้องให้อยู่ในสภาวะน่าสบายเฉลี่ยที่ 25–27 องศาเซลเซียสได้ตามตรรกะที่กำหนด และเมื่อพิจารณาฐานข้อมูล Log จริง 323 นาที พบว่าระบบสามารถปิดเครื่องปรับอากาศอัตโนมัติในสภาวะห้องว่างได้สะสมถึง 53 นาที คิดเป็นอัตราการลดเวลาทำงานที่ไม่จำเป็น (Duty Cycle) ลงร้อยละ 16.41% และรักษาอุณหภูมิเป้าหมายเฉลี่ยที่ 25.42 องศาเซลเซียส (สูงกว่าระบบตั้งค่าคงที่ทั่วไป 1.42 องศาเซลเซียส)

สรุปภาพรวมการวิจัย: ต้นแบบระบบควบคุมเครื่องปรับอากาศตามปริมาณผู้ใช้งานที่พัฒนาขึ้น สามารถทำงานได้บรรลุตามวัตถุประสงค์ โดยช่วยรักษาสภาวะความสบายของผู้ใช้งานไปพร้อมกับการลดการสิ้นเปลือง พลังงานไฟฟ้าที่ไม่จำเป็นได้อย่างเป็นรูปธรรม ผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของเทคโนโลยีในการนำไป ประยุกต์ใช้เป็นระบบควบคุมพลังงานอัจฉริยะ (Smart Energy Control System) และระบบอาคารอัจฉริยะ (Smart Building) ในอนาคต

8. อภิปรายผลการวิจัย (Discussion)

จากการวิจัยเพื่อพัฒนาระบบควบคุมเครื่องปรับอากาศตามปริมาณผู้ใช้งานที่ตรวจสอบด้วย AI โดยประยุกต์ใช้อัลกอริทึม YOLOv8 ร่วมกับบอร์ด Raspberry Pi สามารถนำผลการวิจัยมาอภิปรายได้ดังนี้

1. ประสิทธิภาพและความทนทานของโมเดล YOLOv8n ในสภาวะแวดล้อมจริง: ผลการวิจัยพบ ว่าระบบสามารถ ตรวจจับและนับจำนวนผู้ใช้งานได้อย่างแม่นยำตลอดทั้งวัน โดยมีค่าความถูกต้องเฉลี่ยรวมสูงถึงร้อยละ 92.21 และมีค่า MAE รวมเพียง 0.44 คน การที่ผลการวิจัยแสดงให้เห็นความแม่นยำในระดับสูงทั้งในสภาพแสงธรรมชาติ (กลางวัน) และแสงจากหลอดไฟ (กลางคืน) สะท้อนให้เห็นถึงความทนทาน (Robustness) ของโมเดล YOLOv8n ที่ถูกออกแบบมาให้ประมวลผลได้รวดเร็วและแม่นยำแม้บนอุปกรณ์ที่มีทรัพยากรจำกัดอย่าง Raspberry Pi อย่างไรก็ตาม แม้สภาพแสงจะไม่ส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญ แต่ระบบยังคงเผชิญความท้าทายเมื่อความหนาแน่นของผู้ใช้งานเพิ่มขึ้น (ตั้งแต่ 6 คนขึ้นไป) ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาการบดบังกันเอง (Occlusion) ประเด็นนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Chen et al. (2025) และ Jayaram et al. (2024) ที่ระบุว่าการตรวจนับบุคคลในพื้นที่หนาแน่นมักประสบปัญหาการบดบัง อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ซึ่งเป็นข้อจำกัดหลักทางวิศวกรรมคอมพิวเตอร์มากกว่าปัจจัยด้านความเข้มของแสง

(Research Article)

2. การควบคุมอัตโนมัติและสภาวะความสบาย ระบบสามารถรักษาระดับอุณหภูมิห้องจริงให้อยู่ในเกณฑ์ 25 – 27 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นระดับอุณหภูมิที่สอดคล้องกับทฤษฎีสภาวะความสบายเชิงความร้อน (Thermal Comfort) ของผู้อยู่อาศัยในเขตภูมิอากาศร้อนชื้นตามงานวิจัยของ Rangsiraksa (2006) และ Intharachathorn et al. (2023) ที่ระบุว่ามนุษย์สามารถมีความพึงพอใจและรู้สึกสบายทางอุณหภูมิได้ในช่วงดังกล่าวโดยไม่จำเป็นต้องตั้งอุณหภูมิคงที่ไว้ที่ 24 องศาเซลเซียสตลอดเวลา การใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติผ่านกลไกป้อนกลับ (Feedback Control) นี้จึงตอบโจทย์ทั้งด้านความสบายและสนับสนุนแนวคิดระบบควบคุมอัตโนมัติเชิงอุตสาหกรรม

3. ด้านการอนุรักษ์พลังงานในอาคารอัจฉริยะการปิดเครื่องปรับอากาศอัตโนมัติเมื่อห้องว่างช่วยลดเวลาการทำงานที่ไม่จำเป็นลงได้ทันทีร้อยละ 16.41% ประกอบกับการปรับเพิ่มอุณหภูมิเป้าหมายเฉลี่ยขึ้นมาอยู่ที่ 25.42 องศาเซลเซียส สอดคล้องอย่างมีนัยสำคัญกับข้อกำหนดการอนุรักษ์พลังงานของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (Department of Alternative Energy Development and Energy Efficiency, 2017) ที่ระบุว่าการปรับเพิ่มอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศขึ้นทุก ๆ 1 องศาเซลเซียส จะสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ถึงร้อยละ 6–10 ดังนั้นระบบที่นำเสนอจึงเป็นแนวทางที่ใช้งานได้จริงในการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์และ IoT เพื่อยกระดับอาคารอัจฉริยะ (Smart Building) และการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ (Energy Efficiency) สอดรับกับแนวคิดการจัดการพลังงานอย่างยั่งยืนในยุคปัจจุบัน (Massey, 2025)

9. ข้อเสนอแนะงานวิจัย (Recommendation)

จากผลการวิจัยและข้อจำกัดที่พบ งานวิจัยนี้มีข้อเสนอแนะสำหรับการนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์และการพัฒนาต่อยอดในงานวิจัยครั้งต่อไป ดังนี้

9.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. การติดตั้งและปรับมุมมองของกล้อง: มุมมองและตำแหน่งของกล้องมีผลโดยตรงต่อความ แม่นยำของการตรวจจับ ดังนั้นในการนำไปใช้งานจริง ควรพิจารณาเพิ่มจำนวนกล้องหรือปรับปรุง ตำแหน่งการติดตั้งกล้องให้เหมาะสมกับขนาดและสภาพแวดล้อมของห้อง เพื่อลดมุมอับและเพิ่มความ ครอบคลุมในการตรวจจับบุคคลภายในห้องให้แม่นยำที่สุด

2. การบูรณาการร่วมกับระบบอาคารอัจฉริยะ: สามารถนำระบบประมวลผลและควบคุมที่พัฒนา ขึ้นไปต่อยอดเพื่อใช้งานร่วมกับระบบจัดการพลังงานของอาคาร (Building Energy Management System: BEMS) ซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการและประหยัดพลังงานในระดับอาคารหรือระดับองค์กร ได้อย่างเป็นรูปธรรม

9.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. การพัฒนาอัลกอริทึมติดตามบุคคล (Object Tracking): งานวิจัยในอนาคตควรนำอัลกอริทึมสำหรับ การติดตามบุคคลมาประยุกต์ใช้ร่วมกับ YOLOv8 เพื่อช่วยลดปัญหาการนับจำนวนคนซ้ำ หรือการตรวจจับตกหล่น ในกรณีที่ผู้ใช้งานเดินบดบังกัน ซึ่งจะทำให้การนับจำนวนมีความเสถียรมากยิ่งขึ้น

2. การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT): ควรพัฒนาให้ระบบสามารถเชื่อมต่อ กับเครือข่าย Internet of Things (IoT) เพื่อขยายขีดความสามารถให้ผู้ดูแลระบบสามารถตรวจสอบสถานะ การทำงาน ควบคุมเครื่องปรับอากาศ และเก็บข้อมูลสถิติการใช้งานผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตแบบศูนย์กลางได้

3. การขยายพื้นที่ทดสอบในสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย: เนื่องจากงานวิจัยนี้ดำเนินการทดสอบใน พื้นที่ห้องทดลองเพียงห้องเดียว งานวิจัยครั้งต่อไปจึงควรนำระบบไปทดสอบในสภาพแวดล้อมจริง ที่มีความซับซ้อนมากขึ้น เช่น ห้องเรียน ห้องประชุม หรือพื้นที่สำนักงาน เพื่อประเมินและปรับปรุงประสิทธิภาพ ของระบบให้พร้อมรองรับสถานการณ์การใช้งานจริงในทุกรูปแบบ[คลิกที่นี่เพื่อพิมพ์รายละเอียด]

10. การเปิดเผยการใช้ปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ (Declaration of Generative AI)

งานวิจัยนี้ขอเปิดเผยการใช้เครื่องมือปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ (Generative AI) ในกระบวนการดำเนินงานวิจัยฉบับนี้ โดยมีการใช้เครื่องมือ GitHub Copilot เพื่อสนับสนุนในขั้นตอนการเขียนและพัฒนาชุดคำสั่ง (Source Code) ด้วยภาษา Python

(Research Article)

11. การแสดงบทบาทผู้เขียน (CRediT Author Statement)

Tarin Gurin: Investigation, Data Curation, Software, Writing – Original Draft

Chaiyaporn Khemapatapan: Conceptualization, Methodology, Validation, Supervision, Writing – Review & Editing

The authors read and approved the final manuscript.

12. เอกสารอ้างอิง (References)

Alashrafi, L., Badawood, R., Almagrabi, H., Alrige, M., Alharbi, F., & Almatrafi, O. (2025). Benchmarking Lightweight YOLO Object Detectors for Real-Time Hygiene Compliance Monitoring. *Sensors*, *25*(19), 6140. https://doi.org/10.3390/s25196140

Branch, R. M. (2009). *Instructional Design: The ADDIE Approach*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-0-387-09506-6

Chen, Z., Xie, X., Qiu, T., & Yao, L. (2025). Dense-Stream YOLOv8n: A Lightweight Framework for Real-Time Crowd Monitoring in Smart Libraries. *Scientific Reports, 15*(1), 11618. https://doi.org/10.1038/s41598-025-94659-x

Department of Alternative Energy Development and Energy Efficiency. (2017). *Guidelines for Energy-Efficient Building Design*. Ministry of Energy. https://2e-building.dede.go.th/content/คู่มือแนวทางการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน (In Thai)

Intharachathorn, K., Jareemit, D., & Rujikieygumjorn, S. (2023). Skin Temperature and Thermal Sensation: A preliminary study for development of personal comfort model based on physiological responses. Built Environment Inquiry, 22(1), 55–72. https://doi.org/10.14456/bei.2023.4

Jayaram, D., Vedagiri, S., & Ramachandra, M. (2024). Framework for Multiple Person Identification Using YOLOv8 Detector: A Transfer Learning Approach. *International Journal of Electrical and Computer Engineering, 14*(3), 2790-2802. https://doi.org/10.11591/ijece.v14i3.pp2790-2802

Krishna, R. A., Sandeep, P., & Sonu, P. (2024, June 24-28). An Efficient Model for Camera Mounted Helmet and Number Plate Detection on Custom Dataset. *2024 15th International Conference on Computing Communication and Networking Technologies*, 1–6. Institute of Electrical and Electronics Engineers. https://doi.org/10.1109/ICCCNT61001.2024.10724182

Massey, J. (2025). *What is Sustainable Energy Management?*. MRI Software AE. https://www.mrisoftware.com/ae/blog/what-is-sustainable-energy-management

National Statistical Office. (2025). *Report on Household Energy Expenditure 2024*. Ministry of Digital Economy and Society. https://www.nso.go.th/nsoweb/storage/survey_detail/2025/20250529151158_12832.pdf (In Thai)

Ogata, K. (2010). *Modern Control Engineering* (5th ed.). Prentice Hall.

Rangsiraksa, P. (2006, September 6-8). Thermal Comfort in Bangkok Residential Buildings, Thailand. *The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture*. 1-6. Passive and Low Energy Architecture.

Sohan, M., Sai Ram, T., & Rami Reddy, Ch. V. (2024). A Review on YOLOv8 and Its Advancements. In Jacob, I. J., Piramuthu, S., & Falkowski-Gilski, P. (Eds), *Data Intelligence and Cognitive Informatics,* 529–545. Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-7962-2_39

Yulita, W., Ramadhani, U. A., Mufidah, Z., Atmajaya, G. K., Bagaskara, R., Kesuma, R. I., & Aprilianda, M. M. (2025). Improved Human Image Density Detection with Comparison of YOLOv8 Depth Level Architecture and Drop-Out Implementation. *Journal of Soft Computing Exploration*, *6*(1), 33–39. https://doi.org/10.52465/joscex.v6i1.556

ISSN 2985-1580 (Print)
ISSN 2985-1599 (Online)

Citation:
บทความในวารสารนี้อยู่ภายใต้สัญญาอนุญาตครีเอทีฟคอมมอนส์ (Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International : CC BY-NC-ND 4.0)

May-August 2026, 4(2), e4130
DOI: 10.65205/jcct.2026.e4130
Journal of Computer and Creative Technology
วารสารคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสร้างสรรค์
ISSN 2985-1580 (Print)
ISSN 2985-1599 (Online)

(Research Article)

The Development Model for Promoting Media Literacy Skills for Aging Society through Family Participation

Phiraya Tongchalerm[1] and Pariya Pariput[2,*]

[1]Department of Digital Technology for Education, Faculty of Education, Ubon Ratchathani Rajabhat University, Ubon Ratchatani 34000, Thailand; Email: [1]phiraya.t@ubru.ac.th
[2]Department of Curriculum and Instruction Development, Faculty of Education,Ubon Ratchathani Rajabhat University, Ubon Ratchatani 34000, Thailand; Email: [2]pariya.p@ubru.ac.th

[*]*Corresponding author:* Pariya Pariput (pariya.p@ubru.ac.th)

Received: 23 May 2026; **Revised:** 17 July 2026; **Accepted:** 20 July 2026; **Published:** 24 August 2026

Abstract

This research aimed to develop a model for promoting media literacy skills among the elderly through family participation in Sang Tho Subdistrict, Khueang Nai District, Ubon Ratchathani Province. The study was conducted in three phases: (1) studying the current conditions, problems, and needs; (2) developing a model and operational manual; and (3) examining the effects of implementing the model through participatory learning processes. The research instruments included an interview form, a test, a skill assessment form, a learning record form, and a satisfaction questionnaire. Data were analyzed using content analysis and basic statistics, namely mean, standard deviation, and paired t-test. The results revealed that (1) the elderly tended to use online media for extended periods and lacked skills in verifying information, indicating a strong need for developing media literacy skills with family support; (2) the developed model comprised six components and a seven-step learning process (SONGSOT Model), which experts evaluated as highly appropriate; and (3) after participating in the program, participants' post-test scores were significantly higher than their pre-test scores at the .05 level. Overall, the achievement of media literacy skills reached 79.46%, and all four skill dimensions met the evaluation criteria of 70% or higher. Participants reported a high level of satisfaction, with the highest ratings in support systems and learning activities that promoted deep, accurate, insightful, and critical understanding. The findings demonstrate that the developed model effectively enhanced media literacy skills among the elderly through active family participation.

Keywords: Media Literacy, Aging Society, Family Participation

Copyright © 2026 Journal of Computer and Creative Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC-ND).

Citation:
Tongchalerm, P., & Pariput, P. (2026). The Development Model for Promoting Media Literacy Skills for Aging Society through Family Participation. *Journal of Computer and Creative Technology, 4*(2), e4130. https://doi.org/10.65205/jcct.2026.e4130

May-August 2026, 4(2), e4130
DOI: 10.65205/jcct.2026.e4130
Journal of Computer and Creative Technology
วารสารคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสร้างสรรค์
ISSN 2985-1580 (Print)
ISSN 2985-1599 (Online)

(Research Article)

รูปแบบการส่งเสริมทักษะการรู้เท่าทันสื่อสำหรับสังคมสูงวัยโดยใช้การมีส่วนร่วมของสมาชิกในครอบครัว

พีรญา ทองเฉลิม[1] และ ปริญา ปริพุฒ[2,*]

[1]สาขาวิชาเทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อการศึกษา คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี 34000 ประเทศไทย; Email: [1]phiraya.t@ubru.ac.th
[2]สาขาวิชาการพัฒนาหลักสูตรและการเรียนการสอน คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี 34000 ประเทศไทย; Email: [2]pariya.p@ubru.ac.th

[*]*ผู้ประพันธ์บรรณกิจ:* ปริญา ปริพุฒ (pariya.p@ubru.ac.th)

รับบทความ: 23 พฤษภาคม 2569; **แก้ไขบทความ:** 17 กรกฎาคม 2569; **ตอบรับบทความ:** 20 กรกฎาคม 2569;
เผยแพร่บทความ: 24 สิงหาคม 2569

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนารูปแบบการส่งเสริมทักษะการรู้เท่าทันสื่อสำหรับสังคมสูงวัย โดยใช้การมีส่วนร่วมของสมาชิกในครอบครัว ในพื้นที่ตำบลสร้างถ่อ อำเภอเขื่องใน จังหวัดอุบลราชธานี ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ได้แก่ 1) ศึกษาสภาพปัญหาและความต้องการ 2) พัฒนารูปแบบและคู่มือการดำเนินงาน 3) ศึกษาผลของการใช้รูปแบบในการจัดกระบวนการเรียนรู้แบบมีส่วนร่วม กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ ผู้สูงวัยและนักเรียนที่มีผู้ปกครองหรือคนในครอบครัวเป็นผู้สูงวัยในพื้นที่ตำบลสร้างถ่อ อำเภอเขื่องใน จังหวัดอุบลราชธานี จำนวน 138 คน ใช้วิธีการเลือกแบบสมัครใจ เครื่องมือวิจัย ได้แก่ แบบสัมภาษณ์ แบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน แบบประเมินทักษะ แบบบันทึกการเรียนรู้ และแบบสอบถามความพึงพอใจ การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติ คือ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ t-test แบบสองกลุ่มสัมพันธ์ ผลการวิจัยพบว่า 1) ผู้สูงอายุมีพฤติกรรมการใช้สื่อออนไลน์เป็นเวลานาน และขาดทักษะในการตรวจสอบข้อมูล จึงมีความต้องการพัฒนาทักษะการรู้เท่าทันสื่อ โดยมีสมาชิกครอบครัวร่วมสนับสนุน 2) รูปแบบที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วย 6 องค์ประกอบ และกระบวนการเรียนรู้ 7 ขั้นตอน (SONGSOT Model) ซึ่งผ่านการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญว่ามีความเหมาะสมในระดับมาก 3) ผลการใช้รูปแบบ พบว่า ผู้เข้าร่วมกิจกรรมมีคะแนนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 มีทักษะการรู้เท่าทันสื่อโดยรวมคิดเป็นร้อยละ 79.46 และผลการพัฒนาทักษะทั้ง 4 ด้านผ่านเกณฑ์การประเมินร้อยละ 70 ขึ้นไป ส่วนความพึงพอใจต่อการดำเนินกิจกรรมอยู่ในระดับมาก ด้านที่พึงพอใจสูงสุดคือระบบสนับสนุน และกิจกรรมที่ส่งเสริมการเรียนรู้รู้สึก รู้จริง รู้แจ้ง และรู้เท่าทัน แสดงให้เห็นว่ารูปแบบดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการพัฒนาทักษะการรู้เท่าทันสื่อของผู้สูงอายุผ่านการมีส่วนร่วมของครอบครัว

คำสำคัญ: การรู้เท่าทันสื่อ, สังคมสูงวัย, การมีส่วนร่วมของสมาชิกในครอบครัว

Copyright © 2026 Journal of Computer and Creative Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC-ND).

การอ้างอิง:
พีรญา ทองเฉลิม, และ ปริญา ปริพุฒ. (2569). รูปแบบการส่งเสริมทักษะการรู้เท่าทันสื่อสำหรับสังคมสูงวัยโดยใช้การมีส่วนร่วมของสมาชิกในครอบครัว. *วารสารคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสร้างสรรค์, 4*(2), e4130. https://doi.org/10.65205/jcct.2026.e4130

(Research Article)

1. บทนำ (Introduction)

แนวทางการพัฒนาการศึกษาในสังคมไทยที่กำลังจะขับเคลื่อนเข้าสู่ยุคสื่อหลอมรวม ควรให้ความสำคัญกับเทคโนโลยี สื่อ สารสนเทศ เพื่อก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในห้องเรียน ในสังคมเป็นหลัก เพื่อสร้างเกราะป้องกันให้กับผู้เรียนมากกว่าการหาหนทางแก้ไขที่ปลายเหตุ ดังเช่นว่าความสามารถในด้านการรู้เท่าทันสื่อ สารสนเทศ และดิจิทัลถือเป็นทักษะที่จำเป็นสำหรับทุกคน ทุกช่วงวัยในยุคดิจิทัล ทักษะเหล่านี้เปรียบเหมือนเครื่องมือช่วยให้บุคคลสามารถนำทางในข้อมูลที่มากมาย วิเคราะห์สื่ออย่างมีวิจารณญาณ และใช้ทรัพยากรดิจิทัลได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Tayia, 2022) นอกจากนี้ ยังทำให้ประชาชนสามารถมีส่วนร่วมอย่างเต็มที่ในสังคมประชาธิปไตยและติดต่อกับผู้ให้บริการสื่อและข้อมูลเพื่อการแสดงออกและการเรียนรู้ตลอดชีวิต การศึกษาในด้านการมีสื่อมีผลลัพธ์ที่ดีต่อความรู้ ทักษะ และทัศนคติของนักเรียนในการวิเคราะห์และเข้าใจสื่อและข้อมูลที่ผิด (Tabachuk, 2020) สอดคล้องกับการมีความสามารถเข้าถึง เข้าใจ วิเคราะห์ ตีความ ประเมินคุณค่า ความน่าเชื่อถือของสื่อ สารสนเทศ และเทคโนโลยีดิจิทัล เพื่อเลือกรับและใช้ประโยชน์รวมทั้งสร้างสรรค์สื่อ ข่าวสารและสื่อสารอย่างเป็นผู้รู้เท่าทันตนเอง โดยคำนึงถึงผลกระทบต่อผู้อื่นและสังคมโดยรวม รวมทั้งสามารถใช้ประโยชน์จากสื่อสารสนเทศและเทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อพัฒนาตนเองชุมชน และสังคม โดยคำนึงถึงคุณโทษ และผลกระทบที่จะเกิดต่อผู้อื่นและสังคม ทั้งนี้ การรู้เท่าทันสื่อ สารสนเทศ และดิจิทัล ประกอบด้วย 3 ส่วนประกอบคือ 1) การรู้เท่าทันสื่อ (Media Literacy) คือ สมรรถนะในการใช้สื่อต่าง ๆ รวมถึงการวิเคราะห์และเข้าใจในรูปแบบของสื่อและเทคนิคต่าง ๆ ที่สื่อใช้ในการสร้างผลกระทบต่อผู้รับสื่อและความสามารถในการอ่านวิเคราะห์ประเมิน และสร้างสื่อในหลากหลายรูปแบบได้ 2) การรู้เท่าทันสารสนเทศ (Information Literacy) สมรรถนะในการประเมิน เลือกใช้ และสื่อสารข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพในหลากหลายรูปแบบ และรวมถึงความเข้าใจข้อมูลสารสนเทศต่าง ๆ ในความหมายเชิงจริยธรรม และ 3) การรู้เท่าทันดิจิทัล (Digital Literacy) สมรรถนะในการใช้เทคโนโลยีดิจิทัล เครื่องมือสื่อสาร เครือข่ายต่าง ๆ เพื่อค้นหาข้อมูล (เข้าถึง) ประมวลผล (เข้าใจ) และสร้างสรรค์ข้อมูล (ประยุกต์ใช้) ได้หลากหลายรูปแบบ (Child and Youth Media Institute, n.d.a.) ซึ่งสามารถเข้าถึงได้ในทุกช่วงวัย ผู้สูงอายุ ถือว่าเป็นทรัพยากรบุคคลที่สำคัญอย่างยิ่งของสังคมและประเทศชาติ เป็นต้นทุนทางสังคม ที่มีค่ามาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งสังคมไทยที่นับถือผู้สูงอายุในฐานะผู้มีประสบการณ์มาก่อน และเป็นผู้สั่งสมภูมิปัญญาของท้องถิ่นในด้านต่าง ๆ เพื่อสืบทอดถึงบุคคลรุ่นหลัง พร้อมทั้งเปรียบเสมือนศูนย์รวมจิตใจของลูกหลานที่คอยให้ความอบอุ่น คำแนะนำสั่งสอนแก่บุคคลรุ่นหลังในครอบครัว ในปัจจุบันประเทศไทยได้ก้าวเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุอย่างสมบูรณ์แล้ว ทั้งนี้หากประชากรผู้สูงอายุที่มีจำนวนเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็วและต่อเนื่องเหล่านี้สามารถพึ่งพาตนเองได้ดี และสามารถดำรงชีวิตด้วยตนเองได้อย่างมีคุณค่า ผู้สูงอายุก็ถือได้ว่าเป็นกลุ่มประชากรที่เป็น **พลังสำคัญ** แทนที่จะเป็นภาระของครอบครัว ชุมชน และสังคม จึงควรพัฒนาให้เกิดความสัมพันธ์ กิจกรรมที่จะสร้างการมีส่วนร่วมของสมาชิกในชุมชนสังคมให้มากยิ่งขึ้น โดยอาศัยการมีส่วนร่วมของสมาชิกในครอบครัว ชุมชน หมู่บ้าน ผ่านกระบวนการจัดการเรียนรู้ที่จะส่งเสริมทักษะการรู้เท่าทันสื่อ สำหรับผู้สูงอายุ เพื่อเป็นอีกทางหนึ่งที่จะสามารถสร้างการรู้เท่าทันสื่อ และสร้างความสัมพันธ์ที่ดี การมีส่วนร่วมของสมาชิกในครอบครัวชุมชนได้ (Department of Older Persons, 2023) ซึ่งภายในปี พ.ศ. 2575 ประเทศไทยจะมีประชากรสูงอายุจำนวน 1 ใน 4 ของประชากรทั้งหมด หน่วยงานองค์กร ภาครัฐ ภาคประชาชน ชุมชนและสมาชิกในครอบครัวจึงควรเตรียมการรับมือในสถานการณ์ดังกล่าว ข้อมูลจาก สำนักงานสถิติจังหวัดอุบลราชธานี กล่าวว่าในปี พ.ศ. 2566 จังหวัดอุบลราชธานีมีประชากรที่อยู่ในช่วงอายุผู้สูงอายุ (อายุ 60 ปีขึ้นไป) จำนวน 314,828 คน ซึ่งคิดเป็น 16.9% จากประชากรทั้งหมด 1,869,806 คน (Ubon Ratchathani Provincial Statistical Office, 2023) และจังหวัดอุบลราชธานี ถือเป็นจังหวัดที่อยู่ลำดับที่ 5 เมื่อเรียงลำดับจำนวนผู้สูงอายุจากทั่วประเทศ ทั้งนี้อำเภอเขื่องในถือว่าเป็นพื้นที่ที่มีจำนวนผู้สูงอายุมากที่สุดของจังหวัด เท่ากับ 21,429 คน และพื้นที่ตำบลสร้างถ่อ เป็นพื้นที่ตำบลที่มีจำนวนผู้สูงอายุมากที่สุด เท่ากับ 2,072 คน (Department of Health Service Support, 2025) อยู่ในบริบทครอบครัวใหญ่ อาศัยอยู่กับลูกหลาน ประกอบอาชีพเกษตรกร ทำนา ทำสวน รับจ้าง ข้าราชการ และสอดคล้องกับค่าดัชนีพฤติพลังผู้สูงอายุไทย (Active Ageing Index of Thai Elderly) มีค่าเท่ากับ 0.685 ซึ่งสะท้อนว่าผู้สูงอายุไทยมีคุณภาพในการดำรงชีวิตอยู่ในระดับปานกลาง และเมื่อพิจารณาดัชนีย่อยในแต่ละองค์ประกอบพบว่า ดัชนีด้านสุขภาพมีค่าดัชนีสูงที่สุด คือ 0.797 รองลงมาคือ ดัชนีด้านความมั่นคง (0.751) ดัชนีด้านสภาพที่เอื้อต่อการมีภาวะพฤฒพลัง (0.691) และดัชนีด้านการมีส่วนร่วม (0.502) ตามลำดับ (National Statistical Office, 2017) ซึ่งในรายละเอียดของดัชนีพฤติพลังด้านการมีส่วนร่วมถือเป็นค่าดัชนีพฤติพลังที่มีค่าน้อยสุดเมื่อเปรียบเทียบกับด้านอื่น ๆ ดัชนีการมีส่วนร่วมประกอบด้วย การทำกิจกรรม

(Research Article)

อาสาสมัคร การดูแลบุตรหลานในครัวเรือน การดูแลผู้สูงอายุในครัวเรือน การทำกิจกรรมชุมชน หมู่บ้าน และการมีส่วนร่วมทางการเมือง อีกทั้งจากสถานการณ์ที่กล่าวมาข้างต้นประกอบกับสภาพในสังคมปัจจุบันที่ประชาชนในสังคมไทย โดยเฉพาะผู้สูงอายุ มักจะเป็นกลุ่มคนที่ยังมีการตรวจสอบ กลั่นกรองความถูกต้องของข้อมูลน้อย มีการเผยแพร่ข้อมูลส่วนบุคคลบนโลกออนไลน์ ถูกหลอกลวงบนโลกออนไลน์ ด้วยกลวิธีต่าง ๆ ที่สร้างความเสียหาย และเสียทรัพย์สินเป็นจำนวนมาก หลงกลมิจฉาชีพ หลงเชื่อโฆษณาที่อวดอ้างสรรพคุณเกินจริง ทำให้ต้องสูญเสียทรัพย์สินเงินทอง และยังส่งผลต่อด้านจิตใจ ความเครียด วิตกกังวล หรือมีภาวะซึมเศร้า สิ้นหวังในชีวิต (Jaiboon & Heng, 2018) ประกอบกับสถิติของ กองสารนิเทศ สำนักงานตำรวจแห่งชาติ (Public Affairs Division Royal Thai Police, 2025) เปิดเผยข้อมูลในเดือนธันวาคม 2568 พบว่า ผู้สูงอายุที่ตกเป็นเหยื่อมิจฉาชีพ อยู่ในช่วงอายุ 60-74 ปี มีมูลค่าความเสียหายต่อรายตั้งแต่ 49,994-844,992 บาท หน่วยงานที่ถูกแอบอ้างเกี่ยวข้องกับสวัสดิการครู ฌาปนกิจ ซึ่งควรพัฒนาความรอบรู้ทางการใช้ เทคโนโลยี และ การสร้างให้คนในสังคมไทยมีความสามารถในด้านทักษะการรู้เท่าทันสื่อ ตระหนักถึงความสำคัญ มีวิจารณญาณในการตัดสินใจ จึงถือเป็นทักษะที่จำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อสร้างความเข้มแข็งของตนเอง ครอบครัว และสังคมไทย (Department of Older Persons, 2023)

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายเพื่อสร้างรูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้ครอบครัวเป็นฐาน เพื่อส่งเสริมทักษะการรู้เท่าทันสื่อ สำหรับผู้สูงอายุ ในพื้นที่ตำบลสร้างถ่อ อำเภอเขื่องใน จังหวัดอุบลราชธานี เพื่อให้กลุ่มเป้าหมายมีความรู้ มีการวิเคราะห์ความน่าเชื่อของข้อมูล ข่าวสาร และมีความสามารถในการใช้เทคโนโลยีดิจิทัลในการสื่อสารกับสมาชิกในครอบครัว และใช้สื่อสารกับบุคคลในชุมชนได้อย่างมีคุณภาพ ซึ่งใช้กระบวนการจัดการเรียนรู้แบบมีส่วนร่วมจากสมาชิกในครอบครัว ญาติ เพื่อนบ้าน เพื่อส่งเสริมให้ผู้สูงอายุมีทักษะการรู้เท่าทันสื่อ และเป็นการสร้างความสัมพันธ์ที่ดีระหว่างสมาชิกในครอบครัว และชุมชนได้อย่างยั่งยืนต่อไป

2. วัตถุประสงค์งานวิจัย (Research Objectives)

1. เพื่อศึกษาสภาพปัญหา บริบท ความต้องการ ที่เกี่ยวข้องกับส่งเสริมทักษะการรู้เท่าทันสื่อสำหรับสังคมสูงวัยโดยใช้การมีส่วนร่วมของสมาชิกในครอบครัว ในพื้นที่ตำบลสร้างถ่อ อำเภอเขื่องใน จังหวัดอุบลราชธานี

2. เพื่อพัฒนารูปแบบการส่งเสริมทักษะการรู้เท่าทันสื่อสำหรับสังคมสูงวัย โดยใช้การมีส่วนร่วมของสมาชิกในครอบครัว ในพื้นที่ตำบลสร้างถ่อ อำเภอเขื่องใน จังหวัดอุบลราชธานี

3. เพื่อศึกษาผลของการใช้รูปแบบการส่งเสริมทักษะการรู้เท่าทันสื่อสำหรับสังคมสูงวัย โดยใช้การมีส่วนร่วมของสมาชิกในครอบครัว ในพื้นที่ตำบลสร้างถ่อ อำเภอเขื่องใน จังหวัดอุบลราชธานี ดังนี้ การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังการใช้รูปแบบ การศึกษาทักษะการรู้เท่าทันสื่อสำหรับสังคมสูงวัยหลังการใช้รูปแบบ และการศึกษาความพึงพอใจของผู้เข้าร่วมกิจกรรมที่มีต่อการใช้รูปแบบที่พัฒนาขึ้น

3. การทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาทักษะการรู้เท่าทันสื่อ สำหรับผู้สูงวัย โดยใช้การมีส่วนร่วมของคนในครอบครัว ประกอบด้วย แนวคิด MIDL ทฤษฎีการเรียนรู้สำหรับผู้ใหญ่ แนวคิดการจัดการเรียนรู้แบบมีส่วนร่วม และรูปแบบการเรียนรู้ ดังนี้

3.1 การรู้เท่าทันสื่อ

Child and Youth Media Institute (n.d.b.) กล่าวถึงสมรรถนะการรู้เท่าทันสื่อ สารสนเทศ และดิจิทัล (MIDL) ที่พึงประสงค์และตัวบ่งชี้การรู้เท่าทันสื่อ สารสนเทศและดิจิทัล (MIDL) เพื่อสร้างความเป็นพลเมืองของกลุ่มผู้สูงอายุ ประกอบด้วย

ด้านที่ 1 เข้าถึงสื่อ สารสนเทศและใช้เทคโนโลยีดิจิทัลอย่างปลอดภัย (Access)

1) เข้าใจบทบาทหน้าที่และวิธีการเข้าถึงสื่อ สารสนเทศและเทคโนโลยีดิจิทัล

2) เข้าใจความหลากหลายของสื่อและประโยชน์การใช้งานที่ตอบสนองวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกัน

3) เข้าใจหลักการ และสามารถเข้าถึงสื่อ สารสนเทศและเทคโนโลยีดิจิทัลได้อย่างถูกต้องและปลอดภัย

4) เข้าใจความต้องการของตนเองในการใช้สารสนเทศ รู้ช่องทางการเข้าถึง การได้มาซึ่งข้อมูล เข้าถึงและเลือกใช้สารสนเทศได้สอดคล้องเหมาะสม

5) ใช้เทคโนโลยีดิจิทัลในเชิงเทคนิคในการเข้าถึง ส่งต่อ และกระจายข้อมูลให้กับผู้อื่นได้อย่างปลอดภัย

6) รู้เท่าทันตนเองในขณะเปิดรับสื่อ จัดสรรเวลาการใช้สื่อและเทคโนโลยีดิจิทัลอย่างเหมาะสม

ด้านที่ 2 วิเคราะห์ วิพากษ์ และประเมินสื่อ สารสนเทศ และเทคโนโลยีดิจิทัล

1) รู้และเข้าใจโครงสร้างอุตสาหกรรมสื่อ

2) วิเคราะห์เงื่อนไขการทำหน้าที่ของสื่อ

3) กลไกการกำกับติดตามสื่อในสังคมประชาธิปไตย

4) วิเคราะห์ความแตกต่างของสื่อ และเนื้อหาแต่ละประเภทตามที่มาและวัตถุประสงค์ของการสื่อสารและเปรียบเทียบความแตกต่างของการใช้ประโยชน์จากสื่อ สารสนเทศ และดิจิทัลได้

5) วิเคราะห์การประกอบสร้างของสื่อ และความหมายแฝงที่อยู่ในเนื้อหาสื่อได้

6) ประเมินคุณค่าและความน่าเชื่อถือของสื่อมีวิจารณญาณในการรับสื่อ สารสนเทศและเทคโนโลยีดิจิทัล

7) ตระหนักถึงผลกระทบของการเผยแพร่สื่อ สารสนเทศและเทคโนโลยีดิจิทัลที่มีต่อตนเอง ผู้อื่นและสังคม

ด้านที่ 3 สร้างสรรค์เนื้อหาและข้อมูลสารสนเทศ

1) ตระหนักถึงวัตถุประสงค์ในฐานะผู้สร้างสื่อ เผยแพร่ และส่งต่อข้อมูลสารสนเทศอย่างมจริยธรรมและรับผิดชอบในฐานะพลเมือง

2) ใช้เทคโนโลยีดิจิทัลและวิธีการอื่น ๆ ในการสร้างสื่อ สารสนเทศ สังเคราะห์เป็นความรู้ จัดระบบ ข้อมูลสารสนเทศ เพื่อนำมาใช้ประโยชน์

ด้านที่ 4 ประยุกต์ใช้และสร้างการเปลี่ยนแปลง

1) ตระหนักถึงบทบาทของตนเองในการสร้างและใช้สื่อ สารสนเทศเพื่อแสดงออกในฐานะพลเมืองอธิบายบทบาทของตนเองในการสร้างและใช้สื่อ สารสนเทศเพื่อแสดงออกในฐานะพลเมืองได้

2) เลือกใช้ช่องทางและวิธีการสื่อสารเพื่อสร้างการเปลี่ยนแปลงที่เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ กลุ่มเป้าหมายและบริบททางสังคมวัฒนธรรม

3) ริเริ่มและมีส่วนร่วมในการสร้างและใช้สื่อสารสนเทศในการแก้ไขปัญหา ตรวจสอบ และสร้างการเปลี่ยนแปลงในทางบวกและเป็นประโยชน์ให้เกิดขึ้นในระดับบุคคล กลุ่ม หรือสังคม

3.2 ทฤษฎีการเรียนรู้สำหรับผู้ใหญ่

ทฤษฎีการเรียนรู้ของผู้ใหญ่ ของ Malcolm Knowles เป็นทฤษฎีที่กล่าวถึงการส่งเสริมให้ผู้ใหญ่เกิดการเรียนรู้บนพื้นฐานปรัชญามนุษยนิยม (Humanism) ที่ให้ความสำคัญกับการเรียนรู้ด้วยการนำตนเอง (Self-Directed) ความมีอิสระในการเรียนรู้ (Autonomous) และการเอื้ออำนวยความสะดวกในการเรียนรู้จากผู้สอน (Facilitators) โดยระบุข้อตกลงเบื้องต้น (Assumption) หลักการพื้นฐานของทฤษฎีการเรียนรู้ของผู้ใหญ่ไว้ 5 ประการ โดยมีสาระสำคัญดังนี้ (Knowles, 1984)

1) มโนทัศน์แห่งตน (Self–Concept) ผู้ใหญ่ต้องการความรับผิดชอบการเรียนรู้ของตนเองในการตัดสินใจต่าง ๆ ในการเรียนรู้ด้วยตนเอง มีอิสระทางการคิดและการตัดสินใจทางการเรียนรู้ ใช้การเรียนรู้โดยการกำกับตนเอง (Self–Directed Learning) เป็นสำคัญ

2) ประสบการณ์ของผู้เรียน (Learner Experience) ผู้ใหญ่จะใช้ประสบการณ์ชีวิตของตนเองเป็นพื้นฐานของการเรียนรู้การเรียนรู้ที่เหมาะสมสำหรับผู้ใหญ่มุ่งเน้นการเชื่อมโยงประสบการณ์ชีวิตเข้ากับเนื้อหาสาระของการเรียนรู้ซึ่งจะทำให้ผู้ใหญ่เกิดการเรียนรู้อย่างมีประสิทธิผล

3) ความพร้อมของผู้เรียน (Readiness to Learn) ผู้ใหญ่มีความพร้อมและให้ความสนใจใน การเรียนรู้สิ่งที่สอดคล้องกับการทำงานและการดำรงชีวิตของตนเอง นอกจากนี้ความพร้อมในการเรียนรู้ของผู้ใหญ่ยังเป็นผลมาจากประสบการณ์การทำงานและบทบาททางสังคมของตนเอง

4) ความสอดคล้องเชื่อมโยงของการเรียนรู้ (Orientation to Learn) ผู้ใหญ่เรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นหลัก (Problem-Based) ที่สามารถนำความรู้และประสบการณ์การเรียนรู้ไปใช้ประโยชน์ได้จริงในการปฏิบัติงานของตนเอง ดังนั้นการเรียนรู้ของผู้ใหญ่จึงมุ่งเน้นการประยุกต์ความรู้ไปใช้ในสถานการณ์ต่าง ๆ มากกว่าการใช้เนื้อหาเป็นหลัก

5) แรงจูงใจในการเรียนรู้ (Motivation to Learn) ผู้ใหญ่ใช้แรงจูงใจภายใน (Internal Motivation) เป็นปัจจัยสนับสนุนการเรียนรู้ มากกว่าแรงจูงใจจากภายนอก (External Motivation) ซึ่งจะทำให้ผู้ใหญ่ใช้ศักยภาพของตนเองอย่างเต็มที่ในการเรียนรู้

3.3 หลักการของการเรียนรู้แบบมีส่วนร่วม

Rangabtook (2001) กล่าวถึง องค์ประกอบการเรียนรู้แบบมีส่วนร่วมว่าประกอบด้วยองค์ประกอบสำคัญ 4 ประการ คือ 1. ประสบการณ์ (Experience) เป็นขั้นตอนที่ผู้สอนกระตุ้นให้ผู้เรียนนำประสบการณ์เดิมของตนออกมาใช้ในการเรียและแบ่งปันประสบการณ์ของตนกับเพื่อน ๆ ที่อาจมีประสบการณ์คล้ายคลึงหรือแตกต่างกัน 2. การสะท้อนความคิดและอภิปราย (Reflect and Discussion) เป็นขั้นตอนที่ผู้เรียนได้มีโอกาสแสดงความคิดเห็น ความรู้สึกแลกเปลี่ยนกับสมาชิกในกลุ่ม ผู้สอนจะเป็นผู้กำหนดประเด็น วิเคราะห์ วิจารณ์ ผู้เรียนได้เรียนรู้ถึงความคิด ผู้อื่นที่ต่างไปจากตนเอง ซึ่งจะช่วยให้เกิดการเรียนรู้ที่กว้างขวางขึ้น ผลจากการสะท้อนความคิดเห็นหรืออภิปรายทำให้ได้ข้อสรุปที่หลากหลายและได้เรียนรู้การทำงานเป็นทีม 3. ความเข้าใจและเกิดความคิดรวบยอด (Understanding and Conceptualization) เป็นขั้นตอนการสร้างความเข้าใจและนำไปสู่การเกิดความคิดรวบยอดอาจจะเกิดขึ้นโดยผู้เรียนเป็นฝ่ายริเริ่มและครูช่วยเติมให้สมบูรณ์ หรือครูอาจนำทางแล้วผู้เรียนสานต่อจนความคิดนั้นสมบูรณ์เป็นความคิดรวบยอด 4. การทดลองหรือประยุกต์แนวคิด (Experiment or Application) เป็นขั้นตอนที่ให้ผู้เรียนนำเอาการเรียนรู้ที่เกิดขึ้นใหม่ไปประยุกต์ใช้ในลักษณะหรือสถานการณ์ต่าง ๆ จนเกิดเป็นแนวทางปฏิบัติของผู้เรียนเอง

3.4 รูปแบบการเรียนรู้

Khamanee (2007) ได้สรุปองค์ประกอบของรูปแบบการเรียนการสอน ว่ารูปแบบการเรียนการสอนจำเป็นต้องมีองค์ประกอบสำคัญดังนี้

1) มีปรัชญา ทฤษฎี หลักการ แนวคิด หรือความเชื่อที่เป็นพื้นฐานหรือเป็นหลักของรูปแบบการเรียนการสอนนั้น ๆ

2) มีการบรรยายและอธิบายสภาพหรือลักษณะของการจัดการเรียนการสอนที่สอดคล้องกับหลักการที่ยึดถือ

3) มีการจัดระบบคือ มีการจัดองค์ประกอบและความสัมพันธ์ขององค์ประกอบของระบบให้สามารถนำผู้เรียนไปสู่เป้าหมายของระบบหรือกระบวนการนั้น ๆ

4) มีการอธิบายหรือให้ข้อมูลเกี่ยวกับวิธีสอนและเทคนิคการสอนต่าง ๆ อันจะช่วยให้กระบวนการเรียนการสอนนั้น ๆ เกิดประสิทธิภาพสูงสุด รูปแบบการเรียนการสอนจะต้องได้รับการพิสูจน์ ทดสอบ สามารถทำนายผลได้และมีศักยภาพในการสร้างความคิดรวบยอดและความสัมพันธ์ใหม่ ๆ ได้

4. กรอบแนวคิดงานวิจัย (Conceptual Framework)

The six main components are foundational principles, objectives, curriculum, learning activities, assessment, and a support system.

The learning activities are based on the **“SONGSOT” model,** which includes seven steps: 1) Situation analysis, 2) Observe and question, 3) Navigate media, 4) Generate content, 5) Share and discuss, 6) Open mind, and 7) Transformer

→

1. Learning achievement
2. Media literacy skills for an aging society, comprising:
   Dimension 1: Access media and information, and use digital technology safely,
   Dimension 2: Analyze, critique, and evaluate media, information, and digital technology,
   Dimension 3: Create media content and information,
   Dimension 4: Apply knowledge and foster transformation
3. Participants’ satisfaction with the implementation of the model.

Figure 1. Conceptual Framework

(Research Article)

5. วิธีดำเนินงานวิจัย (Research Methodology)

การวิจัยนี้ เป็นการวิจัยและพัฒนา (Research and Development) โดยใช้การวิจัยแบบผสานวิธี (Mixed Methods) แบ่งขั้นตอนการวิจัยเป็น 3 ระยะ (Phase) ดำเนินการวิจัยระหว่างเดือนเมษายน ถึง สิงหาคม พ.ศ. 2568 ดังนี้

5.1 การศึกษาสภาพปัญหา บริบท ความต้องการ ที่เกี่ยวข้องกับส่งเสริมทักษะการรู้เท่าทันสื่อสำหรับสังคมสูงวัย โดยใช้การมีส่วนร่วมของสมาชิกในครอบครัว ในพื้นที่ตำบลสร้างถ่อ อำเภอเขื่องใน จังหวัดอุบลราชธานี

งานวิจัยนี้เพื่อรวบรวมข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็นสำหรับนำมาใช้ในการพัฒนารูปแบบ แบ่งขั้นตอนการดำเนินการเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

1. การศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาทักษะการรู้เท่าทันสื่อ สำหรับผู้สูงวัย โดยใช้การมีส่วนร่วมของคนในครอบครัว ประกอบด้วย แนวคิดแนวคิด MIDL ทฤษฎีการเรียนรู้สำหรับผู้ใหญ่ แนวคิดเกี่ยวกับครอบครัว แนวคิดการจัดการเรียนรู้แบบมีส่วนร่วม การจัดการเรียนรู้เชิงรุก และการจัดการเรียนรู้แบบบูรณาการ

2. การศึกษาความต้องการจำเป็นในการพัฒนารูปแบบ โดยการใช้การสัมภาษณ์เชิงลึก กลุ่มผู้ให้ข้อมูล ได้แก่ ผู้สูงวัย ผู้ทรงคุณวุฒิ และผู้มีส่วนได้เสีย โดยการเลือกแบบเจาะจง จากกลุ่มที่มีประสบการณ์ตรง เกี่ยวกับการส่งเสริมทักษะการรู้เท่าทันสื่อ และ การดูแลผู้สูงวัยในพื้นที่ตำบลสร้างถ่อ จำนวน 25 คน เครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล เป็นแบบสัมภาษณ์เชิงลึก ข้อคำถามประกอบด้วยโครงสร้างประเด็นหลัก 5 ประเด็น ดังนี้ 1) สภาพการรู้เท่าทันสื่อสำหรับสังคมสูงวัยในปัจจุบัน 2) ปัญหาและสาเหตุของปัญหาการรู้เท่าทันสื่อสำหรับสังคมสูงวัย 3) ความต้องการในการแก้ปัญหาการรู้เท่าทันสื่อสำหรับสังคมสูงวัย 4) แนวทางที่เหมาะสมในการเสริมสร้างทักษะการรู้เท่าทันสื่อสำหรับสังคมสูงวัย 5) ข้อเสนอแนะที่เป็นคำถามปลายเปิด ซึ่งผลจากการสนทนากลุ่มจะนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการยืนยันความต้องการจำเป็นในการพัฒนาที่สอดคล้องกับสภาพบริบทและความต้องการของพื้นที่

5.2 การพัฒนารูปแบบการส่งเสริมทักษะการรู้เท่าทันสื่อสำหรับสังคมสูงวัย โดยใช้การมีส่วนร่วมของสมาชิกในครอบครัว ในพื้นที่ตำบลสร้างถ่อ อำเภอเขื่องใน จังหวัดอุบลราชธานี

งานวิจัยนี้เป็นการประมวลข้อมูลจากการดำเนินการในขั้นตอนที่ 1 มาวิเคราะห์และสังเคราะห์เพื่อกำหนดแนวทางในการยกร่างสร้างรูปแบบ ฯ กำหนดขั้นตอนการดำเนินการ 3 ขั้น มีรายละเอียด ดังนี้

1. การยกร่างรูปแบบฯ เป็นการนำผลจากการศึกษาข้อมูลพื้นฐานมากำหนดเป็นโครงสร้างของรูปแบบฯ ซึ่งมีองค์ประกอบ คือ หลักการ วัตถุประสงค์ กิจกรรม และการวัดและประเมินผลทักษะการรู้เท่าทันสื่อผ่าน 4 องค์ประกอบของการรู้เท่าทันสื่อของสถาบันสื่อเด็กและเยาวชน (สสย.) โดยใช้การมีส่วนร่วมของสมาชิกในครอบครัว โดยมุ่งเน้นเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ คือ “รู้ลึก รู้จริง รู้แจ้ง เพื่อรู้เท่าทัน” โดยจัดเป็น 4 โมดูล และมีเนื้อหาสาระสำคัญ ดังนี้

รู้ลึก : โมดูลที่ 1 นักสืบ สุดเก๋า การพัฒนาตนเองให้เข้าใจหลักการสืบค้น เกิดความสามารถในการสืบค้นและเข้าถึงข้อมูล สื่อ ที่น่าเชื่อถือ ถูกต้อง

รู้จริง : โมดูลที่ 2 วัยเก๋า checker การวิเคราะห์ แยกแยะ เลือกใช้ข้อมูล สารสนเทศที่เหมาะสม และประเมินความน่าเชื่อถือของสื่อ สารสนเทศ มีวิจารณญาณและมีความรับผิดชอบต่อการใช้สื่อของตนเองและสังคม

รู้แจ้ง : โมดูลที่ 3 สื่ออย่างเก๋า ผู้สร้างสื่อต้องเข้าใจวัตถุประสงค์ของการสร้างสื่อ รูปแบบสื่อ เทคนิคการสร้างสื่อ และตระหนักในฐานะผู้สร้างสื่ออย่างมีจริยธรรม และรับผิดชอบการใช้เทคโนโลยีดิจิทัล ในรูปแบบสื่อโปสเตอร์ ภาพนิ่ง คลิปวีดิโอสั้น

รู้เท่าทัน : โมดูลที่ 4 วัยเก๋าสร้างการเปลี่ยนแปลง การสร้างสื่อ มีความริเริ่มและมีส่วนร่วมในการสร้างและใช้สื่อ สารสนเทศ เพื่อสร้างการเปลี่ยนแปลงกับบุคคล กลุ่ม สังคม กับแคมเปญ 21 วันสร้างสรรค์ชีวิตที่ดี โดยการสร้างสื่อแบบคลิปวีดิโอสั้น และเผยแพร่ เชิญชวนบุคคลที่สนใจร่วมกิจกรรม หรือสร้างการรับรู้ เปลี่ยนแปลง

2. การประเมินความสอดคล้องและความเหมาะสมของรูปแบบ กลุ่มผู้ให้ข้อมูลหลัก ได้แก่ ผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 5 ท่าน ได้มาโดยการเลือกแบบเจาะจง เป็นผู้ทรงคุณวุฒิที่มีวุฒิการศึกษาและประสบการณ์การวิจัย และการพัฒนาทักษะการรู้เท่าทันสื่อ สำหรับผู้สูงวัย มากกว่า 5 ปี ขึ้นไป โดยทำการการประเมินความสอดคล้องของร่างรูปแบบฯ พิจารณาจากหลักการ วัตถุประสงค์ กิจกรรม และการวัดและประเมินผล ว่ามีความสอดคล้องกันเพียงใด นำเสนอผลการวิเคราะห์ในรูปของค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) พบว่า อยู่ระหว่าง 0.80-1.00 และมีค่าความเหมาะสมโดยรวมอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ย 4.14 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.71

(Research Article)

3. การทดลองใช้นวัตกรรม (Try Out) รูปแบบการส่งเสริมทักษะการรู้เท่าทันสื่อสำหรับสังคมสูงวัยโดยใช้การมีส่วนร่วมของสมาชิกในครอบครัว ประกอบการดำเนินการ 3 ขั้นตอน ได้แก่

3.1 การทดลองแบบกลุ่มย่อย (วิทยากรแกนนำ) โดยการทดลองจัดกิจกรรมกับกลุ่มอาสาสมัครในพื้นที่ตำบลสร้างถ่อ โดยผู้เข้าร่วมคุณสมบัติ คือ เป็นตัวแทนบุคคลในชุมชน อสม. ผู้สูงวัย ผู้นำชุมชนที่มีความสนใจ ความสามารถพื้นฐานการใช้งานอุปกรณ์เทคโนโลยี สื่อสาร จำนวน 15 คน เพื่อ ทดลองใช้เครื่องมือและจัดกิจกรรมในแต่ละโมดูล

3.2 การทดลองภาคสนาม (สร้างคนต้นแบบ) โดยการจัดกิจกรรมกับกลุ่มผู้สูงวัยและนักเรียนบุตรหลานสมาชิกในครอบครัว พร้อมทั้งแกนนำอาสาสมัคร รวมจำนวน 40 คน และใช้โปรแกรมวิเคราะห์คุณภาพเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย (Research Tools Analysis Program : RTAP) ดังนี้

1) แบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เป็นแบบทดสอบปรนัย 4 ตัวเลือก จำนวน 20 ข้อ ที่สร้างขึ้น พบว่า มีค่าความยากอยู่ระหว่าง 0.35-0.57 มีค่าอำนาจจำแนกระหว่าง 0.42-0.67 และมีค่าความเชื่อมั่นทั้งฉบับเท่ากับ 0.87

2) แบบประเมินทักษะการรู้เท่าทันสื่อ เป็นแบบรูบริคส์ มีค่าระดับการปฏิบัติ 5 ระดับ ครอบคลุมทักษะการรู้เท่าทันสื่อ 4 ด้าน ได้แก่ ได้แก่ ด้านที่ 1 เข้าถึงสื่อ สารสนเทศและใช้เทคโนโลยีดิจิทัลอย่างปลอดภัย ด้านที่ 2 วิเคราะห์ วิพากษ์ และประเมินสื่อ สารสนเทศ และเทคโนโลยีดิจิทัล ด้านที่ 3 สร้างสรรค์เนื้อหาและข้อมูลสารสนเทศ และ ด้านที่ 4 ประยุกต์ใช้และสร้างการเปลี่ยนแปลง หาคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 คน พบว่า มีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) อยู่ระหว่าง 0.60-1.00

3) แบบสอบถามความพึงพอใจต่อรูปแบบฯ เป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ จำนวน 15 ข้อ หาคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 คน พบว่า มีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) อยู่ระหว่าง 0.80-1.00 มีค่าอำนาจจำแนกระหว่าง 0.289-0.957 และค่าความเชื่อมั่นทั้งฉบับเท่ากับ 0.979

5.3 การศึกษาผลของการใช้รูปแบบการส่งเสริมทักษะการรู้เท่าทันสื่อสำหรับสังคมสูงวัย โดยใช้การมีส่วนร่วมของสมาชิกในครอบครัว ในพื้นที่ตำบลสร้างถ่อ อำเภอเชื่องใน จังหวัดอุบลราชธานี

งานวิจัยนี้ได้กำหนดแบบแผนการทดลอง แบบกลุ่มเดียววัดก่อนและหลังการทดลอง (One Group Pretest-Posttest Design) เพื่อประเมินประสิทธิผลของรูปแบบและศึกษาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นภายหลังการเข้าร่วม ซึ่งมีข้อจำกัดของการออกแบบการทดลองนี้คือ กลุ่มตัวอย่างต้องเข้าร่วมกิจกรรมของรูปแบบฯ อย่างต่อเนื่องและต้องให้ข้อมูลครบทั้งการวัดก่อนและหลังการทดลองใช้รูปแบบฯ

การกำหนดประชากรและตัวอย่างในการวิจัย งานวิจัยนี้ได้ยื่นขอจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ และได้ปฏิบัติตามข้อกำหนดโดยขอความยินยอมจากกลุ่มตัวอย่าง การคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล และการดูแลกลุ่มเปราะบาง ตามเลขที่ HE682014 สำนักงานคณะกรรมการจริยธรรมวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี ประกอบด้วย

1. ผู้สูงวัยในพื้นที่ตำบลสร้างถ่อ อำเภอเชื่องใน จังหวัดอุบลราชธานี จำนวน 875 คน สุ่มกลุ่มตัวอย่างที่สมัครใจเข้าร่วม จำนวน 69 คน โดยเป็นผู้สูงวัยที่สามารถช่วยเหลือตนเองได้ และเข้าร่วมกิจกรรมได้ตลอดระยะเวลาในการทำวิจัย

2. นักเรียนที่มีผู้ปกครองหรือคนในครอบครัวเป็นผู้สูงวัย พื้นที่ตำบลสร้างถ่อ อำเภอเชื่องใน จังหวัดอุบลราชธานี จำนวน 612 คน สุ่มกลุ่มตัวอย่างที่เป็นบุตรหลานของผู้สูงวัยในข้อ 1 ที่สนใจเข้าร่วม จำนวน 69 คน

5.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยการจัดอบรมเชิงปฏิบัติการ การกำกับติดตาม และการสะท้อนผล เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่ 1) แบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน 2) แบบประเมินทักษะการรู้เท่าทันสื่อ ประเมินภายหลังการทำกิจกรรมแต่ละครั้ง 3) แบบสอบถามความพึงพอใจต่อการใช้รูปแบบ

จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์และแปลผลตามเกณฑ์ ดังนี้

1. ผลการประเมินความเหมาะสมของรูปแบบและผลการประเมินความพึงพอใจ แปลผลดังนี้ (Srisa-ard, 2013)

ค่าเฉลี่ยช่วงคะแนน 4.50 – 5.00 หมายถึง เหมาะสม/พึงพอใจมากที่สุด
ค่าเฉลี่ยช่วงคะแนน 3.50 – 4.49 หมายถึง เหมาะสม/พึงพอใจมาก
ค่าเฉลี่ยช่วงคะแนน 2.50 – 3.49 หมายถึง เหมาะสม/พึงพอใจปานกลาง
ค่าเฉลี่ยช่วงคะแนน 1.50 – 2.49 หมายถึง เหมาะสม/พึงพอใจน้อย
ค่าเฉลี่ยช่วงคะแนน 1.00 – 1.49 หมายถึง เหมาะสม/พึงพอใจน้อยที่สุด

2. ผลการประเมินทักษะการรู้เท่าทันสื่อ มีเกณฑ์การผ่านที่ร้อยละ 70 ขึ้นไป

6. ผลการวิจัย (Results)

6.1 ผลการศึกษาสภาพปัญหา บริบท ความต้องการ ที่เกี่ยวข้องกับส่งเสริมทักษะการรู้เท่าทันสื่อสำหรับสังคมสูงวัย โดยใช้การมีส่วนร่วมของสมาชิกในครอบครัว ในพื้นที่ตำบลสร้างถ่อ อำเภอเขื่องใน จังหวัดอุบลราชธานี

มีผลการศึกษาดังนี้

สภาพปัญหา	ผู้สูงอายุมีพฤติกรรมการใช้สื่อออนไลน์เป็นเวลานาน ส่งผลต่อสุขภาพ เสี่ยงต่อการถูกหลอกลวงออนไลน์
บริบท	มีการสั่งซื้อผลิตภัณฑ์ยา อาหารเสริม และสินค้าที่เกี่ยวข้องกับวิถีชีวิตความเป็นอยู่ผ่านตัวแทนและระบบออนไลน์ เป็นครอบครัวใหญ่ อยู่ในสังคมชนบท เกษตรกร
ความต้องการ	รู้วิธีการตรวจสอบเว็บไซต์ เพจปลอม มีความต้องการพัฒนาสื่อเพื่อนำเสนอเนื้อหาด้านสุขภาพและชีวิตความเป็นอยู่ตามบริบทท้องถิ่น หารายได้เสริม เป็น Content Creator มีความคาดหวังว่าบุตรหลานหรือสมาชิกในครอบครัวจะช่วยให้เกิดการเรียนรู้ได้

6.2 ผลการพัฒนารูปแบบการส่งเสริมทักษะการรู้เท่าทันสื่อสำหรับสังคมสูงวัย โดยใช้การมีส่วนร่วมของสมาชิกในครอบครัว ในพื้นที่ตำบลสร้างถ่อ อำเภอเขื่องใน จังหวัดอุบลราชธานี

ผลการพัฒนา สรุปดังนี้

รูปแบบการส่งเสริมทักษะการรู้เท่าทันสื่อสำหรับสังคมสูงวัย โดยใช้การมีส่วนร่วมของสมาชิกในครอบครัว มี 6 องค์ประกอบ ได้แก่ หลักการของรูปแบบ วัตถุประสงค์ เนื้อหา กิจกรรมการเรียนรู้ การวัดและประเมินผล และ ระบบสนับสนุน โดยกิจกรรมการเรียนรู้ มี 7 ขั้นตอน หรือ SONGSOT model ดังนี้ ขั้นที่ 1 Situation analysis วิเคราะห์หาเหตุ ขั้นที่ 2 Observe & Question สังเกตและตั้งคำถาม ขั้นที่ 3 Navigate media ติดตามเท่าทัน ขั้นที่ 4 Generate content สร้างสรรค์เนื้อหา ขั้นที่ 5 Share & Discuss นำพาปรับใช้ ขั้นที่ 6 Open mind เปิดใจเรียนรู้ และ ขั้นที่ 7 Transformer ผู้นำการเปลี่ยนแปลง ด้านรูปแบบการส่งเสริมทักษะการรู้เท่าทันสื่อสำหรับสังคมสูงวัย โดยใช้การมีส่วนร่วมของสมาชิกในครอบครัวมีคุณภาพ โดยมีผลการประเมินความเหมาะสมจากผู้เชี่ยวชาญโดยรวม อยู่ในระดับมาก

6.3 ผลการศึกษาผลของการใช้รูปแบบการส่งเสริมทักษะการรู้เท่าทันสื่อสำหรับสังคมสูงวัย โดยใช้การมีส่วนร่วมของสมาชิกในครอบครัว ในพื้นที่ตำบลสร้างถ่อ อำเภอเขื่องใน จังหวัดอุบลราชธานี

6.3.1 ผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังการใช้รูปแบบที่พัฒนาขึ้น

ผลการวิจัย ดัง Table 1.

Table 1. To Compare Students' Learning Achievement Before and After the Implementation of the Model

	Mean	S.D.	D	t	Cohen's d	Effect Magnitude
Pretest	7.33	3.16	5.74	34.447**	1.959	Very Large
Posttest	13.07	4.23				

**Significant at the .01 level

จาก Table 1. พบว่า ผู้เข้าร่วมกิจกรรมมีคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้ จากคะแนนเต็ม 20 คะแนน พบว่า ก่อนเรียนคะแนนเฉลี่ย 7.33 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 3.16 หลังเรียนคะแนนเฉลี่ย 13.07 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 4.23 พบว่าคะแนนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 และขนาดอิทธิพล (Effect Size) มีค่า Cohen's d เท่ากับ 1.959

6.3.2 ผลการศึกษาทักษะการรู้เท่าทันสื่อสำหรับสังคมสูงวัยหลังการใช้รูปแบบที่พัฒนาขึ้น

ผลการวิจัย ดัง Table 2.

Table 2. Results of Developing Media Literacy Skills for an Aging Society through Family Participation

Item	Mean	S.D.	Percentage	Result
Dimension 1: Access media and information, and use digital technology safely	4.13	0.73	82.58	Pass
Dimension 2: Analyze, critique, and evaluate media, information, and digital technology	3.95	0.71	79.08	Pass
Dimension 3: Create media content and information	4.01	0.66	80.26	Pass
Dimension 4: Apply knowledge and foster transformation	3.81	0.68	76.17	Pass
Overall Summary	3.97	0.71	79.46	Pass

จาก Table 2. พบว่า ผู้เข้าร่วมกิจกรรมมีทักษะการรู้เท่าทันสื่อโดยรวมผ่านเกณฑ์ที่กำหนด เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า ผู้เข้าร่วมกิจกรรมมีผลการประเมินผ่านเกณฑ์ร้อยละ 70 ขึ้นไป ทุกด้าน

6.3.3 ผลการศึกษาความพึงพอใจของผู้เข้าร่วมกิจกรรมที่มีต่อการใช้รูปแบบที่พัฒนาขึ้น

ผลการวิจัย ดัง Table 3.

Table 3. Results of Satisfaction Evaluation on the Use of the Media Literacy Promotion Model for an Aging Society through Family Participation

Item	Mean	SD	Interpretation
Principle	4.07	0.73	**High**
Objective	4.09	0.62	**High**
Content and Learning Activity	4.18	0.71	**High**
Assessment and Evaluation	4.11	0.74	**High**
Support System	4.32	0.66	**High**
Outcomes	4.12	0.73	**High**
Overall	4.14	0.71	**High**

จาก Table 3. พบว่า ผู้เข้าร่วมกิจกรรมมีความพึงพอใจต่อการใช้รูปแบบการส่งเสริมทักษะการรู้เท่าทันสื่อสำหรับสังคมสูงวัย โดยใช้แบบมีส่วนร่วมของสมาชิกในครอบครัว โดยรวมอยู่ในระดับมาก

7. สรุปผลการวิจัย (Conclusion)

1. ผลการศึกษาสภาพปัญหา บริบท ความต้องการ ที่เกี่ยวข้องกับส่งเสริมทักษะการรู้เท่าทันสื่อสำหรับสังคมสูงวัย โดยใช้การมีส่วนร่วมของสมาชิกในครอบครัว ในพื้นที่ตำบลสร้างถ่อ อำเภอเขื่องใน จังหวัดอุบลราชธานี พบว่า ผู้สูงอายุมีพฤติกรรมการใช้สื่อออนไลน์เป็นเวลานาน เสี่ยงต่อการถูกหลอกลวงออนไลน์ มีการสั่งซื้อผลิตภัณฑ์ยา อาหารเสริม เป็นครอบครัวใหญ่ อยู่ในสังคมชนบท เกษตรกร วิธีการตรวจสอบเว็บไซต์ เพจปลอม มีความต้องการพัฒนาสื่อเพื่อนำเสนอเนื้อหาด้านสุขภาพ และชีวิตความเป็นอยู่ตามบริบทท้องถิ่น หารายได้เสริม เป็น Content Creator มีความคาดหวังว่าบุตรหลานหรือสมาชิกในครอบครัวจะช่วยให้เกิดการเรียนรู้ได้

(Research Article)

2. ผลการพัฒนารูปแบบการส่งเสริมทักษะการรู้เท่าทันสื่อสำหรับสังคมสูงวัย โดยใช้การมีส่วนร่วมของสมาชิกในครอบครัว ในพื้นที่ตำบลสร้างถ่อ อำเภอเขื่องใน จังหวัดอุบลราชธานี พบว่า รูปแบบที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วย 6 องค์ประกอบ ได้แก่ หลักการ วัตถุประสงค์ เนื้อหาและกิจกรรมการเรียนรู้ การวัดและประเมินผล ระบบสนับสนุน และผลลัพธ์ และกระบวนการเรียนรู้ 7 ขั้นตอน (SONGSOT Model) ประกอบด้วย ขั้นที่ 1 Situation Analysis วิเคราะห์หาเหตุ ขั้นที่ 2 Observe & Question สังเกตและตั้งคำถาม ขั้นที่ 3 Navigate Media ติดตามเท่าทัน ขั้นที่ 4 Generate Content สร้างสรรค์เนื้อหา ขั้นที่ 5 Share & Discuss นำพาปรับใช้ ขั้นที่ 6 Open Mind เปิดใจเรียนรู้ และ ขั้นที่ 7 Transformer ผู้นำการเปลี่ยนแปลง ซึ่งผ่านการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญว่ามีความเหมาะสมในระดับมาก

3. ผลของการใช้รูปแบบการส่งเสริมทักษะการรู้เท่าทันสื่อสำหรับสังคมสูงวัย โดยใช้การมีส่วนร่วมของสมาชิกในครอบครัว ในพื้นที่ตำบลสร้างถ่อ อำเภอเขื่องใน จังหวัดอุบลราชธานี ดังนี้

3.1 เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังการใช้รูปแบบฯ ผู้เข้าร่วมกิจกรรมมีคะแนนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

3.2 ศึกษาทักษะการรู้เท่าทันสื่อสำหรับสังคมสูงวัยหลังการใช้รูปแบบฯ พบว่า มีทักษะการรู้เท่าทันสื่อโดยรวมคิดเป็นร้อยละ 79.46 และผลการพัฒนาทักษะทั้ง 4 ด้านผ่านเกณฑ์การประเมินร้อยละ 70 ขึ้นไป

3.3 ศึกษาความพึงพอใจของผู้เข้าร่วมกิจกรรมที่มีต่อการใช้รูปแบบฯ ความพึงพอใจต่อการดำเนินกิจกรรมอยู่ในระดับมาก ด้านที่พึงพอใจสูงสุดคือระบบสนับสนุน และกิจกรรมที่ส่งเสริมการเรียนรู้รู้ลึก รู้จริง รู้แจ้ง และรู้เท่าทัน แสดงให้เห็นว่ารูปแบบดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการพัฒนาทักษะการรู้เท่าทันสื่อของผู้สูงอายุผ่านการมีส่วนร่วมของครอบครัว

8. อภิปรายผลการวิจัย (Discussion)

การวิจัยครั้งนี้ พบประเด็นที่น่าสนใจจึงนำมาอภิปราย ดังนี้

1. จากผลผลการศึกษาสภาพปัญหา บริบท ความต้องการ ที่เกี่ยวข้องกับส่งเสริมทักษะการรู้เท่าทันสื่อสำหรับสังคมสูงวัย โดยใช้การมีส่วนร่วมของสมาชิกในครอบครัว ในพื้นที่ตำบลสร้างถ่อ อำเภอเขื่องใน จังหวัดอุบลราชธานี พบว่า ผู้สูงอายุมีพฤติกรรมการใช้สื่อออนไลน์เป็นเวลานาน เสี่ยงต่อการถูกหลอกลวงออนไลน์ มีการสั่งซื้อผลิตภัณฑ์ยา อาหารเสริม เป็นครอบครัวใหญ่ อยู่ในสังคมชนบท เกษตรกร วิธีการตรวจสอบเว็บไซต์ เพจปลอม มีความต้องการพัฒนาสื่อเพื่อนำเสนอเนื้อหาด้านสุขภาพ และชีวิตความเป็นอยู่ตามบริบทท้องถิ่น หารายได้เสริม เป็น Content Creator มีความคาดหวังว่าบุตรหลานหรือสมาชิกในครอบครัวจะช่วยให้เกิดการเรียนรู้ได้ แสดงให้เห็นว่า สังคมสูงวัยในพื้นที่ตำบลสร้างถ่อมีความเสี่ยงและต้องการพัฒนาทักษะการรู้เท่าทันสื่อ แสดงให้เห็นว่า การพัฒนาทักษะการรู้เท่าทันสื่อเป็นสิ่งสำคัญจำเป็นสำหรับผู้สูงวัย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการสร้างโอกาสในการมีส่วนร่วมของคนในครอบครัว เป็นแนวทางที่จะช่วยให้ผู้สูงวัยเรียนรู้ได้เป็นอย่างดี ทั้งนี้เนื่องจาก การรู้เท่าทันสื่อ เป็นการเรียนรู้ในการใช้สื่อ เข้าใจสื่อมีบทบาทหน้าที่ อย่างไร และสื่อจะช่วยในการสร้างภาพลักษณ์ ได้อย่างไร เพื่อนำไปสู่การคิดในเชิงวิเคราะห์ และสามารถสื่อสารในเชิงสร้างสรรค์ได้ (Child and Youth Media Institute, n.d.b.) สอดรับกับพฤติกรรมการใช้สื่อสังคมออนไลน์ในผู้สูงอายุมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทั่วโลก โดยปัญหาของผู้สูงอายุนอกจากการใช้อุปกรณ์แล้ว การรับข้อมูลข่าวสารทางสื่อสังคมออนไลน์ หลงเชื่อข้อมูลเท็จ ถูกหลอกลวง หลงเชื่อข้อมูลที่ส่งผลเสียต่อผู้สูงอายุได้ (Assawatinna & Poonpol, 2023: 586-598) อีกทั้งสัมพันธภาพในครอบครัวและพฤติกรรมการใช้สื่อดิจิทัลด้วยปัญญามีความสัมพันธ์กัน เมื่อผู้สูงอายุมีสัมพันธภาพภายในครอบครัวดี เช่น มีความห่วงใยหรือพูดคุยหรือรับฟังซึ่งกันและกัน จะส่งผลต่อพฤติกรรมการใช้สื่อดิจิทัลด้วย โดยมีงานวิชัยที่ชี้ชัดว่า ผู้สูงอายุควรเริ่มเรียนรู้การใช้สื่อใหม่ผ่านโซเชียลมีเดียจากคนใกล้ชิดเพื่อเสริมสร้างสัมพันธภาพในครอบครัวให้ดีขึ้น (Siricharoen, 2015) และปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการบริโภคให้ดีขึ้นได้ (Sriugsorn, 2008)

2. ผลการพัฒนารูปแบบการส่งเสริมทักษะการรู้เท่าทันสื่อสำหรับสังคมสูงวัย โดยใช้การมีส่วนร่วมของสมาชิกในครอบครัว ในพื้นที่ตำบลสร้างถ่อ อำเภอเขื่องใน จังหวัดอุบลราชธานี พบว่า รูปแบบที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วย 6 องค์ประกอบ ได้แก่ หลักการ วัตถุประสงค์ เนื้อหาและกิจกรรมการเรียนรู้ การวัดและประเมินผล ระบบสนับสนุน และผลลัพธ์ และกระบวนการเรียนรู้ 7 ขั้นตอน (SONGSOT Model) ประกอบด้วย ขั้นที่ 1 Situation Analysis วิเคราะห์หาเหตุ ขั้นที่ 2 Observe & Question สังเกตและตั้งคำถาม ขั้นที่ 3 Navigate Media ติดตามเท่าทัน ขั้นที่ 4 Generate Content สร้างสรรค์เนื้อหา ขั้นที่ 5 Share & Discuss นำพาปรับใช้ ขั้นที่ 6 Open Mind เปิดใจเรียนรู้ และ ขั้นที่ 7 Transformer

(Research Article)

ผู้นำการเปลี่ยนแปลง ซึ่งผ่านการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญว่ามีความเหมาะสมในระดับมาก แสดงให้เห็นว่า รูปแบบนี้มีประสิทธิภาพ สามารถนำไปใช้พัฒนาทักษะการรู้เท่าทันสื่อได้ ทั้งนี้เนื่องจากงานวิจัยนี้ได้พัฒนารูปแบบตามลำดับขั้นตอน มีการศึกษาค้นคว้า อย่างเป็นระบบ มีการทดสอบ ตรวจสอบและ ประเมินร่างรูปแบบที่สร้างขึ้นในสภาพจริง แล้วดำเนินการปรับปรุงจนได้ผลที่มีคุณภาพ ซึ่งเป็นไปตามหลักการพัฒนารูปแบบการเรียนรู้ (Khamanee, 2007) นอกจากนี้ยังสอดรับกับแนวคิดการจัดการเรียนรู้แบบมีส่วนร่วม ซึ่งมีองค์ประกอบสำคัญ 4 ประการ คือ 1) ประสบการณ์ (Experience) เป็นขั้นตอนที่ผู้สอนกระตุ้นให้ผู้เรียนนำประสบการณ์เดิมของตนออกมาใช้ในการเรียนและแบ่งปันประสบการณ์ของตนกับเพื่อน ๆ ที่อาจมีประสบการณ์คล้ายคลึงหรือแตกต่างกัน 2) การสะท้อนความคิดและอภิปราย (Reflect and Discussion) เป็นขั้นตอนที่ผู้เรียนได้มีโอกาสแสดงความคิดเห็น ความรู้สึกแลกเปลี่ยนกับสมาชิกในกลุ่ม ผู้สอนจะเป็นผู้กำหนดประเด็นวิเคราะห์ วิจารณ์ ผู้เรียนได้เรียนรู้ถึงความคิด ผู้อื่นที่ต่างไปจากตนเอง ซึ่งจะช่วยให้เกิดการเรียนรู้ที่กว้างขวางขึ้น ผลจากการสะท้อนความคิดเห็นหรืออภิปรายทำให้ได้ข้อสรุปที่หลากหลายและได้เรียนรู้การทำงานเป็นทีม 3) ความเข้าใจและเกิดความคิดรวบยอด (Understanding and Conceptualization) เป็นขั้นตอนการสร้างความเข้าใจและนำไปสู่การเกิดความคิดรวบยอดอาจจะเกิดขึ้นโดยผู้เรียนเป็นฝ่ายริเริ่มและครูช่วยเติมให้สมบูรณ์ หรือครูอาจนำทางแล้วผู้เรียนสานต่อจนความคิดนั้นสมบูรณ์เป็นความคิดรวบยอด 4) การทดลองหรือประยุกต์แนวคิด (Experiment or Application) เป็นขั้นตอนที่ให้ผู้เรียนนำเอาการเรียนรู้ที่เกิดขึ้นใหม่ไปประยุกต์ใช้ในลักษณะหรือสถานการณ์ต่าง ๆ จนเกิดเป็นแนวทางปฏิบัติของผู้เรียนเอง (Rangabtook, 2001) ดังเช่นข้อค้นพบของ Tayati et al. (2017) ที่พบว่ารูปแบบประกอบด้วย 3 องค์ประกอบ 1) การรับข้อมูล (Information Receiving) 2) การหยุดคิด (Stop Thinking) 3) การปฏิบัติ (Acting) เพื่อปรับพฤติกรรมใหม่ของผู้สูงอายุในการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารต่าง ๆ

3. ผลของการใช้รูปแบบการส่งเสริมทักษะการรู้เท่าทันสื่อสำหรับสังคมสูงวัยโดยการจัดกระบวนการเรียนรู้ที่ใช้แบบมีส่วนร่วมของสมาชิกในครอบครัว ในพื้นที่ตำบลสร้างถ่อ อำเภอเขื่องใน จังหวัดอุบลราชธานี ปรากฏดังนี้

3.1 ผู้เข้าร่วมกิจกรรมมีคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 แสดงให้เห็นว่า ผู้เข้าร่วมกิจกรรมมีความรู้ความเข้าใจด้านการรู้เท่าทันสื่อ ซึ่งเป็นไปตามหลักการพื้นฐานที่สำคัญของรูปแบบเน้นทฤษฎีการเรียนรู้ของผู้ใหญ่ 5 ประการ (Knowles, 1984) ดังนี้ 1) มโนทัศน์แห่งตน (Self–Concept) ผู้ใหญ่ต้องการความรับผิดชอบการเรียนรู้ของตนเองในการตัดสินใจต่าง ๆ ในการเรียนรู้ด้วยตนเอง มีอิสระทางการคิดและการตัดสินใจทางการเรียนรู้ ใช้การเรียนรู้โดยการกำกับตนเอง (Self–Directed Learning) เป็นสำคัญ 2) ประสบการณ์ของผู้เรียน (Learner Experience) ผู้ใหญ่จะใช้ประสบการณ์ชีวิตของตนเองเป็นพื้นฐานของการเรียนรู้การเรียนรู้ที่เหมาะสมสำหรับผู้ใหญ่มุ่งเน้นการเชื่อมโยงประสบการณ์ชีวิตเข้ากับเนื้อหาสาระของการเรียนรู้ซึ่งจะทำให้ผู้ใหญ่เกิดการเรียนรู้อย่างมีประสิทธิผล 3) ความพร้อมของผู้เรียน (Readiness to Learn) ผู้ใหญ่มีความพร้อมและให้ความสนใจใน การเรียนรู้สิ่งที่สอดคล้องกับการทำงานและการดำรงชีวิตของตนเอง นอกจากนี้ความพร้อมในการเรียนรู้ของผู้ใหญ่ยังเป็นผลมาจากประสบการณ์การทำงานและบทบาททางสังคมของตนเอง 4) ความสอดคล้องเชื่อมโยงของการเรียนรู้ (Orientation to Learn) ผู้ใหญ่เรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นหลัก (Problem-Based) ที่สามารถนำความรู้และประสบการณ์การเรียนรู้ไปใช้ประโยชน์ได้จริงในการปฏิบัติงานของตนเอง ดังนั้นการเรียนรู้ของผู้ใหญ่จึงมุ่งเน้นการประยุกต์ความรู้ไปใช้ในสถานการณ์ต่าง ๆ มากกว่าการใช้เนื้อหาเป็นหลัก และ 5) แรงจูงใจในการเรียนรู้ (Motivation to Learn) ผู้ใหญ่ใช้แรงจูงใจภายใน (Internal Motivation) เป็นปัจจัยสนับสนุนการเรียนรู้ มากกว่าแรงจูงใจจากภายนอก (External Motivation) ซึ่งจะทำให้ผู้ใหญ่ใช้ศักยภาพของตนเองอย่างเต็มที่ในการเรียนรู้ และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Thongchalerm et al. (2022: 30-37) ได้ทำโครงการการพัฒนาทักษะการรู้เท่าทันสื่อดิจิทัลและการพัฒนาทักษะการผลิตสื่อสร้างสรรค์ ปลอดภัย สำหรับผู้สูงอายุ พบว่า ผลการเปรียบเทียบการเรียนรู้หลังอบรมสูงกว่าก่อนอบรม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

3.2 ผู้เข้าร่วมกิจกรรมมีทักษะการรู้เท่าทันสื่อโดยรวมผ่านเกณฑ์ที่กำหนด เมื่อพิจารณาเป็นรายด้านได้แก่ ด้านการสืบค้น การแสวงหาข้อมูล และใช้เทคโนโลยี ด้านวิเคราะห์ วิพากษ์ และประเมินสื่อ เทคโนโลยี ด้านสร้างสรรค์เนื้อหาและข้อมูลสารสนเทศ และด้านประยุกต์ใช้และสร้างการเปลี่ยนแปลง พบว่า ผู้เข้าร่วมกิจกรรมมีผลการประเมินผ่านเกณฑ์ทุกด้าน ซึ่งเป็นไปตามโมเดลการรู้เท่าทันสื่อ “หยุด คิด ถาม ทำ” ของ Bhibulbhanuvat et al. (2020) ที่นำหลักการใช้ “สติ” (Mindfulness) ที่เป็นแนวทางในการดำเนินชีวิตของคนไทย บูรณาการเข้ากับทักษะ “การคิดเชิงวิเคราะห์” (Critical Thinking) สอดรับกับลักษณะทางวัฒนธรรมของผู้สูงอายุไทย ดังนี้ หยุด–ยับยั้งตั้งสติ ดูอารมณ์ตัวเอง

อย่าด่วนเชื่อ อย่าด่วนตัดสินใจ คิด–คำนึงถึงความจำเป็น และผลกระทบที่จะตามมา ถาม–หาข้อมูลเพิ่มเติมจากแหล่งข้อมูลที่หลากหลาย และเชื่อถือได้ ทำ–ตัดสินใจอย่างรับผิดชอบต่อตนเองและผู้อื่น และใช้สื่ออย่างความปลอดภัย และสอดคล้องกับหลัก 3 องค์ประกอบคือ 1) การรับข้อมูล (Information Receiving) 2) การหยุดคิด (Stop Thinking) 3) การปฏิบัติ (Acting) เพื่อปรับพฤติกรรมใหม่ของผู้สูงอายุในการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารต่าง ๆ ด้วย (Tayati et al., 2017) ดังเช่นการส่งเสริมการสร้างสื่อดิจิทัลอย่างสร้างสรรค์ปลอดภัยเพื่อการเรียนรู้ทักษะจำเป็นพื้นฐานสำหรับแกนนำผู้สูงวัยในชุมชนชนบท ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ที่ผู้เข้ารับการอบรมมีทักษะการการใช้และรู้เท่าทันสื่อดิจิทัลฯ ผ่านเกณฑ์ที่กำหนด และมีทักษะในด้านผลิตสื่อสร้างสรรค์ ปลอดภัย ผ่านเกณฑ์ที่กำหนด (Thongchalerm et al., 2023)

3.3 ผู้เข้าร่วมกิจกรรมมีความพึงพอใจต่อการใช้รูปแบบการส่งเสริมทักษะการรู้เท่าทันสื่อสำหรับสังคมสูงวัย โดยการจัดกระบวนการเรียนรู้ที่ใช้แบบมีส่วนร่วมของสมาชิกในครอบครัวโดยรวมอยู่ในระดับมาก เมื่อพิจารณาเป็นรายด้านพบว่า ผู้เข้าร่วมกิจกรรมมีความพึงพอใจสูงสุดคือด้านระบบการสนับสนุน ทั้งนี้เนื่องจาก สิ่งที่สำคัญในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้สำหรับผู้ใหญ่นั้น มีความแตกต่างกันด้านการมีประสบการณ์เดิมการที่ผู้เรียนได้ร่วมทำกิจกรรมอย่างกระตือรือร้นในการค้นหาคำตอบ การทดลอง การแก้ไขปัญหา เกิดความคิดสร้างสรรค์และสร้างความหมายต่อการเรียนรู้ เมื่อผลลัพธ์ของการเรียนรู้อยู่ที่ผู้เรียนเป็นพื้นฐานของประสบการณ์ โดยการเชื่อมโยงไปสู่สถานการณ์จริง ประสบกาณ์จากกระบวนการเรียนรู้ทั้งหมด อันนำไปสู่การประยุกต์ใช้สิ่งใหม่และการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรม (Kolb,1984) ดังเช่นที่ Tirakoat & Polnigongit (2018) และ Ratana-Ubol (2008) พบว่า เมื่อมีกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นการมีส่วนร่วมของคนในครอบครัวและมีผู้รู้คอยเสริมหนุนให้เกิดการเรียนรู้ร่วมกัน จึงทำให้ผู้สูงวัยมีความมั่นใจในการทำกิจกรรมกับคนใกล้ชิดและเรียนรู้ได้มากขึ้น สะท้อนให้เห็นว่า ครอบครัวมีบทบาทสำคัญในการส่งเสริมทักษะการรู้เท่าทันสื่อและทักษะดิจิทัลของผู้สูงอายุ โดยสมาชิกในครอบครัวสามารถทำหน้าที่เป็น “เพื่อนคู่คิด” ผ่านกิจกรรมการเรียนรู้ร่วมกันระหว่างวัย เช่น การสาธิตและฝึกใช้งานสมาร์ตโฟนหรือแอปพลิเคชัน การตั้งค่าความเป็นส่วนตัวและความปลอดภัยของอุปกรณ์ แนะนำวิธีตรวจสอบข้อเท็จจริงเพื่อป้องกันข่าวปลอม และสร้างพื้นที่ปลอดภัยพูดคุยรับฟังปัญหาโดยไม่ตัดสิน และรับฟังข้อสงสัยต่าง ๆ ของผู้สูงวัย ตลอดจนการฝึกทักษะพื้นฐานที่สอดคล้องกับความต้องการของผู้สูงอายุ การเรียนรู้ในครอบครัวลักษณะนี้ช่วยเพิ่มความรู้ ทักษะ ความมั่นใจ และความสามารถในการปรับตัวเข้าสู่สังคมดิจิทัลของผู้สูงอายุได้ (Cheng et al., 2022; Tsai et al., 2015)

9. ข้อเสนอแนะงานวิจัย (Recommendation)

9.1 ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย

1. หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการรู้เท่าทันสำหรับสังคมสูงวัย ควรนำผลการวิจัยไปกำหนดเป็นนโยบายหรือกลยุทธ์ในการขับเคลื่อนการดำเนินงานเพื่อสร้างการมีส่วนร่วมของคนในครอบครัวและชุมชนทุกภาคส่วน

2. สถาบันอุดมศึกษา หรือมหาวิทยาลัยเพื่อการพัฒนาท้องถิ่น ควรนำรูปแบบไปบูรณาการในหลักสูตรเป็นกิจกรรมเสริมความเป็นครูเพื่อสร้างการมีส่วนร่วมในการพัฒนาท้องถิ่น

9.2 ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1. ผู้สูงวัยมีพฤติกรรมการใช้สื่อที่เสี่ยงต่อสุขภาพและการดำรงชีวิตที่แตกต่างกันไปตามบริบทพื้นที่ ดังนั้น นักวิจัยควรวิเคราะห์บริบทพื้นที่ กลุ่มเป้าหมายก่อนนำไปใช้หรืออาจประยุกต์เนื้อหาสาระในกิจกรรมให้สอดคล้องกับกลุ่มเป้าหมายด้วย

2. การสร้างความคุ้นเคย เป็นปัจจัยสำคัญในการนำรูปแบบไปใช้ให้เกิดประสิทธิภาพและประสิทธิผล ดังนั้น นักวิจัยจึงควรสร้างปฏิสัมพันธ์กับผู้ร่วมกิจกรรมเพื่อให้เกิดความคุ้นเคย จึงจะเปิดใจและร่วมเรียนรู้ตามรูปแบบนี้ได้เป็นอย่างดี

9.3 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรมีการทดลองกับพื้นที่อื่น บริบทอื่น การเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม หรือ การติดตามผลระยะยาวในการใช้รูปแบบการส่งเสริมทักษะการรู้เท่าทันสื่อสำหรับสังคมสูงวัย โดยใช้การมีส่วนร่วมของสมาชิกในครอบครัว

2. ควรมีการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการมีส่วนร่วมในการเสริมสร้างทักษะการรู้เท่าทันสื่อตาม บทบาทหน้าที่ของบุคคลในชุมชน เช่น กลุ่มอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน (อสม.) กลุ่มข้าราชการบำนาญ เป็นต้น

(Research Article)

3. ควรศึกษาระบบและกลไกการมีส่วนร่วมจากผู้มีส่วนเกี่ยวข้องที่หลากหลาย ตั้งแต่ตัวผู้สูงอายุ องค์กรส่วนท้องถิ่นที่ดูแลเรื่องคุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุ สถาบัน การศึกษาที่มีบทบาทต่อการพัฒนาชุมชน องค์กรภาคประชาสังคม ที่ทำงานในประเด็นเดียวกัน และองค์กรภาครัฐที่ทำหน้าที่กำหนด นโยบายและขับเคลื่อนงานส่งเสริมคุณภาพชีวิตผู้สูงอายุระดับประเทศ

10.กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (ววน.) ปีงบประมาณ 2568 โดยสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี ภายใต้จริยธรรมวิจัยในมนุษย์ เลขที่ HE682014 ลงวันที่ 3 เมษายน พ.ศ. 2568

11. การเปิดเผยการใช้ปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ (Declaration of Generative AI)

งานวิจัยนี้ใช้ OpenAI เป็นเครื่องมือในการตรวจสอบสำนวนภาษาและไวยกรณ์ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยใช้คำสั่งที่เกี่ยวข้องกับการแปลความหมายและปรับแก้ความถูกต้องของภาษา ทั้งนี้ได้ตรวจสอบและปรับแก้ไขเนื้อหาให้ถูกต้องทั้งหมดด้วยตนเอง

12. การแสดงบทบาทผู้เขียน (CRediT Author Statement)

Phiraya Tongchalerm: Conceptualization, Methodology, Investigation, Data Curation, Formal Analysis, Writing – Original Draft

Pariya Pariput: Conceptualization, Validation, Supervision, Writing – Review & Editing, Project Administration

All authors read and approved the final manuscript.

13. เอกสารอ้างอิง (References)

Assawatinna, R., & Poonpol, P. (2023). The Media Literacy Program Improve Digital Behavior Usage of Thai Older Adult. *Journal of Roi Kaensarn Academi, 8*(11), 586–598. (In Thai)

Bhibulbhanuvat, S., Doungphummes, N., & Sasiwongsaroj, K. (2020). Elderly Use of Risk-Free Media: Creating Media Literate Elderly Health Communicators. *Journal of Business, Innovation and Sustainability, 15*(3), 174–191. (In Thai)

Cheng, H., Lyu, K., Li, J., & Shiu, H. (2022). Bridging the Digital Divide for Rural Older Adults by Family Intergenerational Learning: A Classroom Case in a Rural Primary School in China. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 19*(1), 371. https://doi.org/10.3390/ijerph19010371

Child and Youth Media Institute. (n.d.a.). *What Is Media, Information, and Digital Literacy?* https://cclickthailand.com/การรู้เท่าทันสื่อฯ-คืออ (In Thai)

Child and Youth Media Institute. (n.d.b.). Final Report on Individual-Level Media, Information and Digital Literacy Indicators for Promoting Democratic Citizenship. https://cclickthailand.com/ตัวบ่งชี้การรู้เท่าทัน (In Thai)

Department of Health Service Support. (2025). *Provincial Data Report* https://3doctor.hss.moph.go.th/main/rp_ampur?region=10&prov=MzQ=&provn=4 (In Thai)

Department of Older Persons. (2023). *Statistics of the Elderly*. https://www.dop.go.th/th/know/side/1/1/2388 (In Thai)

Jaiboon, K., & Heng, P. (2018). *Seniors Play Social Media to Prevent Risks and Avoid Fraudsters*. Post Today. https://www.posttoday.com/lifestyle/551718 (In Thai)

Khamanee, T. (2007). *Alternative Instructional Models*. Chulalongkorn University. (In Thai)

Knowles, M. S. (1984). *The Adult Learner: A Neglected Species* (3rd ed.). Gulf Publishing.

Kolb, D. A. (1984). *Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development*. Prentice-Hall.

National Statistical Office. (2017). *Active Ageing Index of Thai Elderly*. https://www.nso.go.th/nsoweb/nso/survey_detail/92 (In Thai)

Public Affairs Division Royal Thai Police. (2025). *Statistics on Older Adults who Became Victims of Scammers*. https://saranitet.police.go.th/infographic_20122025_60608 (In Thai)

Rangabtook, W. (2001). Techniques and Learner-Centered Activities According to the Basic Education Curriculum B.E. 2544. Prikwan Graphic. (In Thai)

Ratana-Ubol, A. (2008). *Development, Learning, and Activities for Adults*. Chulalongkorn University. (In Thai)

Siricharoen, N. (2015). A Case Study of The Use of New Media through Social Media on Smartphone to Improve Quality of Life for Elderly with Family Members in New Zealand. *Veridian E-Journal Silpakorn University, 8*(3), 96–117. (In Thai)

Srisa-ard, B. (2013). *Introduction to Research* (9th ed.). Suweeriyasan. (In Thai)

Sriugsorn, T. (2008). Factors Affecting Food Consumption Behavior of the Elderly in Bangkok Metropolis. [Master's thesis, Chulalongkorn University]. Chula DigiVerse. https://doi.org/10.58837/chula.the.2008.1228 (In Thai)

Tabachuk, N. P. (2020). Development of Information Competence of University Students in the Process of Mapping and Scripting. In Murzina, Z. V., & Bogatyreva, O. L. (Eds), *Questions of Education and Psychology* (93-105). Sreda Publishing House. (In Russian)

Tayati, P., Disathaporn, C., & Onming, R. (2017). The Model of Thai Elderly Learning Management for Information and Communication Technology Literacy. *Veridian E-Journal Silpakorn University, 10*(3), 1456-1471. (In Thai)

Tayia, S. A. R. (2022). Media and Information Literacy to Counter Disinformation. *Insights into Language, Culture and Communication, 2*(2), 83-84. https://dx.doi.org/10.21622/ilcc.2022.02.2.083

Thongchalerm, K., Chaichana, N., Bencharatapong, K., Morachart, W., Ketsiri, A., & Pimpimool, A. (2022, July 11). Results of Training under the Project for Developing Digital Media Literacy Skills and Creative, Safe Media Production Skills for the Elderly. *10th National Conference on Humanities and Social Sciences, Ubon Ratchathani Rajabhat University*, 30–37. Ubon Ratchathani Rajabhat University. (In Thai)

Thongchalerm, K., Luangna, A., Chaichana, N., Bencharatapong, K., & Tangwancharoen, S. (2023). Promoting Creative and Safe Digital Media for Learning Essential Basic Skills among Elderly Leaders in Rural Communities in Northeastern Thailand. *Research Report*. Safe and Creative Media Development Fund. (In Thai)

Tirakoat, S., & Polnigongit, W. (2018). Internet Usage Behaviors, Literacy, and Attitude Towards Utilization of Wellness Content on the Internet among Thai Elderly. *Journal of Nursing and Health Care, 36*(1), 72–80. (In Thai)

(Research Article)

Tsai, H. S., Shillair, R., Cotten, S. R., Winstead, V., & Yost, E. (2015). Getting Grandma Online: Are Tablets the Answer for Increasing Digital Inclusion for Older Adults in the U.S.? *Educational Gerontology, 41*(10), 695–709. https://doi.org/10.1080/03601277.2015.1048165

Ubon Ratchathani Provincial Statistical Office. (2023). *Ubon Ratchathani Provincial Statistical Report*. Ubon Ratchathani. (In Thai)

May-August 2026, 4(2), e4181
DOI: 10.65205/jcct.2026.e4181
Journal of Computer and Creative Technology
วารสารคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสร้างสรรค์
ISSN 2985-1580 (Print)
ISSN 2985-1599 (Online)

(Research Article)

Time-Lagged Backpropagation Neural Network-Based Machine Learning for Loop Location Identification in Layer 2 Switch Network

Soradet Chaowinai[1], Nithzethe Mhuadthongon[2,*], and Apirada Jitjing[3]

[1,2]Information and Communication Technology, School of Science and Technology,
Sukhothai Thammathirat Open University, Nonthaburi 11120 Thailand;
Email: [1]2629600095@stou.ac.th, [2]nithizethe.mhu@stou.ac.th
[3]Aeronautical Engineering Division, Civil Aviation Training Center, Bangkok 10900, Thailand;
Email: [3]japirada747@gmail.com

[*]*Corresponding author:* Nithzethe Mhuadthongon (nithizethe.mhu@stou.ac.th)

Received: 8 June 2026; **Revised:** 14 August 2026; **Accepted:** 17 August 2026; **Published:** 28 August 2026

Abstract

This research aimed to study and analyze loop problems in Layer 2 switching networks and their impacts on system performance, to develop a machine learning model using a Time-Lagged Backpropagation Neural Network to identify the locations of network loop problems, and to evaluate and compare the performance of the developed model based on defined metrics. The research methodology consisted of eight main steps: 1) network simulation, 2) loop problem simulation, 3) traffic data collection, 4) data preparation and cleaning, 5) training and testing data splitting, 6) model development using various algorithms, 7) parameter tuning, and 8) model performance evaluation using a confusion matrix in conjunction with statistical metrics. The results indicated all five developed models successfully identified the locations of loop occurrences. Among these, the Time-Lagged Backpropagation Neural Network delivered the best performance, achieving an Accuracy of 91.46%, Precision of 95.27%, Recall of 91.46%, an F1-score of 93.11%, and an Area Under the Curve (AUC) of 0.986. These findings demonstrated that the proposed model possessed high efficiency in accurately detecting and locating network loop problems.

Keywords: Loop Problems in Layer 2 Switching Networks, Machine Learning Model, Time-Lagged Backpropagation Neural Network

Copyright © 2026 Journal of Computer and Creative Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC-ND).

Citation:
Chaowinai, S., Mhuadthongon, N., & Jitjing, A. (2026). Time-Lagged Backpropagation Neural Network-Based Machine Learning for Loop Location Identification in Layer 2 Switch Network. *Journal of Computer and Creative Technology, 4*(2), e4181. https://doi.org/10.65205/jcct.2026.e4181

ISSN 2985-1580 (Print)
ISSN 2985-1599 (Online)

(Research Article)

การเรียนรู้ของเครื่องโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบกระจายย้อนกลับชนิดหน่วงเวลาเพื่อระบุตำแหน่งปัญหาลูปในเครือข่ายสวิตช์เลเยอร์ 2

สรเดช เชาวินัย[1] นิติเศรษฐ์ หมวดทองอ่อน[2,*] และ อภิรดา จิตจริง[3]

[1,2]แขนงวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช จังหวัดนนทบุรี 11120 ประเทศไทย; Email: [1]2629600095@stou.ac.th, [2]nithizethe.mhu@stou.ac.th
[3]กองวิชาวิศวกรรมการบิน สถาบันการบินพลเรือน จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10900 ประเทศไทย;
Email: [3]japirada747@gmail.com

[*]*ผู้ประพันธ์บรรณกิจ:* นิติเศรษฐ์ หมวดทองอ่อน (nithizethe.mhu@stou.ac.th)

รับบทความ: 8 มิถุนายน 2569; **แก้ไขบทความ:** 14 สิงหาคม 2569; **ตอบรับบทความ:** 17 สิงหาคม 2569;
เผยแพร่บทความ: 28 สิงหาคม 2569

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา และวิเคราะห์ปัญหาลูปในเครือข่ายสวิตช์เลเยอร์ 2 รวมถึงผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบ เพื่อพัฒนาแบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่องโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบกระจายย้อนกลับชนิดหน่วงเวลาในการระบุตำแหน่งปัญหาลูปในเครือข่าย และเพื่อประเมินพร้อมเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นภายใต้เกณฑ์วัดที่กำหนด การดำเนินงานวิจัยประกอบด้วย 8 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ 1) การจำลองเครือข่าย 2) การจำลองการเกิดปัญหาลูป 3) การเก็บข้อมูลทราฟฟิก 4) การเตรียมและทำความสะอาดข้อมูล 5) การแบ่งชุดข้อมูลฝึกและทดสอบ 6) การพัฒนาแบบจำลองด้วยอัลกอริทึมที่หลากหลาย 7) การปรับแต่งพารามิเตอร์ และ 8) การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองโดยใช้ตารางความสับสนร่วมกับตัวชี้วัดทางสถิติ ผลงานวิจัยพบว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นทั้ง 5 แบบจำลองสามารถระบุตำแหน่งการเกิดปัญหาลูปได้สำเร็จ ซึ่งแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบกระจายย้อนกลับชนิดหน่วงเวลาให้ผลลัพธ์ดีที่สุด โดยให้ค่าความถูกต้อง (Accuracy) ร้อยละ 91.46 ค่าความแม่นยำ (Precision) ร้อยละ 95.27 ค่าการเรียกคืน (Recall) ร้อยละ 91.46 ค่าประสิทธิภาพโดยรวม (F1-score) ร้อยละ 93.11 และพื้นที่ใต้กราฟ (AUC) เท่ากับ 0.986 แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองดังกล่าวมีประสิทธิภาพสูงในการตรวจจับ และระบุตำแหน่งปัญหาลูปได้อย่างแม่นยำ

คำสำคัญ: ปัญหาลูปในเครือข่ายสวิตช์เลเยอร์ 2, แบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่อง, โครงข่ายประสาทเทียมแบบกระจายย้อนกลับชนิดหน่วงเวลา

Copyright © 2026 Journal of Computer and Creative Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC-ND).

การอ้างอิง:
สรเดช เชาวินัย, นิติเศรษฐ์ หมวดทองอ่อน, และ อภิรดา จิตจริง. (2569). การเรียนรู้ของเครื่องโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบกระจายย้อนกลับชนิดหน่วงเวลาเพื่อระบุตำแหน่งปัญหาลูปในเครือข่ายสวิตช์เลเยอร์ 2. *วารสารคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสร้างสรรค์, 4*(2), e4181. https://doi.org/10.65205/jcct.2026.e4181

(Research Article)

1. บทนำ (Introduction)

ปัจจุบันมีการนำเครือข่ายคอมพิวเตอร์ มาประยุกต์ใช้ในองค์กรอย่างแพร่หลายเนื่องจากช่วยให้การแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์เป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้เครือข่ายฯ เกิดการขยายตัวอย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตาม หากเกิดความขัดข้องขึ้นในเครือข่ายฯ ย่อมส่งผลกระทบต่อการดำเนินงาน อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ โดยเฉพาะปัญหาการเกิดลูป (Network Loop) ซึ่งสร้างความซ้ำซ้อนของเส้นทางในการส่งข้อมูลไปยังหมายเลขแมคแอดเดรส (MAC Address) ภายในเครือข่ายฯ ปริมาณข้อมูลที่เพิ่มขึ้นทวีคูณนี้จะก่อให้เกิดภาวะพายุบรอดคาสต์ (Broadcast Storm) จนเครือข่ายฯ ไม่สามารถให้บริการได้ แม้ว่าโดยทั่วไปอุปกรณ์สวิตช์เลเยอร์ 2 (Layer 2 Switch) ประเภทบริหารจัดการได้ (Managed Switch) ที่ใช้ในเครือข่ายฯ จะมีกลไกป้องกันปัญหานี้ผ่านโพรโทคอล STP (Spanning Tree Protocol) เพื่อปิดกั้นการวนซ้ำของข้อมูลแล้วก็ตาม (Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2004) ทว่าในทางปฏิบัติ จากข้อจำกัดด้านงบประมาณเนื่องจากอุปกรณ์ประเภทดังกล่าวมีราคาสูง ประกอบกับความต้องการเชื่อมต่อ คอมพิวเตอร์เข้าสู่เครือข่ายฯ มีจำนวนเพิ่มขึ้น จึงมักมีการนำอุปกรณ์สวิตช์เลเยอร์ 2 ประเภทที่ไม่สามารถบริหารจัดการได้ (Unmanaged Switch) ซึ่งไม่รองรับโพรโทคอล STP มาใช้ในการขยายเครือข่ายฯ เพิ่มเติม ส่งผลให้เมื่อเกิดปัญหาลูปขึ้น ณ อุปกรณ์กลุ่มนี้เป็นเหตุให้ปริมาณการจราจรของข้อมูลจำนวนมหาศาลจะหมุนเวียน และแพร่กระจายไปทั่วทั้งเครือข่ายฯ อย่างไร้ทิศทางซึ่งส่งผลกระทบให้ประสิทธิภาพการทำงานของเครือข่ายฯ ในภาพรวมลดลงและหยุดชะงักลงในที่สุด

การแก้ไขปัญหาการเกิดลูปที่เกิดขึ้นภายในเครือข่ายฯ จำเป็นต้องสืบค้นอย่างเร่งด่วนเพื่อระบุตำแหน่งของอุปกรณ์ที่เกิดความผิดปกติจากนั้นจึงดำเนินการตัดวงจร และแก้ไขปัญหาที่ต้นเหตุ อย่างไรก็ตาม กระบวนการตรวจสอบเพื่อระบุตำแหน่งดังกล่าวในปัจจุบันยังคงมีข้อจำกัด และอุปสรรคสำคัญเนื่องจากต้องอาศัยบุคลากรที่มีทักษะความเชี่ยวชาญขั้นสูงตลอดจนต้องใช้ระยะเวลาค่อนข้างนานในการตรวจค้นหา ยิ่งในเครือข่ายที่มีขนาดใหญ่และซับซ้อน หรือมีการผสมผสานอุปกรณ์ที่หลากหลายการตรวจเช็กทางกายภาพ และการวิเคราะห์การจราจรของข้อมูลยิ่งทวีความยากลำบากมากขึ้น ส่งผลให้ระยะเวลาในการกู้คืนระบบยาวนานขึ้นตามไปด้วย ด้วยเหตุนี้การพัฒนาหรือนำเทคโนโลยีที่ช่วยวิเคราะห์ และพยากรณ์ตำแหน่งการเกิดปัญหาลูปในระบบเครือข่ายฯ จึงถือเป็นแนวทางสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพ และลดความเสียหายให้แก่องค์กร

ในการตรวจสอบตำแหน่งการเกิดปัญหาในเครือข่ายฯ มีงานวิจัย Detection of Broadcast Storms in Local Area Networks (Pešović et al., 2024) ใช้แนวทางตรวจจับปรากฏการณ์ Broadcast Storms ในเครือข่ายท้องถิ่น (LAN) โดยระบุออกมาเป็นหมายเลข MAC Address ที่เกิดปัญหา ข้อมูลที่ใช้สำหรับการป้อนเข้าได้จาก 1) MAC Address ของโหนดต้นทาง 2) จำนวนแพ็กเก็ต (TX Packets) ที่แต่ละโหนดส่งออกไป และ 3) ปริมาณข้อมูลในหน่วยไบต์ (TX Bytes) ที่แต่ละโหนดส่งออกไป ใช้การเรียนรู้ของเครื่องแบบ Agglomerative Hierarchical Clustering ในการจัดกลุ่มข้อมูลปกติ และข้อมูลที่ผิดปกติ ซึ่งการระบุตำแหน่งความผิดปกติในเครือข่ายยังไม่สามารถระบุถึงตำแหน่งพอร์ตของอุปกรณ์ที่เกิดปัญหาได้

งานวิจัยฉบับนี้ได้นำเสนอการประยุกต์ใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) โดยอาศัยสถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กระจายย้อนกลับชนิดหน่วงเวลา (Time-Lagged Backpropagation Neural Network: TLBPNN) เพื่อแก้ไขปัญหาการเกิดลูปในระดับพอร์ตเชื่อมต่อ แนวทางดังกล่าวมีประโยชน์อย่างยิ่งในเชิงปฏิบัติสำหรับเจ้าหน้าที่ดูแลระบบเครือข่าย เนื่องจากช่วยลดระยะเวลาในการกู้คืนระบบ (Recovery Time) และเพิ่มความมั่นคงปลอดภัยให้แก่ระบบเครือข่ายขององค์กรที่มีข้อจำกัดด้านงบประมาณ

นอกจากนี้ งานวิจัยยังได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำนายกับแบบจำลองอีก 4 รูปแบบ ได้แก่ ต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree: DT) ไนอีฟเบย์ (Naïve Bayes: NB) ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine: SVM) และโครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไปข้างหน้าและแพร่กระจายย้อนกลับ (Feedforward Backpropagation Neural Network: FFBPNN) ทั้งนี้ การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองถูกวิเคราะห์ผ่านเมทริกซ์ความสับสน (Confusion Matrix) โดยพิจารณาจากตัวชี้วัดเชิงสถิติ ประกอบด้วย ค่าความถูกต้อง (Accuracy) ค่าความแม่นยำ (Precision) ค่าความครอบคลุม (Recall) ค่าประสิทธิภาพโดยรวม (F1-Score) และค่าพื้นที่ใต้เส้นโค้ง ROC (AUC)

(Research Article)

2. วัตถุประสงค์งานวิจัย (Research Objectives)

1. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ปรากฏการณ์ของการเกิดปัญหาลูปในเครือข่ายคอมพิวเตอร์ เพื่อทำความเข้าใจถึงรูปแบบ และผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อประสิทธิภาพของเครือข่ายคอมพิวเตอร์

2. เพื่อพัฒนาแบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่องสำหรับใช้ในการระบุตำแหน่งการเกิดปัญหาลูปในเครือข่ายคอมพิวเตอร์

3. เพื่อประเมินและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น

3. ทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)

3.1 ปัญหาและภัยคุกคามในเครือข่ายคอมพิวเตอร์

เครือข่ายคอมพิวเตอร์ถือเป็นโครงสร้างพื้นฐานที่มีความสำคัญต่อการขับเคลื่อนสารสนเทศในองค์กร แต่การขยายตัวของระบบที่มีขนาดใหญ่และเพิ่มความซับซ้อน ส่งผลให้การดำเนินงานรักษาประสิทธิภาพและการป้องกันการหยุดชะงักของการบริการ (Service Downtime) กลายเป็นประเด็นท้าทายสำคัญในการบริหารจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศ จากการประมวลวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง สามารถจำแนกข้อบกพร่องและอุปสรรคที่เกิดขึ้นในระบบเครือข่ายออกเป็น 3 ประเด็นหลัก ได้แก่ ปัญหาด้านประสิทธิภาพการดำเนินงาน ปัญหาเชิงโครงสร้างสถาปัตยกรรม การกำหนดค่าอุปกรณ์เครือข่าย และปัญหาด้านภัยคุกคามความมั่นคงปลอดภัยทางไซเบอร์

1. ข้อบกพร่องพื้นฐานที่ส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพของระบบเครือข่ายโดยตรงมักเกี่ยวเนื่องกับความเสื่อมถอยด้านสมรรถนะ (Performance Degradation) ซึ่งสามารถประเมินและตรวจวัดผ่านดัชนีชี้วัดคุณภาพบริการ (Quality of Service: QoS) ที่สำคัญ ได้แก่ ความหน่วงเวลา (Latency) ความผันผวนของความหน่วงเวลา (Jitter) อัตราการสูญหายของแพ็กเก็ตข้อมูล (Packet Loss) ความกว้างของช่องทางการสื่อสาร (Bandwidth Capacity) ตลอดจนปริมาณการใช้ทรัพยากรหน่วยประมวลผลกลางของอุปกรณ์เครือข่าย (CPU Utilization) ซึ่งตัวชี้วัดเหล่านี้สอดคล้องกับพฤติกรรมความผิดปกติของระบบในสภาวะวิกฤต

2. ความบกพร่องเชิงโครงสร้างในสถาปัตยกรรมเครือข่ายมักสร้างผลกระทบรุนแรง โดยเฉพาะปัญหาลูปในระดับเลเยอร์ 2 ซึ่งงานวิจัยของ Pešović et al. (2024) ชี้ให้เห็นว่าเกิดจากการมีเส้นทางเชื่อมต่อซ้ำซ้อนโดยปราศจากกลไกควบคุม ปัญหาดังกล่าวมักทวีความรุนแรงเมื่อมีการนำอุปกรณ์สวิตช์ที่ไม่สามารถบริหารจัดการได้ (Unmanaged Switch) ซึ่งไม่รองรับโพรโทคอล STP มาต่อพ่วงเพื่อขยายเครือข่าย เมื่อเกิดการเชื่อมต่อวนซ้ำที่อุปกรณ์ปลายทางเหล่านี้ ข้อจำกัดของ Ethernet Frame ที่ไม่มีกลไกจำกัดอายุแพ็กเก็ต (TTL) จะส่งผลให้ข้อมูลถูกส่งวนซ้ำและทะลักกลับเข้าสู่เครือข่ายหลักอย่างควบคุมไม่ได้ จนลุกลามเป็นพายุบรอดคาสต์ (Broadcast Storms) สภาวะนี้ทำให้ตาราง MAC Address ขาดความเสถียรและสิ้นเปลืองทรัพยากรการประมวลผลจนเครือข่ายล่มสลายทั้งระบบ การป้องกันจึงต้องอาศัยการกำหนดค่าโพรโทคอล เช่น STP, RSTP หรือ MSTP บนอุปกรณ์หลัก ควบคู่กับการสกัดกั้นผลกระทบจากอุปกรณ์ที่ไม่มีระบบจัดการด้วยการตั้งค่า BPDU Guard, Loopback Detection (LBD) และ Storm Control ที่พอร์ตปลายทาง นอกจากนี้ การประยุกต์ใช้โมเดลโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Networks) เข้ามาช่วยวิเคราะห์และระบุตำแหน่งการเกิดลูป (Loop Localization) ยังเป็นการยกระดับการแก้ปัญหาเชิงรุกที่ช่วยจำกัดวงความเสียหายและลดระยะเวลาการหยุดชะงักของเครือข่ายได้อย่างแม่นยำ

3. นอกเหนือจากข้อบกพร่องทางเทคนิคแล้ว เครือข่ายฯ ในปัจจุบันยังตกเป็นเป้าหมายของภัยคุกคามทางไซเบอร์ที่มีความซับซ้อนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เช่น การโจมตีเพื่อปฏิเสธการให้บริการ (Denial of Service: DoS และ Distributed DoS: DDoS) ซึ่งเป็นการจงใจส่งปริมาณข้อมูลขยะจำนวนมหาศาล เพื่อขับเคลื่อนให้เกิดภาวะทรัพยากรหรือความกว้างช่องทางการสื่อสารของระบบเป้าหมายหมดสิ้นไป จนไม่สามารถให้บริการแก่ผู้ใช้ตามปกติได้ นอกจากนี้ ภัยคุกคามในรูปแบบอื่นยังครอบคลุมถึง การสแกนพอร์ต (Port Scans) เพื่อสำรวจหาช่องโหว่ของเครือข่าย การสุ่มเดารหัสผ่าน (Brute Force Attacks) การใช้มัลแวร์เพื่อเข้าควบคุมอุปกรณ์และจัดตั้งเป็นเครือข่ายบอตเน็ต (Botnet Attacks) การโจมตีช่องโหว่บนเว็บแอปพลิเคชัน (Web-based Attacks) เช่น การแทรกโค้ดคำสั่งแปลกปลอม (SQL Injection) และการแทรกซึมเข้าสู่ระบบเพื่อโจรกรรมข้อมูลสำคัญ (Infiltration and Heartbleed)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลวรรณกรรมข้างต้น ชี้ให้เห็นว่าการบูรณาการความรู้เกี่ยวกับดัชนีชี้วัดสมรรถนะ (เช่น อัตราการใช้ทรัพยากรหน่วยประมวลผลกลางของอุปกรณ์) ร่วมกับลักษณะทางพฤติกรรมของข้อมูลในระบบ เช่น อัตราการเพิ่มขึ้นของ Broadcast Storms ตามเวลา ถือเป็นข้อมูลที่มีนัยสำคัญ ซึ่งไม่เพียงแต่ช่วยสะท้อนพฤติกรรมความผิดปกติของระบบเครือข่ายในแต่ละมิติเท่านั้น แต่ยังสามารถนำมาใช้พัฒนาเป็นตัวแบบหรือกลไกในการตรวจวัดและระบุตำแหน่งต้นตอของปัญหาในระบบเครือข่ายฯ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3.2 การพยากรณ์ข้อมูลอนุกรมเวลา

การพยากรณ์ข้อมูลอนุกรมเวลาเป็นกระบวนการสำคัญที่มีการประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายในหลากหลายสาขาวิชา โดยขั้นตอนที่มีนัยสำคัญต่อประสิทธิภาพของแบบจำลองคือ การกำหนดจำนวนข้อมูลในอดีตที่เหมาะสม หรือค่าความหน่วงเวลา (Time-Lag) เพื่อใช้เป็นข้อมูลนำเข้า ทั้งนี้ หากกำหนดค่าความหน่วงเวลาน้อยเกินไป อาจส่งผลให้แบบจำลองมีข้อมูลไม่เพียงพอต่อการเรียนรู้แนวโน้มของข้อมูล แต่หากกำหนดค่าดังกล่าวมากเกินไป จะส่งผลให้แบบจำลองมีความซับซ้อนเกินความจำเป็นประสิทธิภาพลดลง และใช้เวลาในการประมวลผลสูงขึ้น (Lim & Zohren, 2021)

โครงข่ายประสาทเทียมแบบหน่วงเวลา (Time-Lagged Neural Network) ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อจัดการกับข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา โดยอาศัยหลักการนำข้อมูลในอดีตมาวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลปัจจุบันผ่านกลไกแถวคอยหน่วงเวลา (Tapped-Delay Line) (Hewamalage et al., 2021) สถาปัตยกรรมดังกล่าวได้รับการพัฒนาต่อยอดเป็นโครงข่ายประสาทเทียมแบบกระจายย้อนกลับชนิดหน่วงเวลา (Time-Lagged Backpropagation Neural Network) ซึ่งมีการบูรณาการหน่วยความจำแบบแกมมา (Gamma Memory) เข้าในแบบจำลอง โครงสร้างนี้ช่วยในการจัดเก็บประวัติการกระตุ้น (Activation History) ส่งผลให้แบบจำลองสามารถเรียนรู้ และตอบสนองต่อระบบที่มีความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเชิงเส้น (Non-Linear) ของข้อมูลที่ซับซ้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Waqas et al., 2023)

การพัฒนาแบบจำลองโดยพิจารณาถึงความหน่วงเวลาหรือโครงข่ายประสาทเทียมแบบหน่วงเวลา ถือเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยเพิ่มขีดความสามารถของระบบในการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีรูปแบบของเวลาเข้ามาเกี่ยวข้อง การผสานสถาปัตยกรรมแบบ Tapped-Delay เข้ากับเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) เพื่อคัดเลือกค่าความหน่วงเวลา จะเป็นส่วนสำคัญในการขับเคลื่อนให้การพยากรณ์มีความแม่นยำสูง และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานวิจัยเชิงลึกได้อย่างน่าเชื่อถือ (Surakhi et al., 2021)

3.3 การประเมินประสิทธิภาพในการทำนายผล

ในการพัฒนาระบบปัญญาประดิษฐ์ และการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองถือเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง โดยเฉพาะในโมเดลประเภทการจัดหมวดหมู่ (Classification Models) เครื่องมือพื้นฐานที่ได้รับการยอมรับและนำมาใช้อย่างแพร่หลายคือ Confusion Matrix ควบคู่ไปกับการวิเคราะห์กราฟ ROC เนื่องจากสามารถให้ภาพรวมที่ครอบคลุมว่าแบบจำลองสามารถทำนายข้อมูลในแต่ละคลาสได้ดีเพียงใด และมีความเสถียรมากน้อยแค่ไหน (Luque et al., 2019)

องค์ประกอบของ Confusion Matrix สำหรับปัญหาการจำแนกประเภทแบบสองกลุ่ม (Binary Classification) จะทำการแจกแจงผลการทำนายออกเป็น 4 ส่วนหลัก ประกอบด้วย ผลลบจริง (True Negatives: TN) ผลบวกลวง (False Positives: FP) ผลลบลวง (False Negatives: FN) และผลบวกจริง (True Positives: TP) ซึ่งข้อมูลเชิงลึกจาก Confusion Matrix นี้ ไม่เพียงแต่แสดงความถูกต้องของการทำนายในแต่ละมิติเท่านั้น แต่ยังถูกนำไปใช้เป็นรากฐานสำคัญในการคำนวณมาตรวัดประสิทธิภาพ (Evaluation Metrics) อื่น ๆ ที่ช่วยประเมินโมเดลได้อย่างครอบคลุม ไม่ว่าจะเป็นค่า Accuracy, Precision, Recall และ F1-Score (Luque et al., 2019)

สำหรับปัญหาการจำแนกประเภทที่มีผลลัพธ์มากกว่า 2 กลุ่ม หรือการจัดหมวดหมู่แบบหลายคลาส (Multi-class Classification) โครงสร้างของ Confusion Matrix จะถูกขยายขนาดเป็นเมทริกซ์ขนาด N X N (โดย N คือจำนวนคลาสทั้งหมด) การคำนวณมาตรวัดประสิทธิภาพ เช่น Precision, Recall และ F1-Score สำหรับโมเดลลักษณะนี้ จะต้องอาศัยเทคนิคการหาค่าเฉลี่ย (Averaging Techniques) เพื่อสรุปผลรวมของทุกคลาสเข้าด้วยกัน เทคนิคที่นิยมใช้ ได้แก่ การหาค่าเฉลี่ยแบบมหภาค (Macro-Average) ซึ่งให้ความสำคัญกับทุกคลาสอย่างเท่าเทียมกันโดยไม่นำขนาดของคลาสมาพิจารณา และการหาค่าเฉลี่ยแบบจุลภาค (Micro-Average) ซึ่งจะนำจำนวนข้อมูลของแต่ละคลาสมาเป็นน้ำหนักในการ

คำนวณ ทำให้ได้ผลลัพธ์ที่สะท้อนความเป็นจริงได้ดีในกรณีที่ข้อมูลแต่ละคลาสมีความไม่สมดุล (Imbalanced Data) (Grandini et al., 2020)

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพด้วยกราฟ ROC และพื้นที่ใต้โค้ง (AUC) นอกเหนือจากการพิจารณาค่าทางสถิติจาก Confusion Matrix แล้ว การประเมินความสามารถของอัลกอริทึมยังสามารถทำได้อย่างครอบคลุมมากขึ้นผ่านการวิเคราะห์กราฟ ROC ซึ่งเป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราผลบวกลวง (False Positive Rate หรือ 1 - Specificity) บนแกนนอน และค่าความไว (Sensitivity) บนแกนตั้ง โดยในกรณีของ โมเดลแบบหลายคลาส (Multi-class) จะมีการประยุกต์ใช้เทคนิคเชิงกลยุทธ์ เช่น One-vs-Rest (OvR) เพื่อพิจารณาและสร้างกราฟของทีละคลาสเทียบกับคลาสที่เหลือ การประเมินประสิทธิภาพจากกราฟ ROC จะพิจารณาจากขนาดของ “พื้นที่ใต้โค้ง” (Area Under the Curve: AUC) เป็นหลัก โดยหากค่าพื้นที่ใต้โค้งมีขนาดใหญ่ จะเป็นตัวบ่งชี้ที่ชัดเจนว่าอัลกอริทึมหรือโมเดลนั้นมีประสิทธิภาพโดยรวมที่ดีกว่า (Ahmad et al., 2021)

การประเมินประสิทธิภาพโดยใช้ Confusion Matrix เพื่อวิเคราะห์ความถูกต้องในระดับคลาส ร่วมกับการใช้กราฟ ROC และพิจารณาค่าพื้นที่ใต้โค้ง (AUC) เพื่อดูความเสถียรและความทนทานของโมเดล ถือเป็นแนวทางที่สมบูรณ์และเติมเต็มซึ่งกันและกัน เครื่องมือเหล่านี้ช่วยให้สามารถมองเห็นภาพรวมของความผิดพลาด ตัดสินใจเลือกอัลกอริทึมที่เหมาะสมที่สุด และนำไปสู่การพัฒนาระบบเครือข่ายหรือระบบวิเคราะห์ข้อมูลที่มีความแม่นยำและน่าเชื่อถือสูงสุดสำหรับการใช้งานจริง (Kilincer et al., 2021)

4. กรอบแนวคิดงานวิจัย (Conceptual Framework)

กรอบแนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยโดยรวมดัง Figure 1.

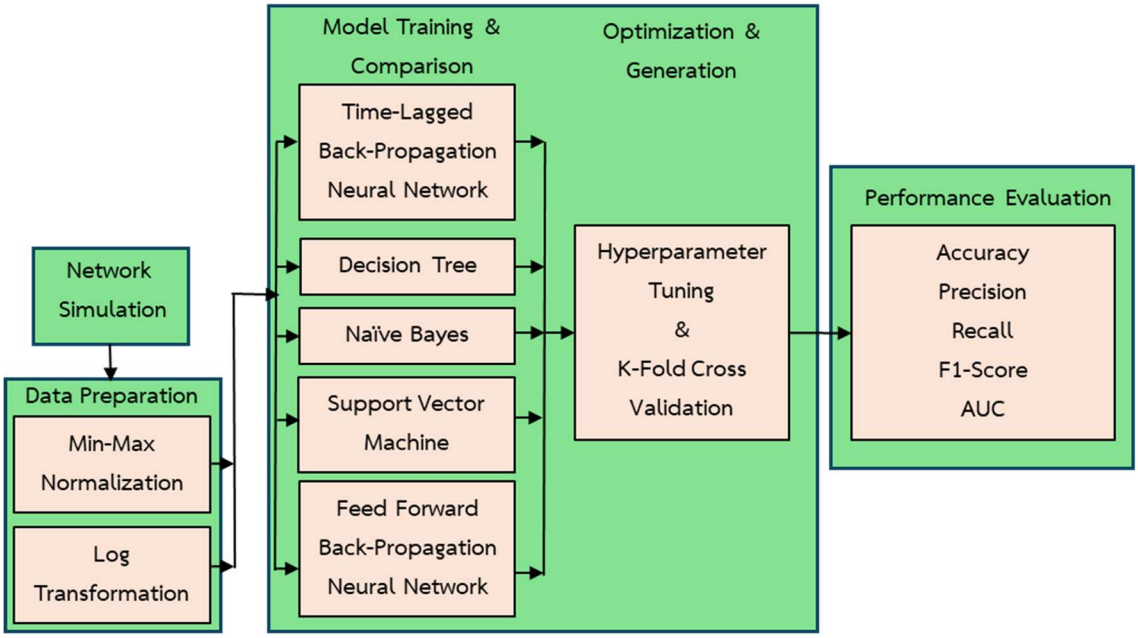


Figure 1. Overall Conceptual Framework for Conducting Research

จาก Figure 1. งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาปัญหาการเกิดปัญหาลูปในเครือข่ายคอมพิวเตอร์ รวมทั้งพัฒนาแบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่องเพื่อระบุตำแหน่งการเกิดปัญหาลูปในเครือข่ายฯ อย่างเป็นระบบ กระบวนการเริ่มต้นจากการสร้างแบบจำลองสถานการณ์เครือข่าย (Network Simulation) เพื่อจัดเก็บและรวบรวมข้อมูลพฤติกรรมของข้อมูลในเครือข่ายฯ จากนั้นข้อมูลที่จัดเก็บได้จะถูกนำเข้าสู่กระบวนการเตรียมข้อมูล (Data Preprocessing) โดยการปรับช่วงข้อมูล

ให้เหมาะสมผ่านเทคนิคการแปลงข้อมูล Min-Max Normalization ร่วมกับการแปลงข้อมูลด้วยฟังก์ชันลอการิทึม (Log Transformation) เพื่อลดการกระจายตัวและความเอนเอียงของชุดข้อมูลก่อนนำไปประมวลผลร่วมกับแบบจำลอง

ในส่วนของการดำเนินงานหลัก ข้อมูลที่ผ่านการปรับสภาพแล้วจะถูกนำไปทดสอบกับแบบจำลองหลักที่นำเสนอ คือ TLBPNN พร้อมทั้งทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับแบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่องอีก 4 ประเภท ได้แก่ DT, NB, SVM และ FFBPNN ทั้งนี้ เพื่อเพิ่มความแม่นยำและความน่าเชื่อถือสูงสุดในการพยากรณ์ งานวิจัยนี้จึงได้ประเมินขีดความสามารถในการสรุปผลความรู้บนชุดข้อมูลที่ไม่เคยพบเห็น (Unseen Data) ควบคู่ไปกับการป้องกันปัญหาการเรียนรู้เกิน (Overfitting) และการเรียนรู้น้อยเกินไป (Underfitting) ด้วยเทคนิคการทวนสอบไขว้แบบเคโฟลด์ (K-Fold Cross-Validation) ร่วมกับการปรับแต่งค่าไฮเปอร์พารามิเตอร์ (Hyperparameter Tuning) ของแต่ละแบบจำลองให้มีความเหมาะสมที่สุด

สำหรับขั้นตอนสุดท้าย ประเมินประสิทธิภาพการจำแนกประเภทของแต่ละแบบจำลอง จะถูกวัดผลเปรียบเทียบผ่านดัชนีชี้วัด ได้แก่ Accuracy, Precision, Recall, F1-Score และ AUC

5. วิธีดำเนินงานวิจัย (Research Methodology)

งานวิจัยฉบับนี้เป็นงานวิจัยและพัฒนาที่มีวัตถุประสงค์เพื่อหาแนวทางลดระยะเวลาในการตรวจซ่อมและแก้ไขปัญหาลูปในเครือข่ายคอมพิวเตอร์ โครงสร้างเครือข่ายในปัจจุบันโดยทั่วไปอาศัยอุปกรณ์สวิตช์ระดับเลเยอร์ 2 แบบบริหารจัดการได้ ซึ่งรองรับโพรโทคอล STP ในการป้องกันปัญหาลูป อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติมักมีการขยายเครือข่ายโดยใช้อุปกรณ์สวิตช์ระดับเลเยอร์ 2 แบบไม่สามารถบริหารจัดการได้ เนื่องจากมีต้นทุนที่ต่ำกว่า อุปกรณ์ประเภทนี้มีข้อจำกัดคือไม่รองรับโพรโทคอล STP ทำให้เมื่อเกิดปัญหาการวนลูป ปริมาณข้อมูลมหาศาลจะแพร่กระจายและส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของเครือข่ายโดยรวม จากปัญหาดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการพัฒนาแบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่อง ที่มีประสิทธิภาพสูง เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการทำนายและระบุตำแหน่งการเกิดปัญหาลูปในเครือข่ายคอมพิวเตอร์ได้อย่างแม่นยำ

5.1 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ๆ ตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน ดังนี้

1. อุปกรณ์สำหรับจำลองระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์
   1) อุปกรณ์สวิตช์ระดับเลเยอร์ 2 ชนิดบริหารจัดการได้ ตราอักษร Cisco รุ่น Catalyst 2960 จำนวน 3 ชุด
   2) อุปกรณ์สวิตช์ระดับเลเยอร์ 2 ชนิดไม่สามารถบริหารจัดการได้ ตราอักษร TP-Link จำนวน 1 ชุด
2. เครื่องมือสำหรับการจัดเก็บและประมวลผลข้อมูลเครือข่าย

1) อุปกรณ์คอมพิวเตอร์จัดเก็บข้อมูลสมรรถนะเครือข่ายและจัดการข้อมูล ได้แก่ เครื่องคอมพิวเตอร์พกพา (Laptop) ตราอักษร Lenovo รุ่น ThinkPad T480 ขนาดหน่วยความจำชั่วคราว (RAM) 16 GB ระบบปฏิบัติการ Windows 11 Pro ติดตั้งซอฟต์แวร์ PRTG Network Monitor สำหรับทำหน้าที่จัดเก็บข้อมูลพฤติกรรมและการทำงานของอุปกรณ์เครือข่าย ร่วมกับการใช้งานซอฟต์แวร์ Microsoft Excel สำหรับการบริหารจัดการ การจัดเตรียมและการปรับแต่งชุดข้อมูล จำนวน 1 เครื่อง

2) อุปกรณ์คอมพิวเตอร์จำลองการใช้งานในเครือข่าย ได้แก่ เครื่องคอมพิวเตอร์ตราอักษร HP รุ่น P3330 ขนาดหน่วยความจำชั่วคราว (RAM) 8 GB ระบบปฏิบัติการ Windows 10 Pro จำนวน 4 เครื่อง

5.2 ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย

กระบวนการดำเนินงานวิจัยประกอบด้วย 8 ขั้นตอนหลัก ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. การจำลองเครือข่ายคอมพิวเตอร์ งานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีการจำลองเครือข่ายคอมพิวเตอร์แทนการทดสอบในสภาพแวดล้อมจริง โดยทำการกำหนดค่าการทำงานของอุปกรณ์เครือข่ายด้วยการจัดสรรเครือข่ายท้องถิ่นเสมือน (VLAN) ออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ VLAN 200 สำหรับการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ และ VLAN 100 สำหรับเป็นช่องสัญญาณในการจัดเก็บข้อมูลการทำงานของอุปกรณ์เครือข่าย ทั้งนี้ ในอุปกรณ์แต่ละตัวได้กำหนดให้พอร์ตหมายเลข 1 เป็นสมาชิกของ VLAN 100 กำหนดให้พอร์ตหมายเลข 2 ถึง 6 ในอุปกรณ์สวิตช์เลเยอร์ 2 ชนิดบริหารจัดการได้ ตัวที่ 1 เป็น

สมาชิกของ VLAN 200 และกำหนดให้พอร์ตหมายเลข 2 ถึง 5 ในอุปกรณ์สวิตช์เลเยอร์ 2 ชนิดบริหารจัดการได้ ตัวที่ 2 และ 3 เป็นสมาชิกของ VLAN 200 ดัง Figure 2.

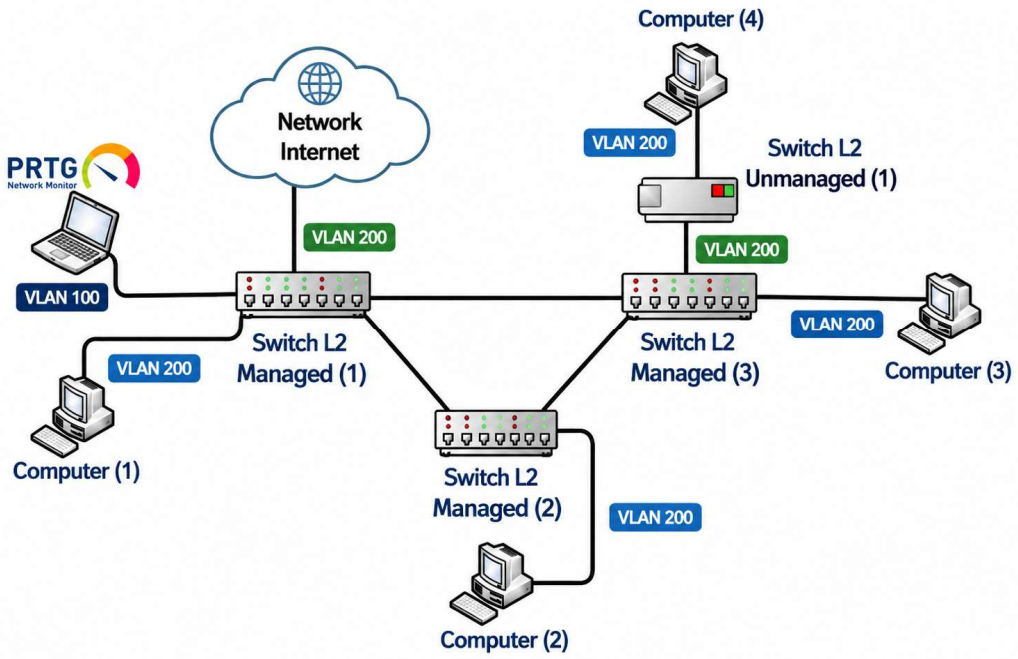


Figure 2. Network Simulation

2. การจำลองสถานการณ์การเกิดปัญหาลูป (Loop Simulation) มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างข้อมูลจราจรบนเครือข่าย (Network Traffic) ที่สะท้อนพฤติกรรมการทำงานของอุปกรณ์เมื่อเกิดสภาวะลูป โดยใช้ซอฟต์แวร์ PRTG Network Monitor เป็นเครื่องมือในการจัดเก็บและรวบรวมข้อมูลดังกล่าว ทั้งนี้ การทดสอบจำลองสถานการณ์ได้ดำเนินการครอบคลุมทุกพอร์ตที่ระบุให้เป็นสมาชิกของ VLAN 200 การจัดเตรียมสภาพแวดล้อมการทดลองดำเนินการโดยเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์เข้ากับอุปกรณ์สวิตช์เลเยอร์ 2 ทุกตัวในเครือข่ายจำลอง พร้อมกำหนดเส้นทางออกอินเทอร์เน็ตผ่านพอร์ตหมายเลข 6 ของสวิตช์บริหารจัดการได้ตัวที่ 1 แสดงใน Figure 2. สำหรับการจำลองปัญหาลูป (Loop Simulation) ผู้วิจัยดำเนินการโดยเชื่อมต่อสวิตช์เลเยอร์ 2 แบบไม่สามารถบริหารจัดการได้เข้ากับพอร์ตเป้าหมาย จากนั้นกระตุ้นการจราจรเครือข่ายผ่านการเข้าถึงเว็บไซต์ และบันทึกข้อมูลทราฟฟิกในสภาวะปกติ (Non-Loop Condition) ด้วยซอฟต์แวร์ PRTG Network Monitor ตามระยะเวลาที่กำหนด ลำดับถัดมา ผู้วิจัยได้สร้างสภาวะลูปโดยเชื่อมต่อพอร์ต 3 และ 4 ของสวิตช์แบบไม่สามารถบริหารจัดการได้เข้าด้วยกัน เพื่อให้ลูปแพร่กระจายทั่วเครือข่าย และทำการบันทึกข้อมูลทราฟฟิกในสภาวะเกิดลูป (Loop Condition) ด้วยซอฟต์แวร์และกรอบเวลาเดิม กระบวนการทดสอบนี้จะถูกทำซ้ำโดยหมุนเวียนพอร์ตเป้าหมายจนครอบคลุมทุกพอร์ตที่เป็นสมาชิกของ VLAN 200 ทั้งนี้ หากพอร์ตเป้าหมายใดมีคอมพิวเตอร์เชื่อมต่ออยู่เดิม จะทำการย้ายอุปกรณ์ดังกล่าวไปยังพอร์ตว่างอื่นบนสวิตช์ตัวเดียวกันก่อนเริ่มการทดสอบเสมอ เพื่อควบคุมตัวแปรและรักษาความสมบูรณ์ของสถาปัตยกรรมเครือข่าย

3. การจัดเก็บและรวบรวมข้อมูลหลังการจำลองสถานการณ์ ผู้วิจัยได้รวบรวมสถิติปริมาณการจราจรเครือข่ายและอัตราการใช้ทรัพยากรหน่วยประมวลผลกลาง (CPU Utilization) ของสวิตช์เลเยอร์ 2 ทั้งในสภาวะปกติและสภาวะเกิดลูปแสดงใน Table 1. กระบวนการนี้ใช้ซอฟต์แวร์ PRTG Network Monitor ตรวจวัดสถานะของแต่ละพอร์ตด้วยความถี่ (Sampling Interval) ทุก 30 วินาที ข้อมูลเชิงปริมาณทั้งหมดที่รวบรวมได้จากทั้งสองสภาวะเครือข่ายจะถูกจัดเก็บและส่งออกในรูปแบบไฟล์ .CSV เพื่อใช้เป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับการประมวลผลและวิเคราะห์ผลในขั้นตอนถัดไปอย่างเป็นระบบ

Table 1. Data Used for Analysis

Number	Data Name	Unit
1	Unicast Input	Bit/s
2	Unicast Output	Bit/s
3	Multicast Input	Bit/s
4	Multicast Output	Bit/s
5	Broadcast Input	Bit/s
6	Broadcast Output	Bit/s
7	CPU Utilization	Percent

4. การปรับแต่งข้อมูล เนื่องจากชุดข้อมูลที่จัดเก็บนั้นมีช่วงค่าที่ไม่เหมาะสมสำหรับป้อนเข้าสู่แบบจำลอง ซึ่งโดยทั่วไปแบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่องจะตอบสนองได้ดีกับข้อมูลที่มีช่วงค่า [0, 1] หรือ [-1, 1] งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้เทคนิค Min-Max Normalization ในการปรับช่วงข้อมูลให้อยู่ระหว่าง [0, 1] ทว่าจากการตรวจสอบพบว่า ข้อมูลที่รวบรวมได้ส่วนใหญ่มีความหนาแน่นในสภาวะค่าต่ำ (เข้าใกล้ 0) มากกว่าสภาวะค่าสูง (เข้าใกล้ 1) ส่งผลให้ชุดข้อมูลเกิดความเอนเอียง (Skewed Data) ผู้วิจัยจึงได้ประยุกต์ใช้เทคนิค Log Transformation ร่วมด้วย เพื่อลดความเอนเอียงของชุดข้อมูล

ข้อมูลที่ผ่านการปรับช่วงข้อมูลให้อยู่ในช่วงระหว่าง [0, 1] และแก้ไขการเอนเอียงข้อมูลเรียบร้อยแล้ว สามารถใช้ป้อนเข้าแบบจำลอง DT, NB, SVM, FFBPNN ได้ แต่สำหรับแบบจำลอง TLBPNN นั้น ต้องทำการปรับแต่งเพิ่มเติมโดยใช้เทคนิคการหน่วงเวลาจากข้อมูลชุดเดียวกัน โดยกำหนดให้ข้อมูล ณ เวลาปัจจุบันเป็นคุณลักษณะที่ 1 (Feature 1) และข้อมูลที่ผ่านการหน่วงเวลาแล้วเป็นคุณลักษณะที่ 2 (Feature 2) ทั้งนี้ การปรับปรุงระยะเวลาในการหน่วง (Time-lag Adjustment) จะถูกดำเนินการเพื่อค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุดดัง Figure 3.

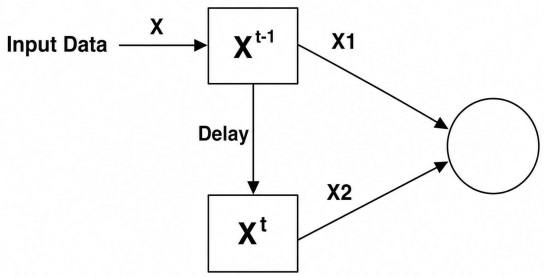


Figure 3. Prepare Data for Time-delay Model



Figure 4. Data for Time-Delay

กระบวนการเตรียมข้อมูลนำเข้าและการหน่วงเวลา (Time Lag) การเตรียมข้อมูลดำเนินการโดยป้อนข้อมูลปัจจุบันและข้อมูลที่ถูกหน่วงเวลาเข้าสู่แบบจำลองพร้อมกัน เพื่อเรียนรู้ความสัมพันธ์เชิงอนุกรมเวลาดังแสดงใน Figure 3. จากการทดสอบพบว่าการกำหนดค่าหน่วงเวลาที่ 6 ช่วงเวลา ให้ประสิทธิภาพการทำนายสูงสุด ส่งผลให้มิติข้อมูลนำเข้าเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าดังแสดงใน Figure 4. สำหรับปัญหาค่าสูญหายในช่วงเริ่มต้น (t-1 ถึง t-6) ได้รับการแก้ไขด้วยเทคนิคการแทนที่ข้อมูล (Data Imputation) ผ่านการสุ่มตัวอย่างเพื่อรักษาความสมบูรณ์ของชุดข้อมูลก่อนการประมวลผล

5. การแบ่งชุดข้อมูล (Data Partitioning) สำหรับฝึกสอนและทดสอบแบบจำลองใช้อัตราส่วน 80:20 จากข้อมูลรวม 350,000 ตัวอย่าง โดยแบ่งย่อยเป็น 5 ชุด ชุดละ 70,000 ตัวอย่าง ที่มีการควบคุมสัดส่วนคลาสละ 5,000 ตัวอย่างเท่ากันเพื่อแก้ปัญหาความไม่สมดุล (Data Imbalance) การจัดแบ่งนี้ดำเนินการโดยไม่สุ่มสลับลำดับข้อมูล (Without Data Shuffling) เพื่อรักษาสภาพความสัมพันธ์เชิงเวลา (Temporal Relationship) ซึ่งเป็นข้อกำหนดสำคัญในการประมวลผลชุดข้อมูลแบบหน่วงเวลา (Time-Delay Dataset)

6. การพัฒนาแบบจำลอง ผู้วิจัยเลือกใช้โปรแกรม Visual Studio Code เป็นเครื่องมือหลักในการพัฒนาแบบจำลอง โดยได้ดำเนินการสร้างแบบจำลองทั้งหมด 5 รูปแบบที่กล่าวมาแล้วด้วยภาษา Python

7. การปรับแต่งค่าไฮเปอร์พารามิเตอร์ กระบวนการปรับแต่งแบบจำลองดำเนินการผ่านการหาค่าไฮเปอร์พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด (Hyperparameter Optimization) โดยประยุกต์ใช้เทคนิคการทวนสอบไขว้แบบ 5 ส่วน (5-Fold Cross-Validation) ในการแบ่งและสลับหมุนเวียนชุดข้อมูลทดสอบ กระบวนการนี้ช่วยประกันประสิทธิภาพสูงสุดในการทำนายของแบบจำลอง ลดความเอนเอียง และสร้างความน่าเชื่อถือที่เป็นกลางทางสถิติ

8. การประเมินประสิทธิภาพการทำนาย เมื่อแบบจำลองได้รับการพัฒนาและปรับปรุงสมรรถนะเสร็จสิ้น จะถูกนำมาทดสอบประสิทธิภาพในการจำแนกประเภท โดยผลลัพธ์การทำนายจากแบบจำลองจะแสดงผลออกมาในรูปแบบของตัวดัชนีชี้ (Index) เพื่อระบุตำแหน่งพอร์ตของอุปกรณ์สื่อสารที่เกิดปัญหาลูปหรือไม่เกิดปัญหาลูปดัง Table 2.

Table 2. The Location of the Communication Device Port Experiencing the Loop Problem

Number	Index	Port Number
0	0	Port 2 Switch Number 1
1	1	Port 3 Switch Number 1
2	2	Port 4 Switch Number 1
3	3	Port 5 Switch Number 1
4	4	Port 6 Switch Number 1
5	5	Port 2 Switch Number 2
6	6	Port 3 Switch Number 2
7	7	Port 4 Switch Number 2
8	8	Port 5 Switch Number 2
9	9	Port 2 Switch Number 3
10	10	Port 3 Switch Number 3
11	11	Port 4 Switch Number 3
12	12	Port 5 Switch Number 3
13	13	No loop problem

6. ผลการวิจัย (Results)

6.1 ผลการศึกษาและวิเคราะห์ปรากฏการณ์ของการเกิดปัญหาลูปในเครือข่ายคอมพิวเตอร์

ปัญหาลูปในระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเครือข่าย LAN ที่ทำงานบนสวิตช์เลเยอร์ 2 เกิดจากสภาวะที่มีการเชื่อมต่ออุปกรณ์เครือข่ายเข้าด้วยกันในลักษณะที่เป็นวงแหวน (Ring Topology) ส่งผลให้ข้อมูลเกิดการไหลวนและทำซ้ำอย่างไม่มีที่สิ้นสุด นำไปสู่ภาวะเครือข่ายคับคั่งอย่างรุนแรง ซึ่งกลไกการเกิดปัญหาและผลกระทบมีดังนี้

(Research Article)

1. จากการวิเคราะห์ปัญหาบนเครือข่ายสวิตช์เลเยอร์ 2 สามารถสรุปกลไกและผลกระทบของปัญหาลูปได้ 5 ประการ ดังนี้

1) การขาดกลไกจำกัดอายุข้อมูล สวิตช์เลเยอร์ 2 ไม่มีกลไก Time-to-Live (TTL) สำหรับทำลายเฟรมข้อมูลเหมือนสวิตช์เลเยอร์ 3 ทำให้เฟรมที่อยู่ในลูปสามารถวิ่งวนในระบบได้อย่างไม่มีที่สิ้นสุด

2) การใช้อุปกรณ์ที่ไม่รองรับ STP การขยายเครือข่ายด้วยสวิตช์เลเยอร์ 2 แบบจัดการไม่ได้ ซึ่งไม่มีโพรโทคอล STP เพื่อป้องกันการวนซ้ำ เมื่อเกิดการเชื่อมต่อผิดพลาดจะทำให้ทราฟฟิกแพร่กระจายไปทั่วทั้งเครือข่าย

3) พายุบรอดแคสต์ (Broadcast Storm) การส่งข้อมูลแบบบรอดแคสต์ในลูปจะถูกส่งต่อวนซ้ำ ก่อให้เกิดปริมาณข้อมูลมหาศาลท่วมเครือข่ายและขัดขวางการสื่อสารปกติทั้งหมด

4) ความไม่เสถียรของตาราง MAC Address เฟรมที่วิ่งวนทำให้สวิตช์รับข้อมูลเดิมจากหลายพอร์ตสลับไปมา ตาราง MAC เกิดการอัปเดตซ้ำอย่างรวดเร็วจนสับสน ส่งผลให้การส่งข้อมูลแบบเจาะจง (Unicast) ล้มเหลว

5) การส่งเฟรมซ้ำซ้อน (Duplicate Frame) การคัดลอกและส่งข้อมูลวนซ้ำหลายครั้ง ทำให้สูญเสียแบนด์วิดท์และสิ้นเปลืองทรัพยากรการประมวลผลของสวิตช์และอุปกรณ์ปลายทางโดยเปล่าประโยชน์

. 2. ผลกระทบของปัญหาลูปต่อประสิทธิภาพเครือข่าย (Impact on Network Performance) ปัญหาลูปในเครือข่าย LAN ส่งผลกระทบรุนแรงและรวดเร็วต่อเสถียรภาพของระบบใน 4 ประการ ดังนี้

1) เครือข่ายล่มโดยสิ้นเชิง (Network Collapse) พายุบรอดแคสต์จะดึงทรัพยากรทั้งหมดไปใช้จนเต็มประสิทธิภาพ ทำให้การให้บริการหยุดชะงัก

2) ประสิทธิภาพลดลงอย่างรุนแรง (Poor Performance) ทราฟฟิกที่วนซ้ำจะแย่งชิงแบนด์วิดท์ ก่อให้เกิดความหน่วงสูง (High Latency) และลดความเร็วในการส่งข้อมูล

3) ภาระการประมวลผลเกินพิกัด (CPU Overload) สวิตช์ต้องประมวลผลเฟรมจำนวนมหาศาลและอัปเดตตารางเส้นทางตลอดเวลา ส่งผลให้ CPU Utilization พุ่งสูง เกิดความร้อนสะสม และบั่นทอนอายุการใช้งานฮาร์ดแวร์

4) ขาดความน่าเชื่อถือ (Unreliability) ระบบสูญเสียเสถียรภาพในการรับส่งข้อมูล ซึ่งกระทบต่อความต่อเนื่องของบริการไอทีและแอปพลิเคชันภายในองค์กรโดยตรง

6.2 ผลการพัฒนาแบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่องสำหรับใช้ในการระบุตำแหน่งการเกิดปัญหาลูปในเครือข่ายคอมพิวเตอร์

การพัฒนาแบบจำลองระบุตำแหน่งลูปในเครือข่ายสวิตช์เลเยอร์ 2 ดำเนินการผ่านการเตรียมข้อมูลทราฟฟิกและปรับแต่งพารามิเตอร์ของ 5 แบบจำลอง เพื่อหาสถาปัตยกรรมที่เหมาะสมที่สุด มีรายละเอียดผลลัพธ์ดังนี้

1. การจัดเตรียมและปรับขนาดข้อมูลลดความแปรปรวนของข้อมูลดิบจากโปรแกรม PRTG ด้วยเทคนิค Log Transformation และปรับสเกลให้อยู่ในช่วง 0-1 ด้วยวิธี Min-Max Normalization จากนั้นแบ่งข้อมูลเป็นชุดฝึกสอนร้อยละ 80 และชุดทดสอบร้อยละ 20 ร่วมกับการใช้เทคนิคทวนสอบไขว้แบบ 5 ส่วน (5-Fold Cross-Validation) เพื่อลดความเอนเอียงและเพิ่มประสิทธิภาพในการสรุปผลของแบบจำลอง

2. โครงสร้างและการกำหนดพารามิเตอร์ของแบบจำลอง

1) แบบจำลอง DT ใช้ Gini Index โดยควบคุม Max Depth ที่ 20, Min Samples Split=2 และ Min Samples Leaf=1 เพื่อป้องกันภาวะ Overfitting

2) แบบจำลอง SVM ใช้ RBF Kernel สำหรับข้อมูลนอนลิเนียร์ กำหนด Gamma=Scale และ C=1

3) แบบจำลอง NB คำนวณความน่าจะเป็นตามการแจกแจงปกติจากข้อมูลโดยตรง ไม่ต้องกำหนดพารามิเตอร์เพิ่ม

4) แบบจำลอง FFBPNN ใช้ชั้นซ่อน 2 ชั้น (64 และ 32 โหนด) กำหนด 30 Epochs, Learning Rate=0.01 ด้วยฟังก์ชัน ReLU และ Softmax

5) แบบจำลอง TLBPNN สถาปัตยกรรมสำหรับข้อมูลหน่วงเวลา ใช้ชั้นซ่อน 2 ชั้น (128 และ 64 โหนด) กำหนด 60 Epochs, Learning Rate=0.001 โดยใช้ ReLU ในชั้นซ่อนร่วมกับ Softmax ในชั้นส่งออก

(Research Article)

6.3 ผลการประเมินและเปรียบเทียบประสิทธิภาพแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น

การระบุตำแหน่งการเกิดปัญหาลูปในระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ในงานวิจัยนี้ ดำเนินการผ่านการทดสอบแบบจำลองจำนวน 5 รูปแบบ โดยประสิทธิภาพของแต่ละแบบจำลองจะถูกประเมินด้วย Confusion Matrix เพื่อจำแนกผลการพยากรณ์ระหว่างข้อมูลที่ถูกต้องและข้อมูลที่คลาดเคลื่อน เนื่องจากชุดข้อมูลในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยคลาสผลลัพธ์จำนวน 14 คลาส ผู้วิจัยจึงกำหนดให้ใช้การวิเคราะห์แบบ Confusion Matrix หลายกลุ่ม (Multi-class Confusion Matrix) เพื่อให้ครอบคลุมทุกมิติของการทำนาย ผลการทำนาย Confusion Matrix ของแบบจำลองทั้ง 5 แบบ แสดงใน Figure 5.

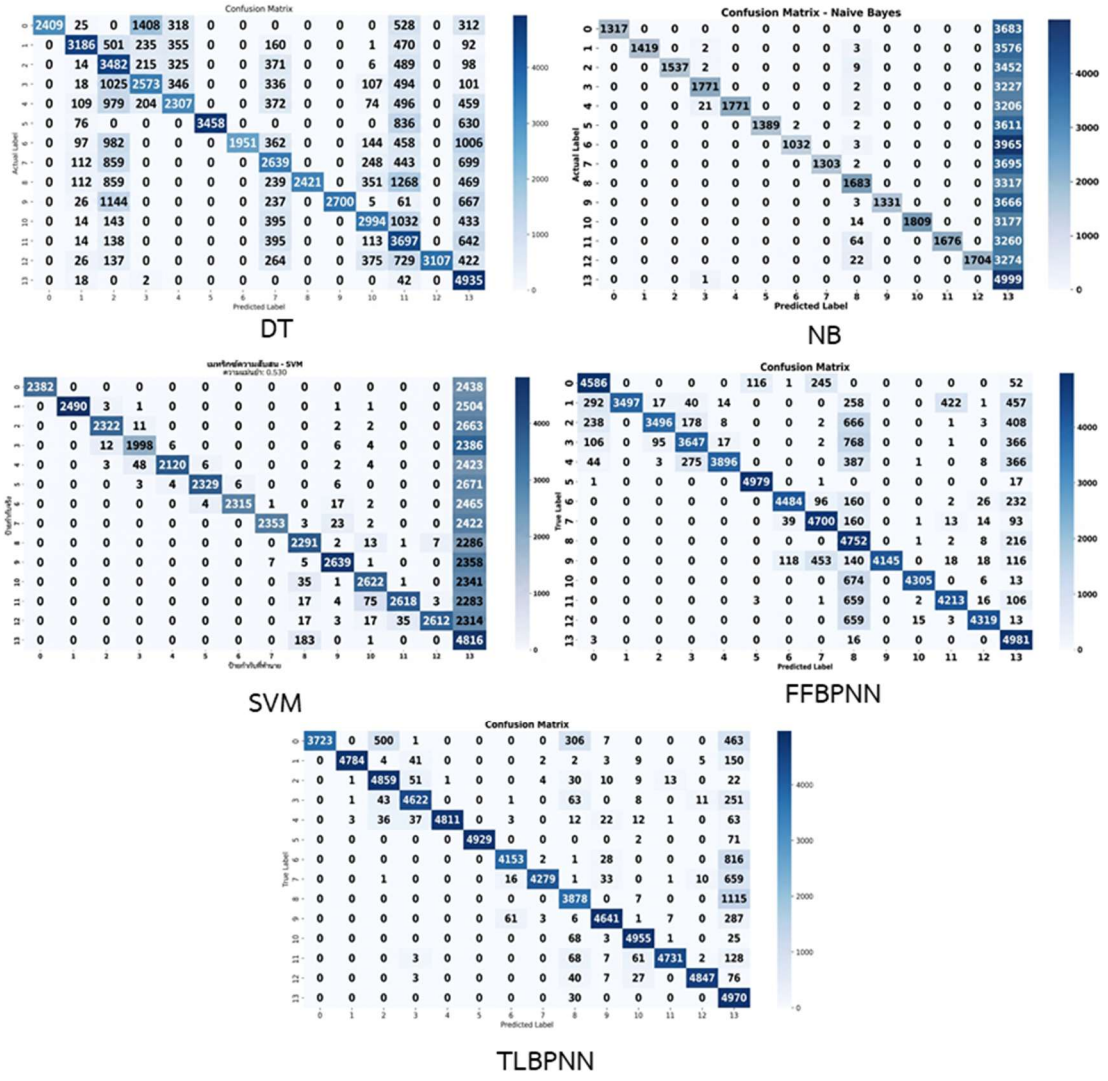


Figure 5. Confusion Matrix of Each Model

การประเมินประสิทธิภาพการทำนายของแบบจำลองทั้งหมด ดำเนินการโดยนำข้อมูลจากตาราง Confusion Matrix มาคำนวณหาค่าประสิทธิภาพ ซึ่งประกอบด้วย ค่า Precision, Recall, F1-Score, Accuracy ทั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการคำนวณแยกตามแต่ละคลาส เพื่อให้เห็นถึงความสามารถของแบบจำลองในการจำแนกข้อมูลแต่ละคลาสได้อย่างชัดเจน โดยผล Accuracy และ Precision แสดงไว้ใน Table 3 และ ค่า Recall และ F1-Score แสดงไว้ใน Table 4.

Table 3. The Results of the Accuracy and Precision of Each Model

class	Accuracy					Precision				
	DT	NB	SVM	FFBPNN	TLBPNN	DT	NB	SVM	FFBPNN	TLBPNN
0	0.963	0.9474	0.6776	0.9843	0.9818	1	1	1	0.8699	1
1	0.9644	0.9488	0.6649	0.9785	0.9968	0.8241	1	1	1	0.999
2	0.8922	0.9505	0.6328	0.9769	0.9896	0.3661	1	0.9923	0.9682	0.8922
3	0.9358	0.9535	0.5662	0.9736	0.9927	0.5549	0.9855	0.9708	0.8809	0.9714
4	0.9423	0.9539	0.6702	0.9836	0.9973	0.6319	1	1	0.9896	0.9998
5	0.978	0.9484	0.6355	0.998	0.999	1	1	1	0.9767	1
6	0.9564	0.9433	0.6693	0.9904	0.9867	1	1	1	0.966	0.9809
7	0.9203	0.9472	0.6397	0.9843	0.9895	0.4507	1	0.9987	0.8549	0.9974
8	0.963	0.9508	0.6775	0.9319	0.9758	0.9967	0.9314	0.9144	0.5126	0.872
9	0.9671	0.9476	0.6858	0.9878	0.9932	1	1	0.9789	1	0.9748
10	0.951	0.9544	0.6772	0.9897	0.9974	0.6777	1	0.9555	0.9938	0.9737
11	0.8764	0.9525	0.684	0.9823	0.9958	0.3348	1	0.9861	0.9027	0.9952
12	0.973	0.9529	0.6854	0.9889	0.9974	1	1	0.9962	0.9787	0.9943
13	0.9129	0.3699	0.2285	0.9641	0.9406	0.45	0.1018	0.1296	0.6661	0.5464
Average	**0.938**	**0.868**	**0.611**	**0.976**	**0.984**	**0.701**	**0.862**	**0.851**	**0.844**	**0.908**

Table 4. The Results of the Recall and F1-Score of Each Model

class	Recall					F1-Score				
	DT	NB	SVM	FFBPNN	TLBPNN	DT	NB	SVM	FFBPNN	TLBPNN
0	0.482	0.263	0.512	0.9172	0.7446	0.65	0.417	0.678	0.8929	0.8536
1	0.637	0.284	0.498	0.6994	0.9568	0.719	0.442	0.665	0.8231	0.9774
2	0.696	0.307	0.464	0.6992	0.9718	0.48	0.47	0.633	0.812	0.9303
3	0.515	0.354	0.4	0.7294	0.9244	0.534	0.521	0.566	0.798	0.9473
4	0.461	0.354	0.504	0.7792	0.9622	0.533	0.523	0.67	0.8719	0.9806
5	0.692	0.278	0.466	0.9958	0.9858	0.818	0.435	0.636	0.9861	0.9928
6	0.39	0.206	0.503	0.8968	0.8306	0.561	0.342	0.669	0.93	0.8995
7	0.528	0.261	0.471	0.94	0.8558	0.486	0.414	0.64	0.8954	0.9212
8	0.484	0.337	0.538	0.9504	0.7756	0.652	0.494	0.678	0.666	0.821
9	0.54	0.266	0.528	0.829	0.9282	0.701	0.421	0.686	0.9065	0.9509
10	0.599	0.362	0.524	0.861	0.991	0.636	0.531	0.677	0.9226	0.9823
11	0.739	0.335	0.524	0.8426	0.9462	0.461	0.502	0.684	0.8716	0.9701
12	0.621	0.341	0.522	0.8638	0.9694	0.767	0.508	0.685	0.9176	0.9817
13	0.987	1	0.963	0.9962	0.994	0.618	0.185	0.229	0.7983	0.7051
Average	**0.598**	**0.353**	**0.530**	**0.857**	**0.917**	**0.615**	**0.443**	**0.628**	**0.864**	**0.922**

จากการประเมินพบว่า แบบจำลอง TLBPNN แสดงประสิทธิภาพสูงสุด (F1-Score 0.95-0.99) ในกลุ่มคลาสที่มีความซับซ้อนเชิงมิติ (คลาส 1, 4, 5, 9-12) และกลุ่มที่มีความผันแปรตามเวลาสูง (คลาส 2, 3, 7) เนื่องจากคุณสมบัติ Time-Lagged ช่วยให้เรียนรู้ความสัมพันธ์และลำดับเวลาได้ดีกว่าโมเดลอื่น ๆ (DT, NB, SVM) อย่างไรก็ตาม สำหรับความผิดปกติแบบฉับพลัน (คลาส 0, 6) แบบจำลอง BBPNN ตอบสนองได้ดีกว่าเล็กน้อย แต่กลับมีผลบวกลวงสูงมากในคลาส 8

(Research Article)

ซึ่ง TLBPNN สามารถจัดการได้ดีกว่า นอกจากนี้พบข้อสังเกตสำคัญในคลาส 13 ที่ทำหน้าที่เสมือนคลาสสำรอง (Fallback Class) เมื่อเผชิญข้อมูลที่มีฟีเจอร์ทับซ้อนกันสูง แบบจำลองมักเอนเอียงการทำนายมาที่คลาสนี้ ส่งผลให้มีค่า Recall สูงแต่ค่า Precision ต่ำมาก

ผลการประเมินประสิทธิภาพภาพรวม (Macro-Average) แบบจำลอง TLBPNN มีประสิทธิภาพสูงสุดและสมดุลที่สุด (Precision 0.9427, Recall 0.9169, F1-Score 0.9224, Accuracy 0.9881) ขณะที่ BBPNN อยู่ในเกณฑ์ดีแต่ขาดการประมวลผลมิติเวลา ส่วน NB และ SVM ขาดความครอบคลุมส่งผลให้ F1-Score ต่ำสุด สำหรับแบบจำลอง DT ขาดความยืดหยุ่น แม้ Accuracy จะสูงถึง 0.9426 แต่ F1-Score กลับต่ำเพียง 0.6154 ชี้ให้เห็นว่าการพิจารณาด้วยค่า Accuracy เพียงอย่างเดียวไม่สามารถสะท้อนประสิทธิภาพที่แท้จริงของการทำนายในชุดข้อมูลนี้ได้ งานวิจัยนี้จึงประยุกต์ใช้เส้นโค้ง ROC และค่า AUC ที่มุ่งประเมินความสัมพันธ์ระหว่างอัตราผลบวกจริง (TPR) เทียบกับผลบวกลวง (FPR) เพื่อความรัดกุมแทนความถูกต้องในภาพรวม โดยผลการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองทั้ง 5 สถาปัตยกรรมได้แสดงไว้ในรูปแบบเส้นโค้ง ROC ดัง Figure 6.

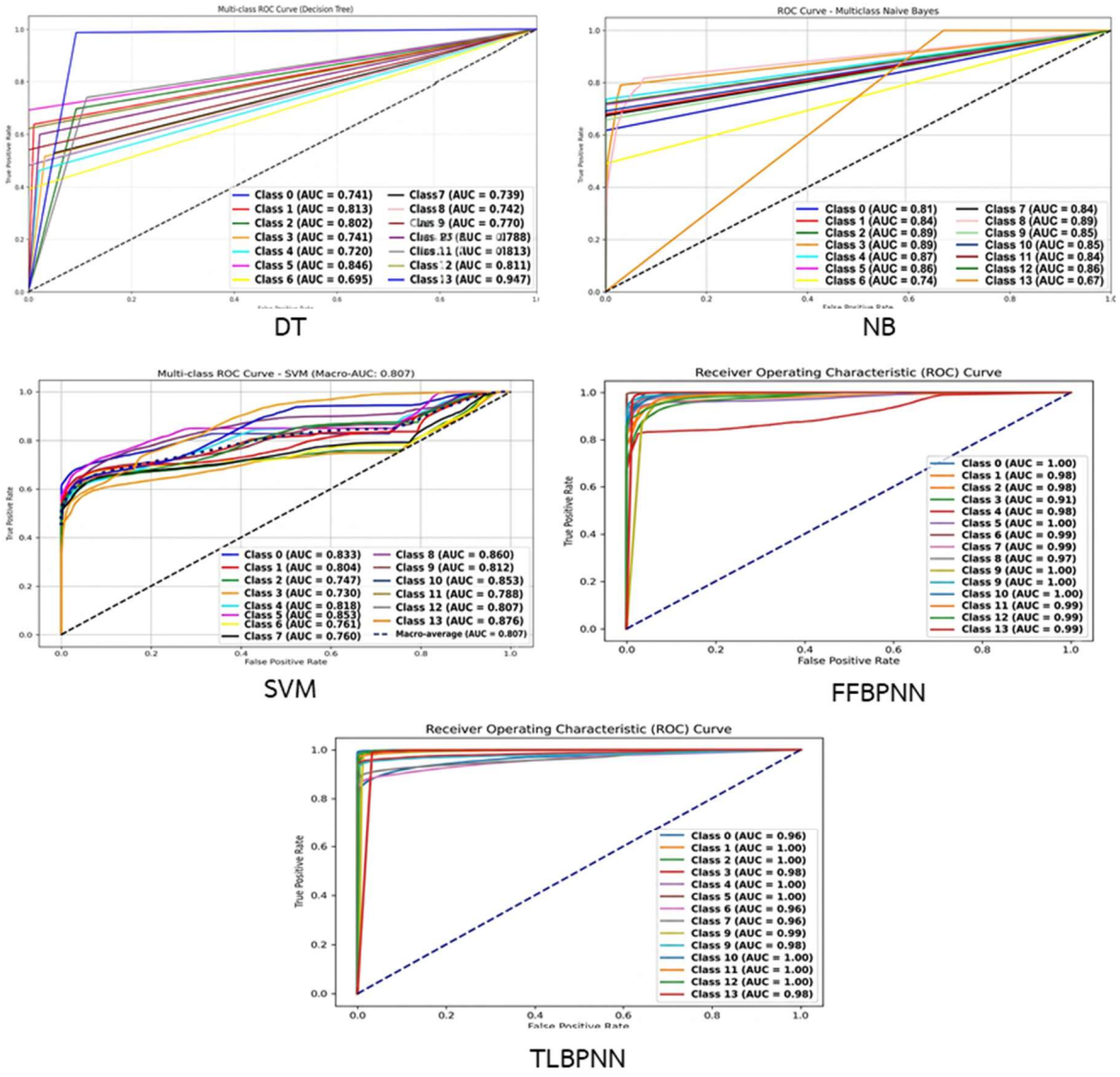


Figure 6. ROC and AUC of Each Model

(Research Article)

จากกราฟ ROC ชี้ให้เห็นว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (TLBPNN, FFBPNN) มีความโค้งชันเข้าใกล้มุมซ้ายบนมากกว่า DT, NB และ SVM อย่างชัดเจน ซึ่งบ่งบอกถึงประสิทธิภาพในการแยกแยะข้อมูลที่สูงกว่า ทั้งนี้ผู้วิจัยได้คำนวณพื้นที่ใต้โค้ง (AUC) ทั้งแบบรายคลาสและค่าเฉลี่ยรวม ด้วยเทคนิค Macro-average เพื่อประเมินทุกคลาสอย่างเท่าเทียมกัน โดยผลการคำนวณค่า AUC ทั้งหมดได้สรุปผลไว้ใน Table 4.

Table 4. The Results of Area Under the Curve of Each Model

Class	DT	NB	SVM	FFBPNN	TLBPNN
0	0.963	0.812	0.835	1	0.96
1	0.619	0.865	0.804	0.98	1
2	0.663	0.84	0.747	0.98	1
3	0.582	0.84	0.73	0.91	0.98
4	0.709	0.875	0.828	0.98	1
5	0.64	0.883	0.815	1	1
6	0.693	0.74	0.761	0.99	0.96
7	0.738	0.84	0.765	0.99	0.96
8	0.763	0.899	0.869	0.97	0.99
9	0.772	0.839	0.813	1	0.98
10	0.768	0.858	0.855	1	1
11	0.628	0.84	0.806	0.99	1
12	0.613	0.88	0.807	0.99	1
13	0.567	0.675	0.876	0.99	0.98
Average	**0.694**	**0.835**	**0.808**	**0.984**	**0.986**

จาก Table 4. ผลการทดสอบชี้ชัดว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีประสิทธิภาพเหนือกว่าแบบจำลอง DT, NB และ SVM โดย TLBPNN เป็นสถาปัตยกรรมที่เหมาะสมที่สุด ให้ค่าเฉลี่ย AUC สูงสุดที่ 0.986 และจำแนกข้อมูลได้สมบูรณ์แบบ (AUC=1.0) ถึง 7 คลาส รองลงมาคือ FFBPNN (AUC=0.984) ซึ่งทำได้ดีกว่าเล็กน้อยในคลาส 0, 6 และ 7 ที่ลักษณะข้อมูลอาจไม่สอดคล้องกับกลไกเชิงเวลา ในกลุ่มแบบจำลอง DT มีประสิทธิภาพต่ำสุด (AUC=0.694) ไม่สามารถรองรับความซับซ้อนของข้อมูลได้ ขณะที่ NB และ SVM ยังมีความแปรปรวนสูงและขาดความเสถียร สรุปได้ว่า TLBPNN เป็นแนวทางที่เหมาะสมที่สุด มอบความแม่นยำและเสถียรภาพสูงสุดในการจำแนกข้อมูลได้อย่างครอบคลุม

7. สรุปผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย (Conclusion and Discussion)

งานวิจัยการเรียนรู้ของเครื่องโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบกระจายย้อนกลับชนิดหน่วงเวลา เพื่อระบุตำแหน่งปัญหาลูปในเครือข่ายสวิตช์เลเยอร์ 2 สามารถสรุปผล และอภิปรายผลการวิจัยโดยเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นที่เกี่ยวข้องได้ดังนี้

1. สรุปประสิทธิภาพแบบจำลองการทำนายตำแหน่งลูป

จากการทดสอบพบว่าแบบจำลอง TLBPNN มีประสิทธิภาพสูงสุดและสมดุลในทุกมิติ (Precision 0.9427, Recall 0.9169, F1-Score 0.9224, Accuracy 0.9881, AUC 0.986) รองลงมาคือ BBPNN ขณะที่แบบจำลอง DT, NB และ SVM มีค่า Recall ต่ำและล้มเหลวในการตรวจจับหลายคลาส ซึ่งผลลัพธ์นี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ferrag et al. (2020) ที่ระบุว่าอัลกอริทึมดั้งเดิมมีข้อจำกัดในการประมวลผลข้อมูลเครือข่ายที่มีความซับซ้อนและมิติสูง จึงมีประสิทธิภาพด้อยกว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมอย่างชัดเจน

2. ประสิทธิภาพการทำนายข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

แบบจำลอง TLBPNN โดดเด่นในการจำแนกข้อมูลที่มีความผันแปรตามเวลาสูง (คลาส 2, 3, 7) ด้วยคุณลักษณะหน่วงเวลา แต่สำหรับความผิดปกติแบบฉับพลัน (คลาส 0, 6) BBPNN กลับให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า ซึ่งสอดคล้องกับ Le et al. (2019) ที่พบว่าโมเดลเชิงเวลาเหมาะกับการเปลี่ยนแปลงต่อเนื่อง ขณะที่ความผิดปกติแบบฉับพลัน (Point anomalies) เหมาะกับการใช้ FFBPNN ที่ไม่ใช้ข้อมูลย้อนหลังเพื่อลดความซับซ้อนและเพิ่มความรวดเร็ว

3. ปัญหาการทับซ้อนของสัญญาณเครือข่าย (Feature Overlapping)

เมื่อเผชิญข้อมูลคลุมเครือ ทุกแบบจำลองมักเอนเอียงการทำนายไปที่คลาส 13 (Fallback Class) ทำให้ผลบวกลวงสูงขึ้น โดยเฉพาะแบบจำลอง DT ที่ค่า AUC ลดเหลือเพียง 0.567 สะท้อนว่าแบบจำลอง DT ไม่สามารถรองรับความซับซ้อนนี้ได้ สอดคล้องกับ Berman et al. (2019) ที่พบว่าเมื่อข้อมูลมีการทับซ้อนสูง โมเดลเชิงเส้นและแบบจำลอง DT จะเกิดความลำเอียง (Bias) ไปยังคลาสทางออกหลักเพื่อลดข้อผิดพลาดรวม ส่งผลให้ประสิทธิภาพในคลาสนั้นลดลงอย่างรวดเร็ว

4. ความสำคัญของการประเมินด้วย ROC และ AUC

ในสภาวะข้อมูลเครือข่ายไม่สมดุล (Class Imbalance) ซึ่งปัญหาลูปมีสัดส่วนการเกิดน้อยมาก การพิจารณาเพียงค่า Accuracy อาจทำให้ผลลัพธ์บิดเบือน งานวิจัยจึงใช้ค่า AUC ซึ่งพิสูจน์ว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีเสถียรภาพสูงในการแยกความผิดปกติ (True Positive) ออกจากสัญญาณหลอก (False Positive) โดยเฉพาะแบบจำลอง TLBPNN ที่ทำคะแนน AUC ได้สมบูรณ์แบบ (1.0) ถึง 7 คลาส เป็นการยืนยันถึงประสิทธิภาพและเสถียรภาพสูงสุดในการนำไปประยุกต์ใช้งานจริง

5. ข้อจำกัดของการวิจัย (Limitations)

แม้แบบจำลอง TLBPNN จะมีความแม่นยำสูง แต่การใช้งานจริงยังมีข้อจำกัด เนื่องจากการศึกษานี้ดำเนินการบนเครือข่ายขนาดเล็กระดับห้องปฏิบัติการ ซึ่งอาจมีเงื่อนไขพฤติกรรมเฉพาะของผู้ผลิตอุปกรณ์ (Vendor-Specific) นอกจากนี้ การใช้แบบจำลองเชิงเวลายังมีความเสี่ยงเรื่องการรั่วไหลของข้อมูล (Temporal Leakage) และความหน่วงในการประมวลผลจริง (Deployment Latency) ซึ่งเป็นความท้าทายที่ต้องศึกษาและพัฒนาเพิ่มเติมในอนาคต

8. ข้อเสนอแนะงานวิจัย (Recommendation)

8.1 ข้อเสนอแนะในงานวิจัยครั้งต่อไป

1. การขยายขนาดและการทดสอบในสภาพแวดล้อมจริง

เนื่องจากการศึกษานี้จำกัดอยู่บนเครือข่ายจำลองขนาดเล็ก งานวิจัยในอนาคตจึงควรนำแบบจำลองไปทดสอบในเครือข่ายจริงที่มีขนาดใหญ่ ซับซ้อน และใช้อุปกรณ์หลากหลายผู้ผลิต เพื่อประเมินความเสถียรและความสามารถในการสรุปผลของแบบจำลองในการใช้งานจริง

2. การเปรียบเทียบกับแบบจำลอง Deep Learning

งานวิจัยในอนาคตควรนำสถาปัตยกรรมระดับลึก เช่น RNNs และ LSTM ที่มีจุดเด่นในการดักจับความสัมพันธ์เชิงเวลา มาประเมินเปรียบเทียบกับแบบจำลอง TLBPNN เพื่อยกระดับความแม่นยำและประสิทธิภาพในการตรวจจับปัญหาลูปให้สูงยิ่งขึ้น

8.2 การประยุกต์ใช้ในงานวิจัย

1. การลดเวลาและทรัพยากรในการแก้ไขปัญหา

แบบจำลอง TLBPNN สามารถระบุตำแหน่งพอร์ตที่เกิดลูปได้แม่นยำถึงร้อยละ 91.46 ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นเครื่องมือสนับสนุนผู้ดูแลระบบเพื่อลดภาระและระยะเวลาในการลงพื้นที่ตรวจสอบทางกายภาพ ส่งผลให้องค์กรสามารถกู้คืนระบบเครือข่ายได้อย่างรวดเร็ว

2. การเสริมสร้างความปลอดภัยภายใต้ข้อจำกัดงบประมาณ

การนำแบบจำลองมาเฝ้าระวังทราฟฟิกตอบโจทย์องค์กรที่ขยายเครือข่ายด้วย Unmanaged Switch ซึ่งไม่มีโพรโทคอล STP โดยช่วยลดความเสี่ยงจากการเกิดพายุบรอดแคสต์ (Broadcast Storm) และป้องกันการแพร่กระจายข้อมูลที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพเครือข่ายโดยรวม

(Research Article)

9. การเปิดเผยการใช้ปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ (Declaration of Generative AI)

งานวิจัยนี้ใช้ Gemini ในการปรับแก้ข้อความให้เป็นเชิงวิชาการอ่านเลื่อนไหลแก้ไขคำผิด และใช้แปลข้อความจากภาษาไทยเป็นภาษาอังกฤษ ใช้ ChatGPT ในการปรับภาพ (Figure) ให้ชัดเจน หลังจากนั้นทำการตรวจสอบแก้ไขด้วยตนเองอีกครั้ง

10. การแสดงบทบาทผู้เขียน (CRediT Author Statement)

Soradet Chaowinai: Conceptualization, Methodology, Software, Validation, Investigation, Data Curation, Writing-Original Draft, Visualization

Nithizethe Mhuadthongon: Conceptualization, Methodology, Validation, Formal Analysis, Investigation, Resources, Writing-Review & Editing, Supervision, Project Administration

Apirada Jitjing: Conceptualization, Investigation, Resources, Data Curation, Writing-Review & Editing

All authors read and approved the final manuscript.

11. เอกสารอ้างอิง (References)

Ahmad, Z., Khan, A. H., Shiang, C. W., Abdullah, J., & Ahmad, F. (2021). Network Intrusion Detection System: A Systematic Study of Machine Learning and Deep Learning Approaches. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, *32*(1), e4150. https://doi.org/10.1002/ett.4150

Berman, D. S., Buczak, A. L., Chavis, J. S., & Corbett, C. L. (2019). A Survey of Deep Learning Methods for Cyber Security. *Information, 10*(4), 122. https://doi.org/10.3390/info10040122

Ferrag, M. A., Maglaras, L., Moschoyiannis, S., & Janicke, H. (2020). Deep Learning for Cyber Security Intrusion Detection: Approaches, Datasets, and Comparative Study. *Journal of Information Security and Applications, 50*, 102419. https://doi.org/10.1016/j.jisa.2019.102419

Grandini, M., Bagli, E., & Visani, G. (2020). *Metrics for Multi-Class Classification: An Overview*. arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2008.05756

Hewamalage, H., Bergmeir, C., & Bandara, K. (2021). Recurrent Neural Networks for Time Series Forecasting: Current Status and Future Directions. *International Journal of Forecasting*, *37*(1), 388–427. https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2020.06.008

Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2004). *802.1D-2004 - IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks: Media Access Control (MAC) Bridges*. https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2004.94569

Kilincer, I. F., Ertam, F., & Sengur, A. (2021). Machine Learning Methods for Cyber Security Intrusion Detection: Datasets and Comparative Study. *Computer Networks*, *188*, 107840. https://doi.org/10.1016/j.comnet.2021.107840

Le, T.-T.-H., Kim, Y., & Kim, H. (2019). Network Intrusion Detection Based on Novel Feature Selection Model and Various Recurrent Neural Networks. *Applied Sciences*, *9*(7), 1392. https://doi.org/10.3390/app9071392

Lim, B., & Zohren, S. (2021). Time-Series Forecasting with Deep Learning: A Survey. *Philosophical transactions - Royal Society. Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, *379*(2194), 20200209. https://doi.org/10.1098/rsta.2020.0209

Luque, A., Carrasco, A., Martín, A., & De Las Heras, A. (2019). The Impact of Class Imbalance in Classification Performance Metrics Based on the Binary Confusion Matrix. *Pattern Recognition*, *91*, 216–231. https://doi.org/10.1016/j.patcog.2019.02.023

(Research Article)

Pešović, U., Pešović, S. Đ., Savić, B., & Marković, D. (2024, 20-22 September). Detection of Broadcast Storms in Local Area Networks. *10th International Scientific Conference Technics, Informatic, and Education*, 136–139. https://doi.org/10.46793/TIE24.136P

Surakhi, O., Zaidan, M. A., Fung, P. L., Hossein Motlagh, N., Serhan, S., AlKhanafseh, M., Ghoniem, R. M., & Hussein, T. (2021). Time-Lag Selection for Time-Series Forecasting Using Neural Network and Heuristic Algorithm. *Electronics*, *10*(20), 2518. https://doi.org/10.3390/electronics10202518

Waqas, M., Humphries, U. W., Wangwongchai, A., Dechpichai, P., & Ahmad, S. (2023). Potential of Artificial Intelligence-Based Techniques for Rainfall Forecasting in Thailand: A Comprehensive Review. *Water*, *15*(16), 2979. https://doi.org/10.3390/w15162979

May-August 2026, 4(2), e4187
DOI: 10.65205/jcct.2026.e4187
Journal of Computer and Creative Technology
วารสารคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสร้างสรรค์
ISSN 2985-1580 (Print)
ISSN 2985-1599 (Online)

(Research Article)

Application of Simplified QFD for Selecting 3D-CAD FOSS in Mechanical Engineering Education: A Case Study in Private Educational Institution

Chatchawan Sornsiri[1,*], Soonthorn Wongsen[2], and Vit Wanvijit[3]

[1,2,3]Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, Rajapark Institute, Bangkok 32000, Thailand; Email: [1]s.chatchawan@rajapark.ac.th, [2]w.soontorn@rajapark.ac.th, [3]w.vit@rajapark.ac.th

[*]*Corresponding author:* Chatchawan Sornsiri (s.chatchawan@rajapark.ac.th)

Received: 10 June 2026; **Revised:** 30 July 2026; **Accepted:** 7 August 2026; **Published:** 28 August 2026

Abstract

The aim of this research was to present a selection method for "Free and Open-Source Software (FOSS)" type of three-dimensional computer-aided design (3D-CAD) by using the Simplified Quality Function Deployment (Simplified QFD). The research was conducted into 4 tasks: searching for the alternative 3D-CAD FOSS which have been popular used among makerspace communities, extracting appropriate criteria used for selecting 3D-CAD FOSS from research literature and makerspace communities, brainstorming to select the most suitable software by using QFD matrix among 11 stakeholders from top executive down to student representative of Rajapark Institute, and validating the selected software by real teaching experiment. Teaching experiment was performed on a sample of 8 undergraduate students who enrolled in the elective subject of "Computer for Mechanical System Design" from academic year of 2025. With three alternative 3D-CAD FOSS (namely FreeCAD, Blender and Autodesk 123D Design) that were brainstormed and selected by using the simplified QFD, FreeCAD is the most suitable software with a maximum score of 31. Results from student questionnaires after teaching experiment pointed out that students were more positive on FreeCAD than Autodesk 123D Design and Blender respectively.

Keywords: 3D-CAD FOSS, Software Selection, Multi-Criteria Decision Making, Simplified QFD

Copyright © 2026 Journal of Computer and Creative Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC-ND).

Citation:
Sornsiri, C., Wongsen, S., & Wanvijit, V. (2026). Application of Simplified QFD for Selecting 3D-CAD FOSS in Mechanical Engineering Education: A Case Study in Private Educational Institution. *Journal of Computer and Creative Technology, 4*(2), e4187. https://doi.org/10.65205/jcct.2026.e4187

(Research Article)

1. Introduction

The widespread application of 3D-CAD modeling in the industry throughout many decades has necessitated engineering institutions to integrate commercial 3D-CAD software into their curricula with a significant investment. The small private institutions that lack funding frequently update such software, tolerated the use of outdated versions that fail to meet the demands of occupational market requiring proficient students in the advanced levels of CAD technology such as computer-aided manufacturing (CAM) and computer-aided engineering (CAE). Today, however, many Free and Open-Source Software (FOSS) have been emerged and continuously developed by non-profit organizations. Its effectiveness has been proven by public communities for a certain year. A makerspace can be viewed as a collaborative community that maybe comprises of high school students, hobbyists, startups, or whoever has the same passion, gather doing various activities such as exploring, learning, making and sharing by employing non-technological to high-technological tools such as integration of 3D-CAD and 3D printing (Kantaros et al., 2022). With the factors of investment and other benefits, administrators of Rajapark Institute realized the potential of FOSS to replace the existing outdated commercial 3D-CAD software. Therefore, researchers, as part of the institute, conducted a study to select the most suitable 3D-CAD FOSS under various criteria beyond investment considerations solely.

Fusiripong & Nuansomsri (2022) proposed the evaluation criteria for 3D software selection by following the ISO/IEC 9126-1:2001(E), identified Those criteria by comprehensive and matching meaning techniques, and found 18 criteria that could be adopted in the 3D software selection with the item objective congruence index of 0.9. Most of their interested criteria, however, were weighed on the license fee and its related investment that focus on the selection of commercial 3D-CAD software. Considering some research (Okudan, 2004; Prasad & Chakraborty, 2016; Özsoy, 2020; Gaha et al., 2021), without pointing towards FOSS directly, the overall criteria for selecting 3D modeling software remain consistent in terms of core functionality, diverse supplementary features and user-friendly interface (GUI). In recent years, there has been research to use 3D-CAD FOSS into various application that can view its continuous development (Di Donato & Abita, 2019; Hebebci & Maya Hebebci, 2021; Le et al., 2026). Junk & Kuen (2016) reviewed the use of various 3D-CAD FOSS. One of them is Autodesk 123D Design that has been used in the elective subject of “Computer for Mechanical System Design” at Rajapark Institute since 2022. They described the proper characteristics of CAD by considering the needs of users with little experience and concluded that users still need comprehensive functionality and friendly GUI included a special need of free or affordable accessibility to CAD systems.

However, by considering the source of criteria for 3D software selection that were extracted from the research, the authors found that those criteria were limited and extracted from a few professors or consultants only. This may lead to biased judgments (Okudan, 2004) and lack of participation from all stakeholders. Hence, the authors wanted to provide a forum with reliable tools in which all stakeholders in the institute could brainstorm to select the most suitable 3D-CAD FOSS. Even Özsoy (2020) presented the valuable method for selecting 3D-CAD based on Analytical Hierarchy Process (AHP), but the authors tried to avoid the “rank reveal” problem due to adding any alternative 3D-CAD software during brainstorming and lead to inconsistency in results. The authors thought that using the Quality Function Deployment (QFD) to select the 3D-CAD software by Prasad & Chakraborty (2016) should be more effective. To avoid any mistrust about behind calculations QFD from stakeholders, every voted score must be transparent and conducted in a simple format that could reach a conclusion within a face-to-

face brainstorming session, therefore the authors proposed a simplified QFD (Brussee, 2004) for selection of alternative 3D-CAD FOSS instead.

2. Research Objectives

1. To explore and establish a list of alternative 3D-CAD FOSS for selection to be used in mechanical engineering education.

2. To explore and establish a list of proper criteria which is used for selection the 3D-CAD FOSS to be used in mechanical engineering education.

3. To present a method for selecting the most suitable 3D-CAD FOSS for mechanical engineering education by using Simplified QFD.

4. To validate the proposed 3D-CAD FOSS obtained from Simplified QFD-based selection method by real teaching experiment and student questionnaires.

3. Literature Review

3.1 3D-CAD FOSS which is Suitable for Mechanical Engineering Education

Today, 3D-CAD software is simply categorized by its modeling technique. The most common types include “3D Parametric - Solid Modeling” used for precise dimension-driven engineering, “Parametric - Surface Modeling” used for curved shape objects, “Mesh or Sub-D Modeling” used for digital sculpting or organic shape objects, “BIM (Building Information Modeling)” used for architectural and construction. For clearly, 3D-CAD software in this research mainly focuses on “3D Parametric - Solid Modeling” which is normally used in mechanical engineering. While commercial 3D-CAD software does not have publicly available source code, end users are limited as consumers. Without any customize allowing, they must rely on the workflow and trust the results which the commercial software presents. In contrast, almost 3D-CAD FOSS provides publicly accessible source code, avoids vendor lock-in, allows end users to fully customize, and share among social communities without licensing fees. In this research, hence, authors are interested in 3D-CAD FOSS only.

To avoid the need for high-performance commercial 3D-CAD software that require licensing fees and expensive hardware, as an alternative, many literatures have been proposed to use 3D-CAD FOSS that is gaining popularity within the makerspace communities and is growing through public support, as an alternative. Castro et al. (2019), presented a study of download behavior from the SourceForge platform, one of the popular web-based repositorium committed to support FOSS projects along with open design (OD) communities, showed that the top 3 most downloaded 3D-CAD FOSS are rattleCAD, BRL CAD, and FreeCAD with stable cumulative downloading throughout the years. This indicated the ability to maintain public popularity and implied a likelihood of continued and sustainable development. Currently, the number of 3D-CAD software available as cloud-based services is continuously increasing, driven by the growth of Industry 4.0, where virtually all operations are based on the cloud and the Internet of Things (IoT). It looks like there is no longer investing in high-performance computing hardware, requiring minimal maintenance, and avoiding software version conflicts. Software updates can be performed directly through the software provider's servers without requiring manual upgrade requests. Some software is entirely hosted on the cloud, meaning it can be accessed directly through a browser without prior installation on a personal computer and can be displayed on any device. Gaha et al. (2021) compared two software along this idea; Onshape and Autodesk Fusion 360. Each software offers a trial

version that allows any registered student to use it for 1 year at a time and renews the access annually for as long as they remain an actively enrolled student at a qualified institution. Although Onshape looks more appealing than Fusion 360, particularly making all functional features work similarly that allow students to identify errors more quickly, Fusion 360 has a more user-friendly assembling function. Furthermore, Fusion 360 can be used offline, which is a significant advantage in cases of unstable internet connections. They further commented that while cloud storage eliminates the need for users to manage data on personal computers and avoids investment in highly stable-expensive storage devices, it comes with a certain fee that depends on the agreement between the software provider and the institution. However, this cloud storage also has some drawbacks, such as the inability to control the own files, as they are stored on the provider's cloud. To avoid the commercial cloud-based 3D-CAD software, paper by Hebebci & Maya Hebebci (2021) offered the open -source ones. They found that Tinkercad is the most popular 3D-CAD software among the web-based software. Considering software fees, only the free versions of Tinkercad and FreeCAD offer full functionality. In terms of learning curve, however, Tinkercad, Vectary, and 3D Slash are more efficient in situations requiring limited learning and practice time, while SketchUp and FreeCAD require more time, skills, and professional engineering experience. Authors think that, for mechanical engineering students who will graduate and work in the industrial sector, they cannot avoid these functional skills. Today, information tracked from social networks points FreeCAD is beginning to be popular and widely applied in various engineering fields with its inherent versatilities and compatibility to connect to other software packages, via workbenches developed by open design communities. Some of its compatibility can be demonstrated by work of (Di Donato & Abita, 2019) to expose the capabilities of FreeCAD in creating a BIM model of a bus stop roof-structure that showed its potential for integration with 3D-CAD FOSS for project scheduling and management like ProjectLibre. They compared FreeCAD with the famous software that come with a motto “CAD for Everyone” like Sketchup and its 4D Virtual Builder add-on, and commercial software like Teka Structure which possesses ability to complete 4D BIM tasks. Although the project progress tables obtained from FreeCAD looked not as visually appealing and communicative as Sketchup, and the automatic updating of project progress at each stage based on allocated resources looked also as good as in Tekla, they still believed that FreeCAD showed further potential for development to improve interoperability between FreeCAD and ProjectLibre in terms of cost management related to the stages and resources defined in ProjectLibre. Another paper of Le et al. (2026) demonstrated the flexibility and efficiency of a FreeCAD-GDML Workbench, in designing geometrically complex parts such as detectors, collimators, and structural assemblies in the development projects of PET and SPECT nuclear medicine scanner through XML- scripting, which is an accepted protocol for Monte Carlo Geant4 particle physics modeling. Those papers expose the flexibility and compatibility of development on FreeCAD that should be fruitful continued among makerspaces. Here, while the authors are beginning to recognize potential in FreeCAD, this potential still needs to be proven.

3.2 Multi-Criteria which is Used for Selection of 3D-CAD FOSS in Mechanical Engineering Education

Over the years an enormous amount of paper has been published on identifying of selection criteria for 3D-CAD software, it is practically impossible to present exhaustive review on them; hence only a few selected papers are explained. In Thailand, during last three years past, there is only one papers about criteria on software selection by following the ISO/IEC 9126-1:2001(E) for software engineering-product quality (Fusiripong & Nuansomsri, 2022; International Organization for Standardization, 2001). Now ISO/IEC 9126-1:2001(E) is revised and replaced by ISO/IEC 25019:2023 (International Organization for

Standardization, 2023). This summary indicated that the "3D parametric function" for creating the geometric features is still being most essential criteria. 3D parametric modeling is a kind of CAD that is usually used for mechanical engineering, which is created by using mathematical parameters instead of the constant values. This approach allows any modifying onto the solid model via changing the parameters inside. This included possibilities to develop dimensioning and 2D-drafting for manufacturing then. Even through the "License fee and investments in high-performance hardware" are also crucial criteria in the papers, but with the expectation of this research on using 3D-CAD FOSS which should be affordability (Kantaros et al., 2022), this point could be looked over. Except core function of 3D parametric modeling, junior students who use 3D-CAD software probably not expect to see and play "Special capability" such as motion analysis when they open software at the first class (Gaha et al., 2021). Okudan. (2004) exposed that the proper adapted version of user manuals could obtain "Ease of use", he could lead two groups of students created the same 3D solid model even they used the different software. Final issue, "Accessibility via internet includes cloud and collaboration" looked appealing to new generation students (Di Donato & Abita, 2019; Kantaros et al., 2022). But there are some weak points from unstable internet connection and expensive fee for cloud servers (Gaha et al., 2021).

Okudan (2004) offered an interesting idea for validation of the software selection in practically. He adapted user manuals for two selected software and designed exercises allowing two student groups who were assigned to use two different software to model the same 3D model by using the same basic functions. He found that each group could spend equal time studying and completing the exercises in classroom. His research indicated that well-designed user manuals with similar functions could lead to consistent learning of students. Minor differences occurred from varying levels of user familiarity onto user interfaces (menus and GUI). The authors will follow his validated methods by separating students into certain groups. Each group will be assigned to use the different choices of 3D-CAD FOSS that pass the QFD-based decision-making as will be discussed then.

3. 3 Simplified Quality Function Deployment as an Effective Tool for Decision Making on the Selection of 3D-CAD FOSS

The quality function deployment (QFD) is one of non-statistical tools which is widely used in the Six – Sigma to manipulate the requirement of customers (often called as voice – of – customers; VOCs) which are mainly obtained by market research. QFD can transform the qualitative needs of stakeholders into quantitative criteria in a matrix format (commonly known as "house of quality") which allows stakeholders to brainstorm and prioritize their needs within concurrent engineering environments. Even though Prasad & Chakraborty (2016) presented a software selection methodology based on the QFD concept. but instead of face-to-face meetings among stakeholders, a graphical interface developed using Visual BASIC was created for individual stakeholder voting and prioritization. They claimed this avoids arguments, interference leading to opinion manipulation, and reduces the time spent on collaborative evaluation. Regarding this point, the researchers disagree, arguing during face-to-face brainstorming is essential because confrontation does not always imply interference or manipulating the opposing idea. In the other hands, it is probably an opportunity for everyone to learn, exchange ideas, or even dismantle preconceived notions. To utilize face-to-face discussion more simply, however, the authors do not implement the full version (as house of quality) of QFD, but work with the simplified QFD instead (Brussee, 2004). It looks simply format but still maintains the concept of QFD completely. To easily understand for the readers, the author will omit explaining how to create simplified QFD at this step of literature review

but will explain it via the real proposed decision criteria and choices of 3D-CAD FOSS using in this research at the step of research methodology instead. In addition, the comprehensive details of making QFD matrix can be studied from textbooks on general multi-decision analysis, and review paper worked by (Chan & Wu, 2002; Aytac & Deniz, 2005).

4. Conceptual Framework

The conceptual framework of the research can be depicted as Figure 1. below.

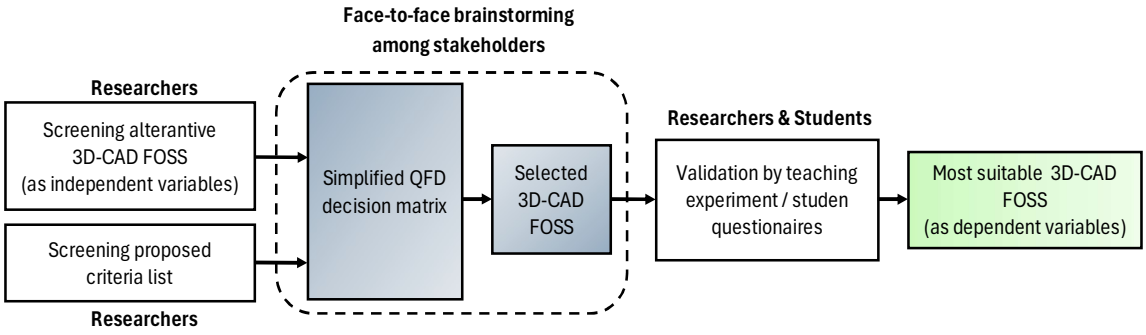


Figure 1. Conceptual Framework of Research

The authors imitated as general users who have little experience and usually start to find any interactive information such as 3D-CAD FOSS from social channels like YouTube or Facebook first. In parallel, the selected criteria for software should be preliminary recognized from this stage. This information will be cross validated by literature review. The alternative 3D-CAD FOSS and selected criteria will be input to simplified QFD-decision matrix as a brainstorming tool for a face-to-face session. In finally, the most suitable 3D-CAD FOSS which are selected will be validated by real teaching experiment and student questionnaires.

5. Research Methodology

The proposed methodology for selection of 3D-CAD FOSS by using simplified QFD is divided into six consequent steps. Each step is explained in terms of its inclusion of this methodology as below.

5.1 Explore and Establish a List of Alternative 3D-CAD FOSS for Selection

This step is included in the methodology to compile information and answer the question, “Which open-source 3D-CAD is popular used among the makerspace communities?”. Initially of screening, the authors assumed the role of makerspaces who typically start by watching beginner- friendly tutorials on YouTube such as (Print N Repeat, 2026; Tutorialfied, 2026) and even searching for recommendations through online forums like Reddit. Of course, in addition to the voices on social networks, academic evidence from research papers is needed to confirm those voices. To get more firmly consistency, authors searched the papers by using the keywords such as “Open-source 3D-CAD software”, “Open-source 3D parametric modeling”, “3D-CAD FOSS” etc.

The beginning draft of possible 3D-CAD FOSS was simply validated by discussion with the second-year undergraduate students who enrolled in subject “Engineering drawing”. A list of alternative 3D-CAD

FOSS that must be input into the QFD decision matrix was the result of this step. Details of consideration of the alternative 3D-CAD FOSS were explained in the result 6.1.

5.2 Establish a List of Proper Criteria which is Used for Selection the 3D-CAD FOSS

This step is included in the methodology to compile information and answer the question, "Which criteria is proper used for selection of open-source 3D-CAD software?". To answer the question, as well, the authors still started watching on YouTube and even searching for recommendations through online forums like Reddit. To confirm the voices from social communities, authors searched the papers by using the keywords such as and searched the research papers by using the keywords such as "Criteria for CAD software selection", "Multi-criteria for CAD software selection", "Decision making for CAD selection" etc.

The beginning draft of possible proper criteria was validated by discussion with the second-year undergraduate students who enrolled in subject "Engineering drawing". A list of criteria for selection of 3D-CAD FOSS that must be input into the QFD decision matrix was the result of this step. Details of consideration of the selection criteria were explained in the result 6.2.

5.3 Make the Simplified QFD for Selection the 3D-CAD FOSS

At the beginning of face-to-face brainstorming session, the authors provided the blank form of simplified QFD as shown in Figure 2. on white board. A list of alternative 3D-CAD FOSS from 5.1 was proposed among the stakeholders and must be input at the top row of simplified QFD matrix. Similarly, a list of criteria for selection of 3D-CAD FOSS from 5.2 was proposed among the stakeholders and must be input at the most left column of simplified QFD matrix.

QFD for selecting the open-source 3D-CAD		Software No.1	Software No.2	Software No.3
Selected criteria	Criteria score			
Criteria No.1				
Criteria No.2				
Criteria No.3				
Criteria No.4				
Total Score				

Figure 2. The Blank Form of Simplified QFD for Selecting the 3D-CAD FOSS

5.4 Brainstorm to Decide on the Selection of 3D-CAD FOSS with Simplified QFD

This is the most critical step to realize the happening of simplified QFD in practically. The stakeholders were consisted of 1 Dean of faculty of engineering (acting as Head of mechanical engineering department), 1 Head of industrial engineering department, 3 researchers as members of mechanical engineering department, 1 Head of computer and IT systems section, 2 representatives from the institute's administration both in academic affairs and finance, and 3 student representatives selected from previous and current semesters. Those 3 students were selected from the third-year undergraduate students who passed the subject of "Engineering drawing". The main selection criteria for those students are possessing the background of vocational certificate and experience in the metal working and related sectors. The authors expected that their background and experience would be useful for evaluation the 3D-CAD FOSS.

All stakeholders must use the blank form of simplified QFD from 5.3 to brainstorm and evaluate the scores for each criteria and each alternative 3D-CAD FOSS by following steps as below. The authors decided to use score ranges which were specified by Brussee (2004).

1. Score of each criteria for selection of 3D-CAD FOSS is put into each row of the adjacent column beside the most left column of criteria, namely 3 is score for important criteria which are not against safety and legal measures, 2 is score for minimum criteria which cannot be avoided, and 1 is score for “nice to have” criteria. The scoring can be refined for more than three ranges. However, it often leads to confusion during the scoring and may not be worth time and effort. Score each customer’s need and put it into each row of the adjacent column beside the customer ‘s need.

2. Similarly, score of each possible 3D-CAD FOSS that can be responded with the corresponding criteria is put into the upper part of each intersection box of each row of criteria and each column of software, namely 3 is score for completely respond to criteria, 2 is score for well-fit respond, 1 is score for moderately respond and 0 is score for unable respond. In many cases, however, a minus score for conflict with the criteria can happen. It is not unusual due to attempting to respond to a criteria may conflict with others criterion.

3. Multiplying result of score of each criteria and score of each software is put into the lower part of each intersection box.

4. Finally, sum of multiplied scores from the lower part of each intersection box of all rows in the same column as the total score of each software is put at the lowest part of simplified QFD.

At the end of this step, stakeholders obtain total scores of each alternative 3D-CAD FOSS. Basically, they should select the software that possesses the highest total scores to achieve the criteria as much as possible. However, some stakeholders may wonder and recognize something wrong insight their selection based on the total scores and want to rethink their scoring again. This is normal and valuable situation that often leads to scoring back and forth about two or three times to get the most suitable software, especially software that respond to the high scored 3 of the criteria.

5.5 Validation the Selected 3D-CAD FOSS by Teaching Experiment

This teaching experiment was planned for 8 third-year undergraduate students who are enrolled 12 weeks (3 hours a week) in the selective subject “Computer for Design Mechanical Engineering System” during academic year 2025. They must follow the training manual of the selected 3D-CAD FOSS from simplified QFD and then assess their performance by assignment. Certainly, student performance is measured from using some predetermined basic 3D-parametric modeling functions e.g., extrusion, sweep, revolve. The class is conducted by same instructor teaching on different 3D-CAD FOSS from simplified QFD during the same semester. Due to a few students (8 students) while a bit of long teaching periods, the authors did not separate students from using each alternative 3D-CAD FOSS. All students were scheduled to learn all alternative 3D-CAD FOSS which are selected from simplified QFD as block course. At the end of course, all students must complete the questionnaires that were initiative from the selected criteria of simplified QFD.

6. Results

6.1 The Result of Exploring and Establishing a List of Alternative 3D-CAD FOSS for Selection to be Used in Mechanical Engineering Education

The voices among makerspaces in social networks exhibited that the most popular votes of 3D-CAD FOSS are FreeCAD and OpenSCAD. Authors verified the votes by analysis the number of downloads software via SourceForge platform. Figure 3. shows that FreeCAD has achieved 4,753,860 downloads since registering in 2003, while OpenSCAD looked contrary to social vote with just 9,307 downloads since

registering in 2019. Although the number of downloads does not mean that the software is used by makerspaces after downloading exactly, it can imply the potential to being 3D-CAD FOSS for makerspaces. Especially in Thailand, download statistics from SourceForge exposed that FreeCAD (32,970 downloads in Thailand) is more popular than OpenSCAD (24 downloads in Thailand) significantly. Authors believed it is because FreeCAD is a traditional GUI based parametric modeling where 2D profiles are sketched and then are transformed into 3D solid models by specific tools, so people should be familiar. While OpenSCAD is programming CAD in which 3D solid models are built via script-based language. This contradicts the natural inclination of people to communicate the shape of objects through drawing rather than through typing. At this stage, FreeCAD was the possible 3D-CAD software that passed the screening.

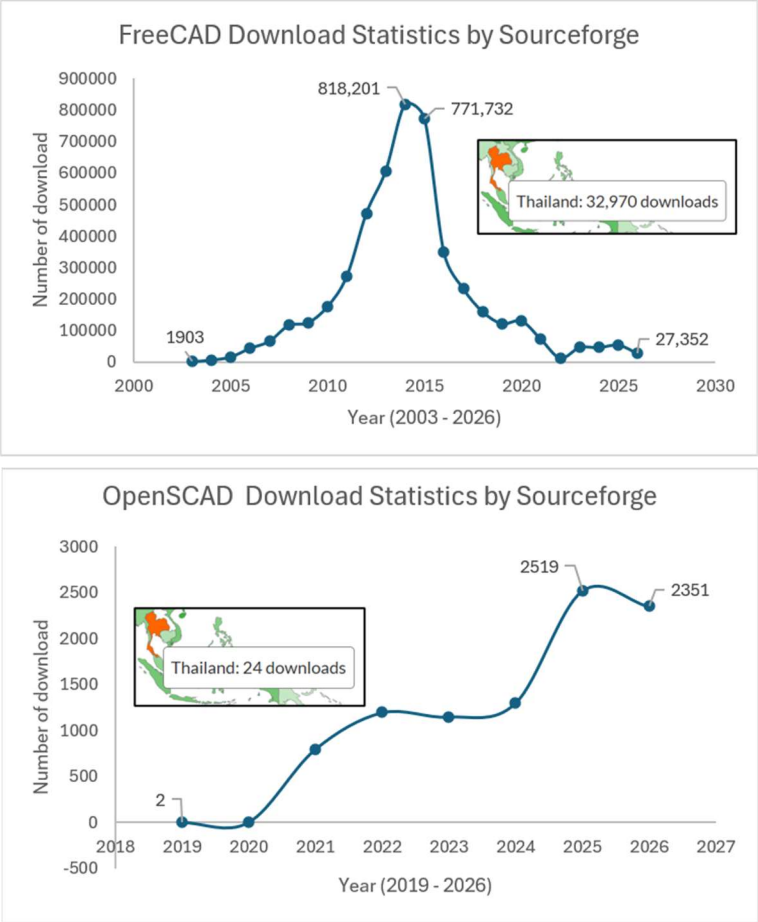


Figure 3. Download Statistics of FreeCAD and OpenSCAD via SourceForge Platform

Although results extracted from Castro et al. (2019) showed that rattleCAD, BRL CAD, and FreeCAD are the top three of 3D-CAD FOSS downloaded from SourceForge platform, the authors found rattleCAD scoped as specialized 2D parametric CAD for design bicycle frames only, it could handle 3D by exporting a macro that need to be linked to other 3D-CAD software such FreeCAD or OpenSCAD (OpenSCAD, 2026), while BRL-CAD was mathematically accurate 3D-CAD software that heavily specialized in the defense sector and ballistics simulation (Rosenberger, 2026). Hence, rattleCAD and BRL CAD were cut away from the research framework in terms of 3D parametric creation and general used in mechanical engineering education. Additionally, the authors validated using both FreeCAD and OpenSCAD by discussion with the

second-year students (most students were vocational graduates and almost were already working in industry) in the subject “Engineering drawing”. They chose to use FreeCAD if possible and denied using OpenSCAD due to avoiding script-programming. At the time, they also feedbacked on 3D-CAD FOSS they have used for work normally or even for hobbies. Surprisingly, the survey results coincidentally aligned with research by Junk & Kuen (2016) which pointed out using some FOSS such as SketchUp, Blender and Autodesk 123D. Certainly, those software have been widely used for makerspaces in Thailand as well. At the time, the license-free 3D-CAD software that was being used at authors’ institute was Autodesk 123D. Although Autodesk's official support for 123D Design is over today, it is still available to be downloaded via Autodesk community and can be used until today. While SketchUp is free only for people without business expected, but is not free for educational institutes, Hence, Sketch is cut away from the research in terms of licensing fee. Finally, three software were included in the evaluation and selection: FreeCAD, Blender3D and Autodesk 123D Design.

6.2 The Result of Exploring and Establishing a List of Proper Criteria which is Used for Selection of the 3D-CAD FOSS to be Used in Mechanical Engineering Education

Authors extracted selection criteria for 3D-CAD software from a few selected papers (Okudan, 2004; Prasad & Chakraborty, 2016; Junk & Kuen, 2016; Di Donato & Abita, 2019, Özsoy, 2020; Hebebci & Maya Hebebci, 2021; Gaha et al., 2021; Kantaros et al., 2022) and could summarize them into a list as Figure 4.

Criteria which are referred in the literatures	Okudan,2004	ISO/IEC 9126, 2001	Prasad et al, 2016	Junk et al, 2016	Donato et al, 2019	Özsoy, 2020	Hebebci et al, 2021	Gaha et al, 2021	Fusiripong et al, 2022	Kantaros et al, 2022	Count
3D parametric function includes engineering capability such as assemblyand 2D-drafting	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes		Yes	Yes		8
Licensing free includes hardware requirement and maintenance (investing)	Yes	Yes	Yes	Yes					Yes		5
Ease of use includes friendly GUI, tutorials, training, and language (learning curve)	Yes			Yes			Yes				3
Special capability such as animation, rendering, analysis and CAE		Yes				Yes			Yes		3
Interfaces for data transfer such as STP, STL, OBJ that available to connect other software					Yes		Yes	Yes			3
Available multi-OS platform				Yes			Yes			Yes	3
Accessibility via internet includes cloud and collaboration							Yes	Yes			2

Figure 4. Summary of Selection Criteria for 3D-CAD Software

Regarding to the Figure 4., it was indicated that the “3D parametric function” for creating the precise geometric features was still being most essential criteria (with 8 tally). Although the “License fee and investments in high-performance hardware” were also crucial criteria for commercial packages (with 5 tally), with the expectation of this research on using FOSS which should be inherent affordability, hence authors decided to cut this criteria off the evaluation. “Ease of use” seems to be a secondary importance (with 3 tally), however, with the aspect of using FOSS, it was not only about friendly GUI or familiar menu. But it was about friendly user manuals. As discussed with students in “Engineering drawing” class about

the expected 3D-CAD FOSS, almost looked desire to use them, but they appealed lack of proper tutorial availability merely in Thai language. Authors believed this is the most disadvantage of FOSS for Thai students. Authors thought that the junior students who use 3considerationare probably not expect to use “Special capability” (with 3 tally) such as motion analysis at the second-year subject of “Engineering drawing”, however, authors kept this criteria for considering by other stakeholders in the brainstorming session. The authors disagree with summary on criteria “Interface data transfer” (with 3 tally), as surveying via social networks, “CAD-file exchange” indicates it was one of the most important criteria especially file exchanging among makerspaces who applied the different FOSS. “Available multi-OS platform” was the most dominant of general FOSS and it should not be requested to the new software development anymore. For final issue, “Accessibility via internet includes cloud and collaboration” (with 2 tally), it looked appealing to some new generation students. For Thai, however, except the problem of unstable of internet connection, cloud-based applications probably not user-friendly for someone. The authors as a former generation would not comment here but deployed this criteria into QFD for brainstorming in which students must be joined and voiced by themselves.

6.3 The Result of Presenting a Method for Selecting the Most Suitable 3D-CAD FOSS for Mechanical Engineering Education by Using Simplified QFD

QFD for selecting the open-source 3D-CAD		**FreeCAD**	**Autodesk 123D**	**Blender**
Selected criteria	**Criteria score**			
3D parametric function include engineering capabilities such as assembly and automatic 2D-drafting	3	3	1	1
		9	***3***	***3***
Ease of use include tree, friend GUI and menu, teaching tutorials & materials especially in Thai language	3	2	1	2
		6	***3***	***6***
Special capabilities such as animation, rendering, engineering analysis both mechanism and CAE	2	3	1	1
		6	***2***	***2***
Interface for data transfer such STP, STL, OBJ that available to connect other software	3	3	2	2
		9	***6***	***6***
Accessibility by internet and cloud that facilitate the collaboration	1	1	2	1
		1	***2***	***1***
Total Score		***31***	***16***	***18***

Figure 5. Complete Simplified QFD for Selecting the 3D-CAD FOSS

During the 8 hours-brainstorming session (4 hours in the morning and afternoon periods), authors observed that, in addition to the research team presenting information on alternative software and selection criteria from point 5.1 and 5.2, participants exhibited two distinct behavioral patterns. The first group, exhibiting significant input and demonstrating a certain knowledge about 3D-CAD software, consisted of student representatives and representatives from academic affairs. The second group, which did not raise any negative opinion and readily agreed with the majority, consisted of representatives from financial and Head of computer and IT systems section. By overview of the brainstorming session was smooth and positive. However, some participants had some confusion about the scoring and struggled to visualize the concepts presented. At times, the researchers had to present videos demonstrating about

CAD-file exchange between software packages and specific applications such as finite element analysis and 3D printing via YouTube, leading to revision of the simplified QFD many time throughout the session.

The completely simplified QFD decision matrix obtained from the list of possible 3D-CAD FOSS and the list of criteria for selection of 3D-CAD FOSS as shown in Figure 5. Results obtained by simplified QFD showed that FreeCAD got the highest score (9+6+6+9+1 = 31) that was identified as the most suitable 3D-CAD FOSS based on considered criteria, followed by Blender (3+6+2+6+1 =18), and Autodesk 123D Design (3+3+2+6+2 = 16) respectively.

Finally, all participants recognized and agreed to validate three selected 3D-CAD FOSS by real teaching experiment to ensure their consistency, and discussion about teaching plan as explained in 6.4.

6.4 The Result of Validating the Alternative 3D-CAD FOSS Obtained from Simplified QFD-Based Selection Method by Real Teaching Experiment and Student Questionnaires

Results obtained from complete simplified QFD decision matrix that was validated with students' questionnaire after teaching experiments on three 3D-CAD FOSS namely FreeCAD, Autodesk 123D Design and Blender. 8 students were scheduled to learn three 3D-CAD FOSS throughout 12 weeks (4 weeks for each software). As consulted with students, although students could complete the assignment to create 3D solid model by using those three alternative 3D-CAD FOSS identically as shown in Figure 6., but they complete it with the different efforts based on each software. FreeCAD and Autodesk 123D Design could work in 3D parametric style for precise engineering objects. While non-parametric modeling software like Blender is more focused on sculptural objects, dimension and shape cannot be controlled identically.

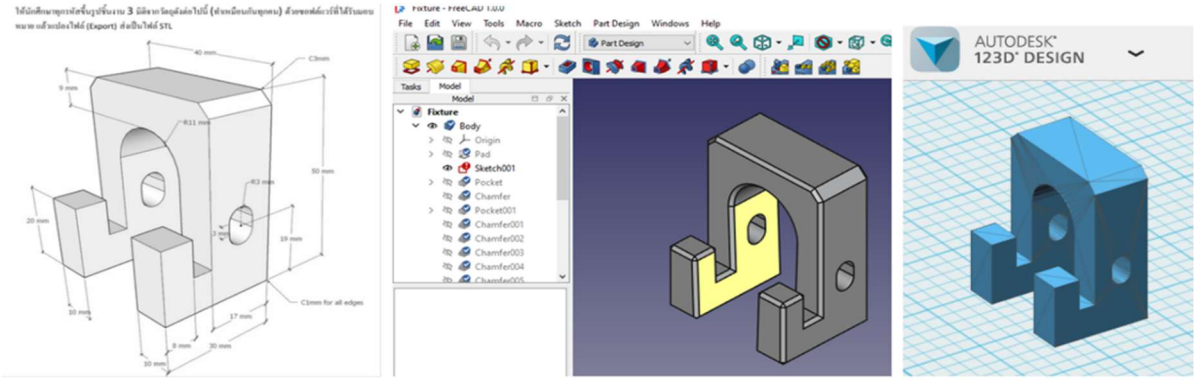


Figure 6. An Example of Assignment to Create 3D Solid Model by Blender, FreeCAD and Autodesk 123D

By overall survey, 8 students unanimously voted FreeCAD as the most suitable 3D-CAD FOSS for use in mechanical engineering education, achieving the highest score of 143 from total score 192 (or 74.5%), as shown in Figure 7. and Figure 8. Therefore, verifying the consistency of the scores is unnecessary.

However, upon closer look in details, it can be found that FreeCAD rather be good for “parametric function” and “interface data transferring”, but it rather be dropped for “ease of use” about GUI and especially worst about available tutorials.

(Research Article)

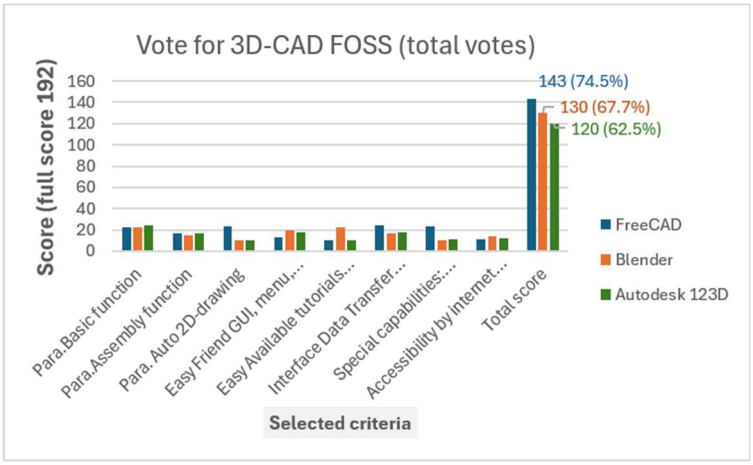


Figure 7. Total Students' Vote After Using Three 3D-CAD FOSS (FreeCAD, Blender and Autodesk 123D)

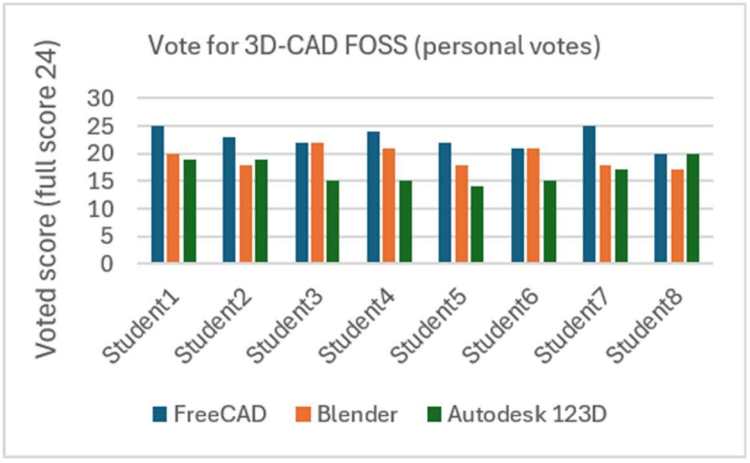


Figure 8. Personal Students' Vote After Using Three 3D-CAD FOSS (FreeCAD, Blender and Autodesk 123D)

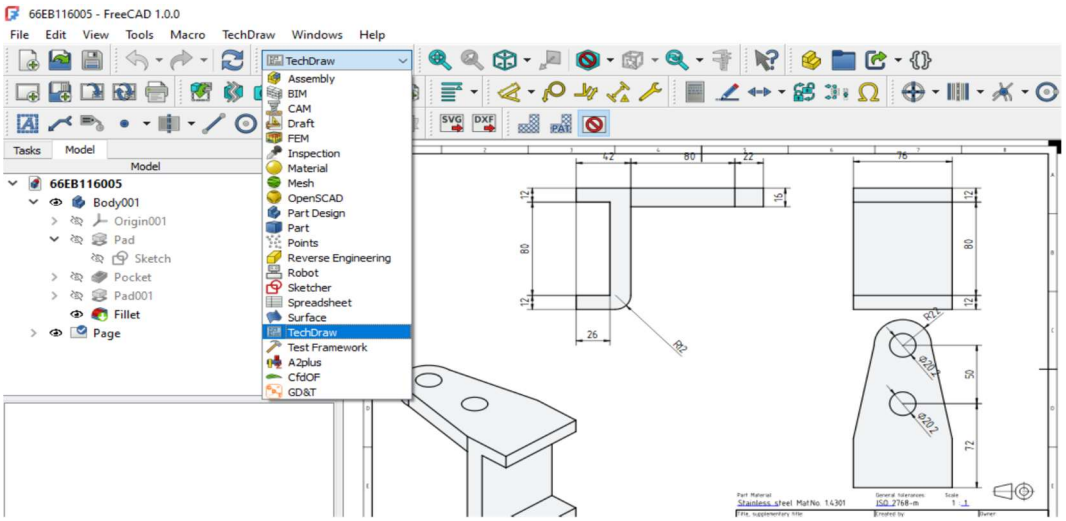


Figure 9. 2D-Drawing with Dimensions of Another Assignment that Obtained from FreeCAD "TechDraw"

Students also complained that Autodesk 123D and Blender could not provide formal 2D-drawing which needs to be used for manufacturing as they obtained from FreeCAD via "TechDraw" workbench as Figure 9. This is the main disadvantage of Autodesk 123D and Blender for mechanical engineering applications. Students also commented that FreeCAD has some special capabilities that Autodesk 123D and Blender lack, namely "FEM workbench" for finite element methods. Although students do not use this capability even do not know their performance right now, however, they know that they will take this courses in the next academic year, and they noticed FreeCAD has studying aids for the courses in the FreeCAD menu.

7. Discussion

The authors follow the concept of Okudan (2004) by providing effective teaching materials, focusing primarily on basic functions with sufficient examples and exercises before conducting the teaching experiment. Although the authors were not concerned about the time to complete the assignment as his research, the students in the teaching experiments could create 3D solid models completely by using three alternative 3D-CAD FOSS. This can confirm the need for a teaching manual for 3D-CAD, either commercial software or FOSS. Some students also reported that, in addition to the user manual prepared by the authors as their instructors, they could search the ways to use the 3D-CAD FOSS through other channels, mostly videos posted in YouTube. They reflected the main problem of using CAD FOSS, especially FreeCAD and Autodesk 123D, is lack of comprehensive tutorials in Thai, unlike other commercial CAD software. Most in-depth tutorials on special capabilities of FreeCAD are in foreign languages other than English that lead it more difficult for Thai beginners. Therefore, it points that successful implementation of 3D-CAD FOSS such as FreeCAD depends on responsibility of the instructors, who need to dedicate sufficient time to preparing effective teaching materials based on basic functions. Then students who are familiar with the basic functions should be able to build upon this by exploring advanced features independently.

The authors also applied the concept of Okudan (2004) in which software-selection criteria should not be limited to a few experts but should involve all stakeholders. Authors applied this concept to QFD that contrasts with the work of Prasad & Chakraborty (2016) who developed QFD developed from Visual Basic to ensure independent selection by each individual, believing that each selector would not be swayed by others even selectors have not in-depth technical knowledge of the functionality, capabilities, cost-effectiveness, and suitability of the CAD software. Instead, authors created and implemented simplified QFD in a face-to-face environment among diverse selectors as stakeholders to avoid incompleteness of selection. Although the authors found the situation in which some participants readily agreed with the majority as Prasad & Chakraborty (2016) commented, there is nothing to point which one is correct, the results obtained from teaching experiment still imply successfulness of using alternative 3D-CAD FOSS selected by simplified QFD.

There is an issue concerning software versions. FOSS can be updated frequently without prior notice. In this case of FreeCAD, it has been updated three times in the past three years, and it may no longer be possible to download familiar older versions. Furthermore, the new versions may not be compatible with older operating system. This means users must constantly monitor its updates, both in terms of downloading and trying out new versions to familiarize themselves in which some functions may be changed or even cancelled (which often leads to updated teaching materials) and the possibility that

some FOSS may be discontinued such as Autodesk 123D, which can pose a significant learning risk for the beginners. However, for at least, download statistics as shown in the previous Figure 3., FreeCAD has achieved 4,753,860 downloads since registering in 2003, this confirms its sustainability to a certain extent.

8. Conclusion

Establish a list of alternative 3D-CAD FOSS and a list of proper criteria which is used for selection of the 3D-CAD FOSS to be used in mechanical engineering education could be easily performed by rough surveying and screening via various social network-channels especially makerspace communities who are exhausted about FOSS. The most benefit of information obtained by social networks is fast recognition about technology trend, but it must be weighed with reliability. Therefore, they need to be validated by results from research papers.

Certainly, simplified QFD still needs reliable information from both ways. Application of simplified QFD for Selecting 3D-CAD FOSS that is presented in this research can be used to evaluate and select 3D-CAD FOSS reasonably, because it is a powerful tool that can be implemented in concurrent engineering environment among stakeholders.

The consistency of the selected results obtained from simplified QFD can be finally validated through the real teaching experiments that can be evaluated by assignment and examination during the class or even questionnaires at the end of the course.

While educational institutions achieve the goal of providing the 3D-CAD FOSS, students themselves gain awareness of the methods and experiences in selecting FOSS, which is likely to expand and become more diverse in the future.

9. Recommendation

Authors just aware of an interesting criteria during the teaching experiment namely “sustainability” of the 3D-CAD FOSS. This is the criteria that concerns the existence of FOSS in the future. The existence of FOSS usually originates from someone independently, moving on among specific communities, often lacking financial support. Membership within these communities is informal and free from business obligations, resulting in development and modifications that are largely unregulated. For example, version changes can often happen without being announced in advance, or development can suddenly cease without explanation. This is significant risk for those seeking and using FOSS, especially for Thai users who face against difficulties accessing it at the first time due to language barriers and limited user manuals. Investing effort and time in FOSS but finding it discontinued would be severe loss. Therefore, the authors think for this criteria should be continuously studied.

Authors admitted that this research did not use this research problem by comprehensive tools of multi-criteria decision-making such as AHP, ANP, TOPSIS, PROMETHEE, ELECTRE, VIKOR etc., because of the limitation of time that committed to institutional executive. Therefore, the authors paved the scope of this research as case study research. For at least the authors could recognize some insight into this research problem and can be continued more comprehensively with FOSS for CAE application in the future.

To further enhance students' proactive use of 3D-CAD FOSS in their learning, starting with conceptual 3D drafting in mind, creating and modifying the 3D model via CAD software, culminating in the real production of tangible 3D workpieces, the author used a freeware 3D printing software; Creality

Print (Creality, 2026) to print the students' CAD files from the teaching experiment as shown in Figure 9. The author observed the students' enthusiasm when seeing on their real workpiece, evident in their discussions.

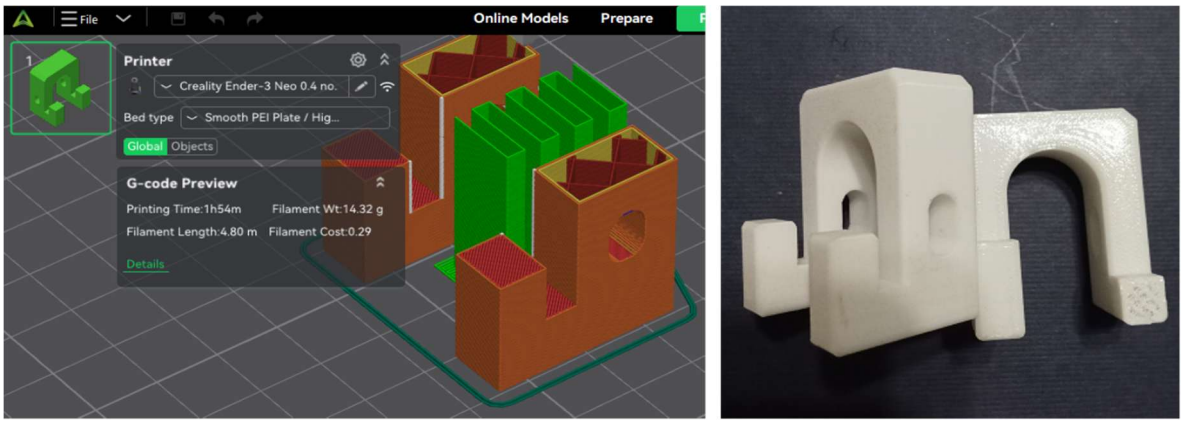


Figure 9. Real Workpiece is Made from the Tested CAD File of Student by 3D Printing

This reflects the possibility that incorporating 3D printing into CAD teaching would make studying more enjoyable for students, fostering further learning and allowing them to envision the future of open design (OD) technology. Institutions themselves might not need to invest in expensive CNC removal manufacturing machines such as CNC milling for teaching; instead, they could utilize much cheaper CNC additive manufacturing such as 3D printers. This issue, however, should be further researched.

10. Declaration of Generative AI

During the preparation of this work, the author(s) used Google Translate to refine the language of the manuscript. The authors reviewed and verified the text generated by the AI tools and took full responsibility for the content of the publication.

11. CRediT Author Statement

Chatchawan Sornsiri: Conceptualization, Methodology, Investigation, Resources, Classroom Instruction, Data Analysis, Writing and Editing the Manuscript, Supervision and Project Administration

Soontorn Wongsen: Training manual providing, Classroom examination, Resources, Consulting, Reviewing the manuscript. Investigation, Formal Analysis, Writing – review & editing, Resources, Project Administration

Vit Wanvijit: Resources, Consulting, Reviewing the Manuscript, 3D Printing. Investigation, Writing – Review & Editing, Resources

All authors read and approved the final manuscript.

12. References

Aytac, A., & Deniz, V. (2005). Quality Function Deployment in Education: A Curriculum Review. *Quality & Quantity*, *39*(4), 507–514. https://doi.org/10.1007/s11135-004-6814-8

Brussee, W. (2004). *Statistics for Six Sigma Made Easy*. McGraw-Hill.

Castro, H., Putnik, G., Castro, A., & Fontana, R. D. B. (2019). Open Design Initiatives: An Evaluation of CAD Open Source Software. *Procedia CIRP*, *84*, 1116–1119. https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.08.001

Chan, L.-K., & Wu, M.-L. (2002). Quality Function Deployment: A Literature Review. *European Journal of Operational Research*, *143*(3), 463–497. https://doi.org/10.1016/S0377-2217(02)00178-9

Creality. (2026). *Creality Print V7.1.1.4472 for Windows* [Computer Software]. https://www.creality.com/download#sparkx

Di Donato, D., & Abita, M. (2019). Low-Cost 4D BIM Modelling: A Comparison Between FreeCAD and Commercial Software. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLII-2-W17*, 107–114. https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W17-107-2019

Fusiripong, P., & Nuansomsri, C. (2022, May 13). Identifying Evaluation Criteria for 3D Software Selection: A Case Study in Private Educational Institution. *The 13th Hatyai National and International Conference*, 436-472. Hat Yai University.

Gaha, R., Nicolet, P.-M., Bricogne, M., & Eynard, B. (2021). Teaching Experiments for Engineering Education Based on Cloud CAD Software. *Proceedings of the Design Society, 1*, 2951–2960. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/pds.2021.556

Hebebci, M. T., & Maya Hebebci, G. (2021, November 11-14). Evaluation of 3D Design Applications in STEM Education. *International Conference on Studies in Education and Social Sciences*, 28-39. ISTES Organization.

International Organization for Standardization. (2001). *Software Engineering-Product Quality-Part 1: Quality Model (ISO/IEC 9126-1:2001).* https://www.iso.org/standard/22749.html

International Organization for Standardization. (2023). *Systems and Software Engineering-Systems and Software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) Quality-in-Use Model (ISO/IEC 25019:2023).* https://www.iso.org/standard/35733.html

Junk, S., & Kuen, C. (2016). Review of Open Source and Freeware CAD Systems for Use with 3D-Printing. *Procedia CIRP*, *50*, 430–435. https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.04.174

Kantaros, A., Diegel, O., Piromalis, D., Tsaramirsis, G., Khadidos, A. O., Khadidos, A. O., Khan, F. Q., & Jan, S. (2022). 3D Printing: Making an Innovative Technology Widely Accessible through Makerspaces and Outsourced Services. *Materials Today: Proceedings*, *49*, 2712–2723. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.09.074

Le, A., Hashemi, A., Ottensmeyer, M., & Sabet, H. (2025). Flexible and Generic Framework for Complex Nuclear Medicine Scanners Using FreeCAD/GDML Workbench. *Computer-Aided Design and Applications, 23*(1), 1–18. https://doi.org/10.14733/cadaps.2026.1-18

Okudan, G. E. (2009). A Methodology for Optimum Selection of Solid Modeling Software. *The Engineering Design Graphics Journal*, *68*(3). https://doi.org/10.18260/edgj.v68i3.36

OpenSCAD. (2026). *The Programmers Solid 3D CAD Modeller* [Computer Software]. https://openscad.org/downloads.html

Özsoy, H. Ö. (2020). Evaluation of 3D Modeling Programs for Industrial Design Use. *Journal of Polytechnic, 23(4), 1153-1166.* https://doi.org/10.2339/politeknik.481241

Prasad, K., & Chakraborty, S. (2016). A QFD-Based Decision-Making Model for Computer-Aided Design Software Selection. *International Journal of Industrial Engineering and Management*, *7*(2), 49-58. https://doi.org/10.24867/ijiem-2016-2-107

Print N Repeat. (2026, April 13). *Which "FREE" CAD Software is Actually the Best?* [Video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=NRCjsGVQq7s

Rosenberger, M. (2026). *Welcome to rattleCAD 4.0* [Computer Software]. https://www.rattlecad.com

Tutorialfied. (2026, January 31). *Top 5 Best Free CAD Software for Students 2026* [Video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=FH7RJnSq6Lc

May-August 2026, 4(2), e4203
DOI: 10.65205/jcct.2026.e4203
Journal of Computer and Creative Technology
วารสารคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสร้างสรรค์
ISSN 2985-1580 (Print)
ISSN 2985-1599 (Online)

(Research Article)

Design and Development of a 3D Cultural Exhibition Model for the Creative Cultural Park at Rajamangala University of Technology Isan

Sittisak Rattanaprapawan[1,*], Wanlop Srisamran[2], and Phahonyood Boodju[3]

[1,2,3]Program in Multimedia Technology, Faculty of Architecture and Creative Arts, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand;
Email: [1]sittisak.rt@rmuti.ac.th, [2]wanlop.sr@rmuti.ac.th, [3]phahonyood.bo@rmuti.ac.th

[*]*Corresponding author:* Sittisak Rattanaprapawan (sittisak.rt@rmuti.ac.th)

Received: 16 June 2026; **Revised:** 28 August 2026; **Accepted:** 30 August 2026; **Published:** 30 August 2026

Abstract

This study aimed to (1) analyze museum and exhibition design principles suitable for the local cultural context of the cultural exhibition space at the Creative Cultural Park, Rajamangala University of Technology Isan, (2) develop a 3D cultural exhibition model to communicate local cultural identity, and (3) evaluate the suitability of the developed 3D model and synthesize guidelines for applying AR/VR technologies to enhance the exhibition. The study employed a Research and Development (R&D) design using an exploratory sequential mixed-methods approach Phase 1 comprised document analysis, site analysis, and semi-structured interviews with five experts. Phase 2 developed and refined the prototype using SketchUp and Blender. Phase 3 evaluated the model with 370 faculty members, staff, and students selected through convenience sampling, together with expert evaluation (n = 5) and behavior mapping. Data were analyzed using content analysis and descriptive statistics, including Mean, Standard Deviation, frequency, and percentage. The findings showed that the integrated use of contextual learning, constructivist learning, participatory design, and user-centered design provided an appropriate basis for the cultural exhibition design. User evaluation indicated a very high level of overall suitability ($\bar{x}$ = 4.83), with cultural interpretation and local identity receiving the highest mean score ($\bar{x}$ = 4.94). Expert evaluation also indicated a very high level of overall suitability ($\bar{x}$ = 4.83), while the technology dimension received a comparatively lower but still high rating ($\bar{x}$ = 4.00). Behavior mapping further showed that 95.7% of participants discussed exhibition objects with others, reflecting active social interaction. The study contributes an integrated Input–Process–Output framework that connects local cultural context, learning theories, participatory and user-centered design, 3D exhibition development, and AR/VR application guidelines for educational and community cultural spaces.

Keywords: Exhibition Design, Cultural Exhibition, 3D Cultural Exhibition Model, Contextual Learning, AR/VR Technologies

Copyright © 2026 Journal of Computer and Creative Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC-ND).

Citation:
Rattanaprapawan, S., Srisamran, W., & Boodju, P. (2026). Design and Development of a 3D Cultural Exhibition Model for the Creative Cultural Park at Rajamangala University of Technology Isan. *Journal of Computer and Creative Technology, 4*(2), e4203. https://doi.org/10.65205/jcct.2026.e4203

May-August 2026, 4(2), e4203
DOI: 10.65205/jcct.2026.e4203
Journal of Computer and Creative Technology
วารสารคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสร้างสรรค์
ISSN 2985-1580 (Print)
ISSN 2985-1599 (Online)

(Research Article)

การออกแบบและพัฒนาแบบนิทรรศการจำลอง 3 มิติเชิงวัฒนธรรม ณ อุทยานวัฒนธรรมสร้างสรรค์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

สิทธิศักดิ์ รัตนประภาวรรณ[1,*] วัลลภ ศรีสำราญ[2] และ พหลยุทธ บุตรจู[3]

[1,2,3]สาขาวิชาเทคโนโลยีมัลติมีเดีย คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และศิลปกรรมสร้างสรรค์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จังหวัดนครราชสีมา 30000 ประเทศไทย;
Email: [1]sittisak.rt@rmuti.ac.th, [2]wanlop.sr@rmuti.ac.th, [3]phahonyood.bo@rmuti.ac.th

[*]*ผู้ประพันธ์บรรณกิจ:* สิทธิศักดิ์ รัตนประภาวรรณ (sittisak.rt@rmuti.ac.th)

รับบทความ: 16 มิถุนายน 2569; **แก้ไขบทความ:** 28 สิงหาคม 2569; **ตอบรับบทความ:** 30 สิงหาคม 2569;
เผยแพร่บทความ: 30 สิงหาคม 2569

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) วิเคราะห์หลักการออกแบบพิพิธภัณฑ์และนิทรรศการที่เหมาะสมกับบริบทวัฒนธรรมท้องถิ่น ณ อุทยานวัฒนธรรมสร้างสรรค์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน (2) พัฒนาแบบนิทรรศการจำลอง 3 มิติ ในการถ่ายทอดอัตลักษณ์ทางวัฒนธรรมท้องถิ่น (3) ประเมินความเหมาะสมของแบบนิทรรศการจำลอง 3 มิติที่พัฒนาขึ้น และสังเคราะห์แนวทางการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี AR/VR เพื่อยกระดับการจัดแสดง ใช้ระเบียบวิธีวิจัยและพัฒนา (R&D) ร่วมกับการวิจัยแบบผสมผสานเชิงสำรวจตามลำดับ ระยะที่ 1 วิเคราะห์เอกสาร พื้นที่ และการสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างผู้เชี่ยวชาญ 5 ราย ระยะที่ 2 พัฒนาและปรับปรุงต้นแบบด้วยโปรแกรม SketchUp และ Blender และระยะที่ 3 ประเมินแบบโดยผู้ใช้บริการ 370 คน ได้แก่ อาจารย์ บุคลากร และนักศึกษา คัดเลือกด้วยการสุ่มตัวอย่างตามความสะดวก ร่วมกับการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ (n = 5) และการสังเกตพฤติกรรม (Behavior Mapping) การวิเคราะห์ข้อมูลใช้การวิเคราะห์เนื้อหาและสถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ความถี่ และร้อยละ ผลการวิจัยพบว่า การบูรณาการแนวคิดการเรียนรู้ตามบริบททางวัฒนธรรมและกายภาพ การเรียนรู้แบบสร้างองค์ความรู้ การออกแบบแบบมีส่วนร่วม และการออกแบบที่เน้นผู้ใช้บริการเป็นศูนย์กลางเป็นฐานสำหรับการออกแบบนิทรรศการเชิงวัฒนธรรม ผลการประเมินโดยผู้ใช้บริการ พบว่า ความเหมาะสมโดยรวมอยู่ในระดับดีมาก ($\bar{x}$ = 4.83) โดยด้านการตีความและอัตลักษณ์ทางวัฒนธรรมมีค่าเฉลี่ยสูงสุด ($\bar{x}$ = 4.94) ส่วนผลการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญอยู่ในระดับดีมากเช่นกัน ($\bar{x}$ = 4.83) ขณะที่ด้านการใช้เทคโนโลยีมีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าด้านอื่นแต่ยังอยู่ในระดับดี ($\bar{x}$ = 4.00) ผลการสังเกตพฤติกรรมพบว่า ผู้เข้าชมร้อยละ 95.7 มีการชี้ หรือพูดคุยเกี่ยวกับวัตถุในนิทรรศการร่วมกับผู้อื่น สะท้อนการมีปฏิสัมพันธ์ทางสังคมในระดับสูง งานวิจัยนี้เสนอกรอบแนวคิดแบบปัจจัยนำเข้า–กระบวนการ–ผลลัพธ์ (Input–Process–Output) ที่เชื่อมโยงบริบทวัฒนธรรม ทฤษฎีการเรียนรู้ การออกแบบแบบมีส่วนร่วมและเน้นผู้ใช้ การพัฒนาแบบนิทรรศการจำลอง 3 มิติ และแนวทางประยุกต์ใช้เทคโนโลยี AR/VR สำหรับพื้นที่การเรียนรู้ในสถาบันการศึกษาและชุมชนท้องถิ่น

คำสำคัญ: การออกแบบนิทรรศการ, นิทรรศการเชิงวัฒนธรรม, แบบนิทรรศการจำลอง 3 มิติ, การเรียนรู้ตามบริบท, เทคโนโลยี AR/VR

Copyright © 2026 Journal of Computer and Creative Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC-ND).

การอ้างอิง:
สิทธิศักดิ์ รัตนประภาวรรณ, วัลลภ ศรีสำราญ, และ พหลยุทธ บุตรจู. (2569). การออกแบบและพัฒนาแบบนิทรรศการจำลอง 3 มิติเชิงวัฒนธรรม ณ อุทยานวัฒนธรรมสร้างสรรค์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน. *วารสารคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสร้างสรรค์, 4*(2), e4203. https://doi.org/10.65205/jcct.2026.e4203

(Research Article)

1. บทนำ (Introduction)

ในยุคดิจิทัลที่เทคโนโลยีมีบทบาทสำคัญต่อการสื่อสารและการอนุรักษ์วัฒนธรรม เทคโนโลยีความเป็นจริงเสมือน (Virtual Reality: VR) ความเป็นจริงเสริม (Augmented Reality: AR) และการสร้างภาพจำลองเสมือนจริง (Virtual Simulation) ได้กลายเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูงในการออกแบบและพัฒนาพื้นที่จัดแสดง (Parry, 2010; Bautista, 2014; Wen & Ma, 2024) นอกจากนี้ในบริบทของศิลปวัฒนธรรมท้องถิ่นที่มุ่งเน้นการนำเสนออัตลักษณ์อย่างสร้างสรรค์และยั่งยืน (Bekele et al., 2018) การออกแบบนิทรรศการจำลอง 3 มิติ จึงจำเป็นต้องบูรณาการทั้งมิติสุนทรียภาพ (Aesthetics) อรรถประโยชน์ด้านการใช้สอย (Functionality) และความสอดคล้องกับบริบททางวัฒนธรรม (Cultural Context) เข้าด้วยกันอย่างสมดุล เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้เข้าชมในยุคปัจจุบัน

ศูนย์วัฒนธรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จัดตั้งขึ้น ณ อาคารอุตสาหกรรม 2 เพื่อเป็นกลไกขับเคลื่อนงานวิจัยและนวัตกรรมด้านศิลปวัฒนธรรมของจังหวัดนครราชสีมา (Office of the President, 2023) อาคารดังกล่าวนอกจากจะมีความสำคัญทางประวัติศาสตร์จากการเสด็จพระราชดำเนินในปี พ.ศ. 2507 แล้ว ยังเป็นตัวอย่างสถาปัตยกรรมสมัยใหม่ที่โดดเด่นด้วยการประยุกต์ใช้วัสดุพื้นถิ่น เช่น เครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียน (Wongsalee, 2017) ทั้งนี้ แม้พื้นที่จัดแสดงนิทรรศการหมุนเวียนขนาด 150 ตารางเมตร จะถูกใช้งานอย่างต่อเนื่องเพื่อนำเสนอผลงานและสะท้อนความหลากหลายของวัฒนธรรมโคราช แต่ความท้าทายสำคัญคือการสร้างสมดุลระหว่างการรักษาคุณค่ามรดกทางวัฒนธรรมกับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ เพื่อสร้างประสบการณ์การเรียนรู้ที่มีความหมายแก่ผู้เข้าชม (Rujjanapan et al., 2023) งานวิจัยนี้จึงมุ่งพัฒนาแบบนิทรรศการจำลอง 3 มิติ เพื่อเป็นเครื่องมือในการออกแบบที่ตอบโจทย์ทั้งการสื่อสารอัตลักษณ์ท้องถิ่น การส่งเสริมการมีส่วนร่วม และการยกระดับประสิทธิภาพการจัดแสดงอย่างยั่งยืน

ข้อจำกัดทางกายภาพของการจัดนิทรรศการรูปแบบดั้งเดิม ส่งผลให้การพัฒนาแบบนิทรรศการจำลอง 3 มิติ (3D Exhibition Simulation) กลายเป็นโครงสร้างพื้นฐานดิจิทัลที่สำคัญในการก้าวข้ามข้อจำกัดด้านพื้นที่และเวลา การเปลี่ยนผ่านสู่รูปแบบจำลองเสมือนจริงนี้ นอกจากจะช่วยเพิ่มขีดความสามารถในการเข้าถึง (Accessibility) ผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์ เพื่อขยายโอกาสให้แก่ผู้เข้าชมระยะไกลแล้ว ยังเป็นกลยุทธ์สำคัญในการดึงดูดกลุ่มคนรุ่นใหม่ (Digital Natives) ให้เข้าถึงและร่วมซึมซับมรดกทางวัฒนธรรมท้องถิ่น ยิ่งไปกว่านั้น การบูรณาการเทคโนโลยีความเป็นจริงเสริม (AR) และความเป็นจริงเสมือน (VR) เข้ากับแบบจำลอง 3 มิติ ยังช่วยปรับเปลี่ยนบทบาทของผู้ชมจากการรับรู้เชิงรับ (Passive Viewing) ไปสู่การมีปฏิสัมพันธ์เชิงรุก (Active Interaction) ซึ่งศักยภาพของเทคโนโลยีเสมือนจริงดังกล่าว จะช่วยกระตุ้นการรับรู้เชิงลึก เกิดสภาวะจดจ่อในการเรียนรู้ (Flow State) และสร้างอารมณ์ร่วมกับเนื้อหา อันนำไปสู่การตีความและการอนุรักษ์คุณค่าของอัตลักษณ์ทางวัฒนธรรมได้อย่างเป็นรูปธรรม

อย่างไรก็ดี จากการดำเนินงานที่ผ่านมาพบว่า พื้นที่จัดแสดงดังกล่าวยังประสบปัญหาสำคัญในการบริหารจัดการพื้นที่นิทรรศการหมุนเวียน เนื่องจากขาดข้อสรุปด้านแบบแปลนและการจัดวางที่เป็นรูปธรรมล่วงหน้า ส่งผลให้เกิดความผิดพลาดในการติดตั้งวัตถุจัดแสดง การใช้แสงสว่างที่ไม่เหมาะสม อาจส่งผลเสียต่อสื่อจัดแสดง รวมถึงการไหลเวียนของผู้ชม (Visitor Flow) ที่เกิดความแออัดและติดขัดในบางจุด ยิ่งไปกว่านั้น การปรับเปลี่ยนรูปแบบนิทรรศการในแต่ละครั้งมักต้องลองผิดลองถูกในพื้นที่จริง ทำให้เกิดความล่าช้า รบกวนโครงสร้างเดิมของอาคารทรงคุณค่าทางประวัติศาสตร์ และก่อให้เกิดงบประมาณบานปลายโดยไม่จำเป็น ประกอบกับการสื่อสารแนวคิดการจัดแสดงระหว่างนักออกแบบ ชุมชน และผู้บริหารยังขาดเครื่องมือจำลองภาพเสมือนจริงที่ชัดเจน ทำให้การถ่ายทอด “อัตลักษณ์ทางวัฒนธรรมโคราช” ถูกลดทอนลง และไม่สามารถดึงดูดความสนใจของผู้เข้าชมยุคดิจิทัลได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

นอกจากนี้ แม้จะมีการศึกษาการใช้แบบจำลอง 3 มิติในพิพิธภัณฑ์ทั่วไป แต่ยังขาดการศึกษาที่บูรณาการระหว่าง 'ข้อจำกัดของอาคารอนุรักษ์' 'การสื่อสารอัตลักษณ์ท้องถิ่นเฉพาะถิ่น (โคราช)' และ 'เทคโนโลยีดิจิทัลเชิงโต้ตอบ' เข้าด้วยกันอย่างเป็นระบบ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อปิดช่องว่างดังกล่าว โดยใช้วิธีการพัฒนางานออกแบบ 3 มิติ (3D Perspective Modeling) เป็นเครื่องมือวางแผนและจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงก่อนการลงมือปฏิบัติจริง ที่จะช่วยลดข้อผิดพลาด ลดต้นทุน และยกระดับการสื่อสารมรดกทางวัฒนธรรมให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

ความใหม่และความโดดเด่นของงานวิจัยนี้ (Research Novelty) อยู่ที่การนำเสนอกรอบแนวทางการออกแบบนิทรรศการแบบบูรณาการสามมิติ (Tri-Integrated Exhibition Design Framework) ซึ่งก้าวข้ามการใช้ภาพจำลอง 3 มิติเพื่อการนำเสนอทัศนียภาพทั่วไป ไปสู่การใช้แบบจำลอง 3 มิติเป็นเครื่องมือประเมินและแก้ปัญหาเชิงซ้อนพร้อมกันใน 3

(Research Article)

มิติ ได้แก่ (1) มิติการอนุรักษ์สถาปัตยกรรมประวัติศาสตร์ ภายใต้ข้อจำกัดของอาคารอุตสาหกรรม 2 (2) มิติการตีความอัตลักษณ์วัฒนธรรมท้องถิ่นโคราชผ่านสุนทรียภาพร่วมสมัย และ (3) มิติการออกแบบประสบการณ์ผู้ใช้ผ่านเทคโนโลยีดิจิทัลเชิงโต้ตอบ ซึ่งองค์ความรู้ที่พัฒนาขึ้นนี้ยังสามารถใช้เป็นภาพแบบจำลองต้นแบบสำหรับการพัฒนาพื้นที่จัดแสดงทางวัฒนธรรมในสถาบันการศึกษาอื่นๆ ต่อไป

2. วัตถุประสงค์งานวิจัย (Research Objectives)

1. เพื่อวิเคราะห์หลักการออกแบบพิพิธภัณฑ์และนิทรรศการที่เหมาะสมกับบริบทวัฒนธรรมท้องถิ่น
2. เพื่อพัฒนาแบบนิทรรศการจำลอง 3 มิติ ในการถ่ายทอดอัตลักษณ์ทางวัฒนธรรมท้องถิ่น
3. เพื่อประเมินความเหมาะสมของแบบนิทรรศการจำลอง 3 มิติ ที่พัฒนา และสังเคราะห์แนวทางการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี AR/VR เพื่อยกระดับการจัดแสดง

3. การทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)

3.1 เทคโนโลยีดิจิทัลและแบบจำลอง 3 มิติในการอนุรักษ์และจัดแสดงมรดกวัฒนธรรม

ในปัจจุบัน เทคโนโลยีดิจิทัลมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งในการเปลี่ยนผ่านพิพิธภัณฑ์จากพื้นที่เก็บรวบรวมวัตถุไปสู่พื้นที่แห่งการเรียนรู้ที่มีปฏิสัมพันธ์ (Bautista, 2014) การใช้แบบจำลอง 3 มิติ (3D Visual Simulation) และเทคโนโลยีเสมือนจริง ในงานวิจัยของ Wen & Ma (2024) ชี้ให้เห็นว่าการใช้สื่อมัลติมีเดียและเทคโนโลยีการเรียนรู้เชิงลึกช่วยยกระดับประสบการณ์ของผู้เข้าชม ทำให้เนื้อหาทางวัฒนธรรมที่ซับซ้อนเข้าใจได้ง่ายและน่าสนใจมากขึ้น นอกจากนี้ การใช้เทคโนโลยี Immersive ยังช่วยสร้าง “สภาวะไหลลื่น” (Flow State) ในการเรียนรู้ ทำให้ผู้ชมเกิดความจดจ่อและซึมซับอัตลักษณ์ทางวัฒนธรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Ifeanyi, 2024; Roussou, 2018) จากข้อได้เปรียบทางเทคโนโลยีดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงมุ่งประยุกต์ใช้เทคโนโลยีแบบบูรณาการ โดยใช้ซอฟต์แวร์สร้างแบบจำลองภาพ 3 มิติ เพื่อจำลองโครงสร้างและสภาพแวดล้อมเสมือนจริงของพื้นที่จัดแสดงขนาด 150 ตารางเมตร ณ ศูนย์วัฒนธรรม ควบคู่ไปกับการวางแผนนำเทคโนโลยีความเป็นจริงเสริม (AR) และความเป็นจริงเสมือน (VR) มาใช้เป็นกลไกหลักในโซนปฏิสัมพันธ์ (Interactive Zone) การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเหล่านี้มีเป้าหมายเพื่อแปลงเนื้อหาทางวัฒนธรรมท้องถิ่น เช่น ลวดลายศิลปกรรม หรือประวัติศาสตร์ ให้กลายเป็นสื่อดิจิทัลเชิงโต้ตอบ จะช่วยเปลี่ยนผ่านประสบการณ์ของผู้เข้าชมจากการรับสารทางเดียว (Passive Viewing) ไปสู่การมีส่วนร่วมเชิงรุก (Active Engagement) และสร้างสภาพแวดล้อมที่เอื้อต่อการเรียนรู้แบบสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองได้อย่างเป็นรูปธรรม

3.2 ทฤษฎีการเรียนรู้ในบริบทพิพิธภัณฑ์และนิทรรศการ

การออกแบบนิทรรศการที่มีประสิทธิภาพต้องวางอยู่บนพื้นฐานของทฤษฎีการเรียนรู้ โดยเฉพาะแนวคิด Constructivist Learning Theory ของ Hein (2012) ที่เชื่อว่าผู้ชมสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองผ่านประสบการณ์และการเชื่อมโยงกับสิ่งที่รู้อยู่เดิม สอดคล้องกับ Contextual Model of Learning ของ Falk & Dierking (2018) ที่อธิบายว่าการเรียนรู้ในพิพิธภัณฑ์เกิดขึ้นจากจุดตัดของ 3 บริบท คือ บริบทส่วนบุคคล (ความสนใจเดิม) บริบททางสังคม (การปฏิสัมพันธ์กับผู้อื่น) และบริบททางกายภาพ (สภาพแวดล้อมและการออกแบบพื้นที่) การนำแนวคิดเหล่านี้มาใช้ในการออกแบบนิทรรศการเชิงวัฒนธรรม ช่วยให้ผู้ออกแบบสามารถสร้างเส้นทางการเรียนรู้ที่ตอบสนองต่อความหลากหลายของผู้เข้าชมและส่งเสริมให้เกิดการตีความความหมายทางวัฒนธรรมในระดับที่ลึกซึ้งยิ่งขึ้น (Lewi et al., 2019; Soren, 2009)

3.3 การออกแบบนิทรรศการและนิทรรศการดิจิทัล (Exhibition and Digital Exhibition Design)

การออกแบบนิทรรศการร่วมสมัยได้เปลี่ยนผ่านจากการเป็นเพียงพื้นที่จัดวางวัตถุ (Object-Oriented) ไปสู่การเป็นพื้นที่สร้างประสบการณ์ (Experience-Oriented) ที่สถาปัตยกรรมและการเล่าเรื่องต้องทำงานร่วมกันอย่างมีนัยสำคัญ (Tzortzi, 2015) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการออกแบบ “นิทรรศการดิจิทัล” ที่บูรณาการสถาปัตยกรรมภายในเข้ากับเทคโนโลยีสารสนเทศ (Parry, 2010) การจัดนิทรรศการดิจิทัลไม่ได้หมายถึงการนำจอภาพมาตั้งแทนป้ายนิทรรศการแบบเดิม แต่คือการออกแบบปฏิสัมพันธ์ (Interaction Design) ที่อนุญาตให้ผู้ชมกำหนดเส้นทางการรับรู้ข้อมูลด้วยตนเอง (Non-Linear Narrative) การใช้สื่อประสม (Multimedia) ในพื้นที่จำลอง 3 มิติ ช่วยทลายข้อจำกัดทางกายภาพของพื้นที่จัดแสดงจริง ทำให้สามารถนำเสนอเนื้อหาทางวัฒนธรรมที่ซับซ้อนให้กลายเป็นประสบการณ์ที่ยืดหยุ่นและเข้าถึงได้ง่ายขึ้น

(Research Article)

3.4 การออกแบบที่เน้นผู้ใช้เป็นศูนย์กลาง (User-Centered Design: UCD) ในบริบทนิทรรศการ

การออกแบบที่เน้นผู้ใช้เป็นศูนย์กลาง (UCD) เป็นปรัชญาการออกแบบที่ให้ความสำคัญกับความต้องการ พฤติกรรม และข้อจำกัดของผู้ใช้งานในทุกขั้นตอนของการพัฒนา (Norman, 2013) เมื่อนำแนวคิด UCD มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบนิทรรศการ จะเป็นการย้ายจุดศูนย์กลางจาก “สิ่งที่ภัณฑารักษ์ต้องการสื่อสาร” มาเป็น “วิธีที่ผู้ชมจะสามารถทำความเข้าใจเนื้อหาได้ดีที่สุด” กระบวนการนี้เรียกร้องให้ผู้ออกแบบต้องทำความเข้าใจกลุ่มเป้าหมายอย่างลึกซึ้ง (Empathy) ในงานวิจัยนี้ คือ กลุ่มอาจารย์ บุคลากร และนักศึกษา มทร.อีสาน เพื่อให้การจัดวางผังพื้นที่ (Layout) การออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งาน (User Interface) และการกำหนดจุดปฏิสัมพันธ์ในแบบจำลอง 3 มิติ สอดคล้องกับพฤติกรรมการเรียนรู้จริงของผู้เข้าชม ช่วยลดความซับซ้อนทางปัญญา (Cognitive Load) และเพิ่มประสิทธิภาพในการสื่อสารอัตลักษณ์ทางวัฒนธรรมอย่างสูงสุด

3.5 การสังเคราะห์และช่องว่างขององค์ความรู้ (Synthesis and Literature Gap)

จากการสังเคราะห์และเปรียบเทียบวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบนิทรรศการจำลอง 3 มิติเชิงวัฒนธรรม พบว่า งานวิจัยในอดีตส่วนใหญ่มุ่งเน้นการศึกษากรณีใดกรณีหนึ่งเป็นการเฉพาะ เช่น การมุ่งเน้นการพัฒนาเทคโนโลยีภาพจำลอง 3 มิติเพื่อความสมจริงเชิงทัศนศิลป์เพียงอย่างเดียว (Visualization-Centric) หรือการศึกษาการใช้เทคโนโลยีเสมือนจริง (AR/VR) ในพิพิธภัณฑ์ขนาดใหญ่ที่ขาดการเชื่อมโยงกับบริบทสถาปัตยกรรมอนุรักษ์และอัตลักษณ์ท้องถิ่นเฉพาะถิ่น ยิ่งไปกว่านั้น งานวิจัยส่วนใหญ่ยังขาดการสังเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง “ทฤษฎีการเรียนรู้ตามบริบท” (Contextual Model of Learning) “กระบวนการออกแบบที่เน้นผู้ใช้เป็นศูนย์กลาง” (UCD) และ “การอนุรักษ์สถาปัตยกรรมประวัติศาสตร์” เข้าด้วยกันอย่างเป็นระบบ

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงเข้ามา เติมเต็มช่องว่างทางวิชาการ (Academic Gap) โดยการเสนอ “กรอบแนวทางการออกแบบนิทรรศการแบบบูรณาการสามมิติ” (Tri-Integrated Exhibition Design Framework) ที่เชื่อมโยงระหว่าง (1) การแก้ปัญหาข้อจำกัดทางสถาปัตยกรรมของอาคารประวัติศาสตร์ (2) การถ่ายทอดอัตลักษณ์วัฒนธรรมท้องถิ่นโคราชผ่านสุนทรียภาพร่วมสมัย และ (3) การใช้เทคโนโลยี 3D/AR/VR เพื่อกระตุ้นการเรียนรู้เชิงโต้ตอบของผู้ใช้บริการ ซึ่งเป็นการแปลงแนวคิดเชิงทฤษฎีไปสู่แบบจำลองต้นแบบ (Prototype Model) ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริงทั้งในเชิงปฏิบัติการและเชิงวิชาการ

4. กรอบแนวคิดงานวิจัย (Conceptual Framework)

การวิจัยนี้สังเคราะห์กรอบแนวคิดเชิงระบบ (Systems Theory) ร่วมกับทฤษฎีการออกแบบและการเรียนรู้เชิงวัฒนธรรม โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้า (Input) กระบวนการพัฒนา (Process) และผลลัพธ์ (Output/Outcome) ดังนี้

1. ปัจจัยนำเข้า (Input Factors) ได้แก่

1.1 ปัจจัยทางกายภาพและวัฒนธรรมท้องถิ่นโคราช (สภาพแวดล้อมและองค์ประกอบของอาคารอุตสาหกรรม 2 และสัญญะวัฒนธรรม)

1.2 ทฤษฎีการเรียนรู้เชิงวัฒนธรรม (Contextual Model of Learning ของ Falk & Dierking (2013) และ Constructivist Learning Theory ของ Hein (2012)

1.3 แนวคิดการออกแบบ (User-Centered Design ของ Norman (2013) และ Participatory Design ของ Simon (2010)

1.4 เทคโนโลยีดิจิทัลและสื่อใหม่ (3D Visual Simulation / AR / VR)

2. กระบวนการพัฒนา (Development Process) ผ่านกระบวนการออกแบบวิจัยและพัฒนา (R&D) และกระบวนการสังเคราะห์ผังพื้นที่สถาปัตยกรรม (Spatial Analysis & Diagramming) ประกอบด้วย การวิเคราะห์ Site Analysis, Bubble Diagram, Function Diagram, Circulation Diagram และ Interaction Diagram เพื่อแปลงทฤษฎีไปสู่แนวคิดการจัดสรรพื้นที่ 4 โซนหลัก (โซนต้อนรับ โซนจัดแสดงหลัก โซนปฏิสัมพันธ์ และโซนกิจกรรมเสริม)

3. ผลผลิตและผลลัพธ์ (Output & Outcome)

1.1 ผลผลิต (Output) ได้แก่ แบบนิทรรศการจำลอง 3 มิติเชิงวัฒนธรรม (3D Visual Simulation Model)

(Research Article)

1.2 ผลลัพธ์ (Outcome) ได้แก่ การยกระดับการรับรู้ของผู้ใช้บริการใน 5 มิติ ได้แก่ บริบทการเรียนรู้และความเข้าใจ, การมีส่วนร่วม, การสื่อสารอัตลักษณ์วัฒนธรรม, ประสบการณ์ทางอารมณ์, และผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้ รวมถึงการได้ภาพแบบจำลองต้นแบบ สำหรับการพัฒนาพื้นที่จัดแสดงในสถาบันการศึกษา

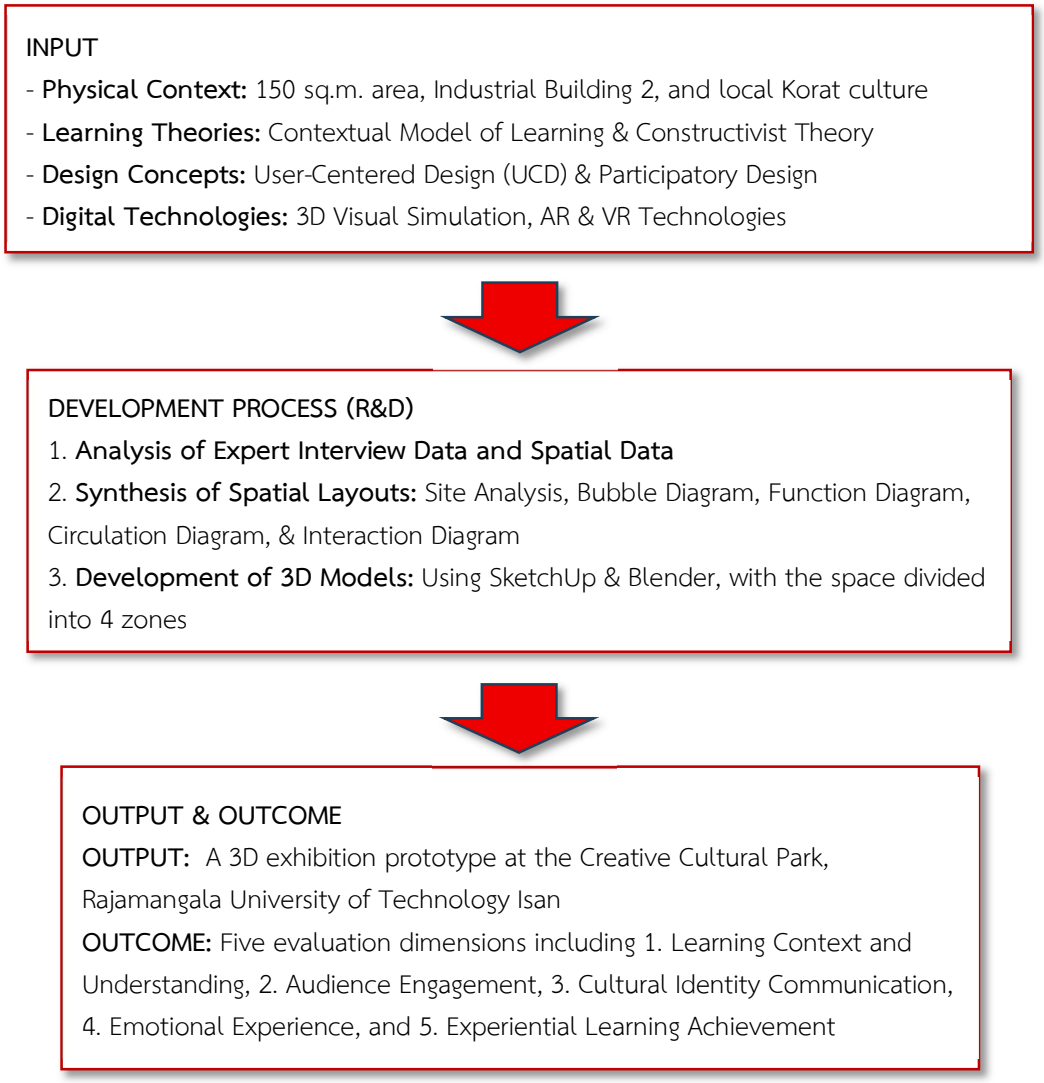


Figure 1. Conceptual Framework for the Design of Cultural Exhibitions at the Creative Cultural Park, Rajamangala University of Technology Isan

5. วิธีดำเนินงานวิจัย (Research Methodology)

5.1 รูปแบบการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยและพัฒนา (Research and Development: R&D) โดยใช้การวิจัยแบบผสมผสานเชิงสำรวจตามลำดับ (Exploratory Sequential Mixed Methods) เพื่อให้ข้อมูลเชิงคุณภาพจากบริบทและผู้เชี่ยวชาญถูกนำไปสังเคราะห์เป็นข้อกำหนดการออกแบบ ก่อนพัฒนาและประเมินแบบนิทรรศการจำลอง 3 มิติ การดำเนินการแบ่งเป็น 3 ระยะ โดยในบทความนี้ใช้คำว่า “แบบนิทรรศการจำลอง 3 มิติ” หมายถึงต้นแบบดิจิทัลของพื้นที่จัดแสดงที่ใช้ทดสอบผังพื้นที่ รูปแบบการนำเสนอ และจุดปฏิสัมพันธ์ก่อนการนำไปใช้จริง

(Research Article)

5.1.1 ระยะที่ 1 การวิจัยเชิงคุณภาพและการวิเคราะห์บริบท (QUAL/ Analysis Phase)

ในระยะนี้ ประกอบด้วย (1) การวิเคราะห์เอกสารเกี่ยวกับ Contextual Model of Learning, Constructivist Learning Theory, Participatory Design และ User-Centered Design (2) การวิเคราะห์พื้นที่จัดแสดงจริงขนาด 150 ตารางเมตร ณ ศูนย์วัฒนธรรม อาคารอุตสาหกรรม 2 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จังหวัดนครราชสีมา ครอบคลุมขนาดพื้นที่ แสง การระบายอากาศ โครงสร้างอาคาร และข้อจำกัดการใช้งาน และ (3) การสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ราย ซึ่งคัดเลือกแบบเจาะจงให้ครอบคลุมความเชี่ยวชาญด้านการออกแบบนิทรรศการ/พิพิธภัณฑ์และด้านศิลปวัฒนธรรมท้องถิ่น โดยพิจารณาจากประสบการณ์หรือผลงานที่เกี่ยวข้อง ข้อมูลทั้งหมดวิเคราะห์ด้วย Content Analysis เพื่อสังเคราะห์ Design Requirements และ Design Concept

5.1.2 ระยะที่ 2 การออกแบบและพัฒนา (Design and Development Phase)

ดำเนินการนำ Design Requirements และ Design Concept จากระยะที่ 1 มาพัฒนาแบบนิทรรศการจำลอง 3 มิติ โดยดำเนินการเป็นลำดับจากการออกแบบผังพื้นที่และเส้นทาง การกำหนดจุดปฏิสัมพันธ์ การสร้างต้นแบบรุ่นที่ 1 (Prototype V1) การตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญ และการปรับปรุงเป็นต้นแบบรุ่นที่ 2 (Prototype V2) ก่อนนำไปประเมินในระยะที่ 3

1. การพัฒนาแนวคิดการออกแบบ (Design Concept Development) การสังเคราะห์ข้อมูลจากระยะที่ 1 เพื่อกำหนดแนวทางที่สะท้อนอัตลักษณ์วัฒนธรรมท้องถิ่น สนับสนุนการเรียนรู้เชิงประสบการณ์ และเอื้อต่อการมีส่วนร่วมของผู้ชม

2. การออกแบบผังพื้นที่ (Spatial Design) โดยใช้ Site Analysis, Bubble Diagram, Function Diagram, Circulation Diagram และ Interaction Diagram เพื่อกำหนดโครงสร้าง ความสัมพันธ์ของพื้นที่ เส้นทางสัญจร และตำแหน่งปฏิสัมพันธ์

3. การพัฒนาแบบนิทรรศการจำลอง 3 มิติ (3D Cultural Exhibition Model Development) ผู้วิจัยได้สร้างต้นแบบด้วย SketchUp และ Blender แบ่งพื้นที่เป็น 4 โซน ได้แก่ โซนต้อนรับ โซนจัดแสดงหลัก โซนปฏิสัมพันธ์ และโซนกิจกรรมเสริม พร้อมวางแนวทางใช้ AR/VR จากนั้นนำ Prototype V1 ให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบและปรับปรุงเป็น Prototype V2

5.1.3 ระยะที่ 3 การประเมินแบบผสมผสาน (QUAN + QUAL/ Evaluation Phase)

ดำเนินการประเมินความเหมาะสมของ Prototype V2 โดยบูรณาการข้อมูลเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพจากผู้ใช้ ผู้เชี่ยวชาญ และการสังเกตพฤติกรรม เพื่อนำผลไปสังเคราะห์เป็นต้นแบบฉบับสมบูรณ์และแนวทางการนำไปใช้

1. การประเมินโดยผู้ใช้ (User Evaluation): เก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง 370 คน ด้วยแบบสอบถามมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ ครอบคลุมด้านการเรียนรู้และความเข้าใจ การมีส่วนร่วม การสื่อสารอัตลักษณ์ทางวัฒนธรรม ประสบการณ์ทางอารมณ์ และการรับรู้ด้านการเรียนรู้

2. การประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ (Expert Evaluation): ดำเนินการเก็บข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ราย ที่มีประสบการณ์การทำงานและสาขาที่เกี่ยวข้องอย่างน้อย 5 ปี โดยมีความเชี่ยวชาญด้านสถาปัตยกรรมและการออกแบบจำนวน 3 คน ด้านสถาปัตยกรรมภายใน 1 คน และด้านการออกแบบวัฒนธรรม 1 คน

3. การสังเกตพฤติกรรม (Behavior Mapping): สังเกตและบันทึกพฤติกรรมของผู้ใช้ระหว่างทดลองแบบจำลอง เช่น การหยุดดู การสนทนา การตั้งคำถาม ความสนใจ ปฏิกิริยาทางอารมณ์ และระยะเวลาการรับชม

4. การวิเคราะห์และบูรณาการข้อมูล (Data Analysis and Integration): ข้อมูลเชิงปริมาณวิเคราะห์ด้วยค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ความถี่ และร้อยละ ส่วนข้อมูลเชิงคุณภาพวิเคราะห์ด้วย Content Analysis แล้วบูรณาการผลเพื่อสรุปจุดแข็ง จุดที่ควรพัฒนา และแนวทางการใช้ต้นแบบในบริบทจริง

5.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1. ประชากร คือ ผู้มีโอกาสใช้พื้นที่พิพิธภัณฑ์และนิทรรศการภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ได้แก่ อาจารย์ประจำมหาวิทยาลัยฯ บุคลากรสายสนับสนุน และนักศึกษาระดับปริญญาตรีและบัณฑิตศึกษา รวมจำนวนประมาณ 5,000 คน

2. กลุ่มตัวอย่าง ได้จากการคำนวณด้วยตารางสำเร็จรูปของ ทาโร่ ยามาเน่ (Yamane, 1973) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และความคลาดเคลื่อน 5% ได้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 370 คน โดยใช้ การสุ่มตัวอย่างแบบสะดวก (Convenience

(Research Article)

Sampling) และจัดสัดส่วนกลุ่มเป้าหมาย ดังนี้ อาจารย์ จำนวน 50 คน, บุคลากรสายสนับสนุน จำนวน 50 คน, นักศึกษาระดับปริญญาตรีและบัณฑิตศึกษา จำนวน 270 คน

5.3 เครื่องมือวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยและการเก็บรวบรวมข้อมูลสำหรับการศึกษาครั้งนี้ ประกอบด้วย 4 รายการ ดังนี้

1. แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง (Semi-Structured Interview) สำหรับเก็บข้อมูลบริบทและการออกแบบ
2. แบบสอบถามชนิดมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ (Likert Scale) สำหรับประเมินความเหมาะสมของต้นแบบโดยกลุ่มตัวอย่าง
3. แบบประเมินความเหมาะสมของต้นแบบ สำหรับการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ
4. แบบจำลอง 3 มิติ (3D Visual Simulation)

5.4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

5.4.1 ผลวิเคราะห์ข้อมูลจากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญและผู้เกี่ยวข้อง

จากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบนิทรรศการ พิพิธภัณฑ์ และศิลปวัฒนธรรมท้องถิ่นจำนวน 5 ราย และนำมาวิเคราะห์เชิงเนื้อหา (Content Analysis) พบประเด็นสำคัญที่ได้จากการวิเคราะห์เพื่อนำไปใช้เป็นฐานในการพัฒนาแนวคิดการออกแบบ (Design Concept) ใน 5 ด้าน ดังนี้

1. ด้านประเด็นสำคัญทางวัฒนธรรมท้องถิ่นโคราช ออกแบบให้เป็น “พื้นที่การเรียนรู้ร่วมสมัย” ที่สามารถสะท้อนอัตลักษณ์ของท้องถิ่น (เช่น การใช้สัญญะ หรือลวดลายจากเครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียน) โดยผสมผสานความร่วมสมัยเข้ากับความเรียบง่ายของวัฒนธรรมดั้งเดิมอย่างลงตัว
2. ด้านลักษณะผู้ใช้งานและความคาดหวัง กลุ่มผู้ใช้งานหลัก (อาจารย์ บุคลากร และนักศึกษา) มีความคาดหวังต่อพื้นที่พิพิธภัณฑ์ในมหาวิทยาลัยว่า ต้องสามารถมอบประสบการณ์ที่แปลกใหม่ ดึงดูดความสนใจ แต่ในขณะเดียวกันเนื้อหาต้องย่อยและทำความเข้าใจได้ง่าย
3. ด้านแนวทางการจัดพื้นที่และประสบการณ์ พื้นที่จัดแสดงควรมีความยืดหยุ่นสูง สามารถรองรับกิจกรรมได้หลากหลายรูปแบบ และควรเน้นการออกแบบที่สร้างปฏิสัมพันธ์ (Interaction) ระหว่างผู้ชมกับพื้นที่ มากกว่าการตั้งโต๊ะหรือตู้โชว์วัตถุจัดแสดงเพียงอย่างเดียว
4. ด้านเทคโนโลยีและวิธีนำเสนอ การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี (เช่น AR/VR) ต้องมีความสมดุลกับความเรียบง่ายของวัฒนธรรม ไม่ซับซ้อนในการใช้งานมากเกินไปจนไปลดทอนคุณค่าของเนื้อหาหลัก
5. ด้านความท้าทายในพื้นที่ปัจจุบัน ความท้าทายหลักคือการเปลี่ยนพื้นที่จัดแสดงที่ผู้ชมมักเดินผ่านให้กลายเป็นพื้นที่ที่มีความหมาย (Meaningful Space) ซึ่งต้องอาศัยการจัดวางผังที่กระตุ้นให้เกิดการมีส่วนร่วมและใช้เวลาเรียนรู้ภายในนิทรรศการอย่างแท้จริง

5.4.2 การวิเคราะห์บริบททางกายภาพและวัฒนธรรมของพื้นที่จัดแสดง

พื้นที่จัดแสดงที่ใช้ในการออกแบบต้นแบบมีลักษณะเป็นห้องสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด 150 ตารางเมตร ตั้งอยู่ภายในศูนย์วัฒนธรรม อาคารอุตสาหกรรม 2 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จังหวัดนครราชสีมา มีจุดเด่นด้านการเข้าถึงง่าย อยู่ใกล้แหล่งเรียนรู้ และเป็นศูนย์รวมกิจกรรมด้านวัฒนธรรมของนักศึกษา การวิเคราะห์บริบทดำเนินการใน 2 มิติ คือ

1. มิติกายภาพ (Physical Context) - การวัดขนาดพื้นที่ การวิเคราะห์แสง ทิศทางลม จุดติดตั้งระบบไฟฟ้า–ภาพ–เสียง และความปลอดภัย คำนึงถึงความสัมพันธ์ระหว่างสถาปัตยกรรมและการจัดแสดง (Tzortzi, 2015)
2. มิติทางวัฒนธรรม (Cultural Context) - การรวบรวมข้อมูลเชิงสัญญะ อัตลักษณ์ของโคราช (เช่น ลวดลายดินเผา ประเพณี เครื่องดนตรีพื้นเมือง) โดยลวดลาย หรือวัสดุด้านเกวียนถูกนำมา “ลดทอน” ลงใน Texture ของโมเดล 3 มิติ และการมีส่วนร่วมของชุมชน

5.5 การสังเคราะห์ข้อมูลที่รวบรวมได้จากผู้ใช้บริการ

จากข้อมูลพบประเด็นสำคัญที่ส่งผลต่อแนวทางการออกแบบ ได้แก่ ความต้องการให้พื้นที่จัดแสดงทำหน้าที่เป็น “พื้นที่การเรียนรู้ร่วมสมัย” ที่สะท้อนอัตลักษณ์ของท้องถิ่น, ลักษณะผู้ชมมีทั้งอาจารย์ บุคลากร และนักศึกษา ที่ต้องการประสบการณ์แปลกใหม่ แต่เข้าใจง่าย, การใช้เทคโนโลยีต้องสมดุลกับความเรียบง่ายของวัฒนธรรม ไม่ล้น ไม่ซับซ้อนเกินไป, การจัดพื้นที่ควรยืดหยุ่น รองรับกิจกรรมได้หลากหลาย และเน้นปฏิสัมพันธ์มากกว่าการตั้งวัตถุจัดแสดงเพียงอย่างเดียว

(Research Article)

จากการสังเคราะห์ข้อมูล จึงได้ดำเนินการ วิเคราะห์ Site Analysis, Bubble Diagram เพื่อแสดงโซนพื้นที่สำคัญ ประกอบด้วย โซนต้อนรับ โซนจัดแสดงหลัก โซนปฏิสัมพันธ์ และโซนกิจกรรมเสริม, Function Diagram เพื่อแสดงความสัมพันธ์เชิงฟังก์ชันของพื้นที่การออกแบบ, Circulation Diagram เพื่อวางเส้นทางการเดินภายในพื้นที่ แล้วดำเนินการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของพื้นที่ที่มีส่วนร่วมด้วย Interaction Diagram ขั้นตอนดังกล่าว แสดงผ่านภาพการวิเคราะห์ ดังนี้

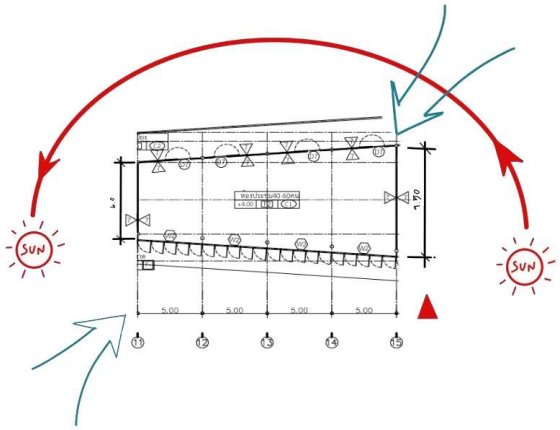
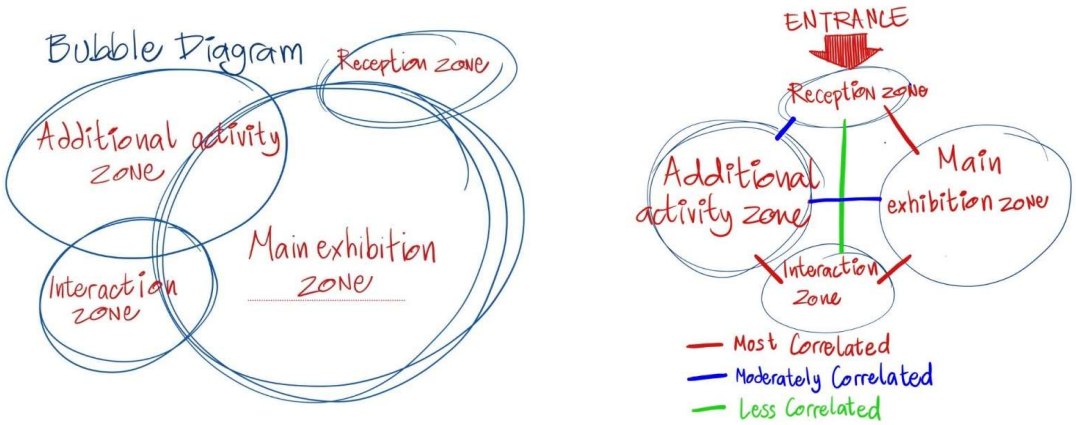


Figure 2. Physical Characteristics, Lighting Direction, Ventilation, and Limitations of the Exhibition Space

จากผลการวิเคราะห์ อาคารหันหน้าไปทางทิศเหนือ มีพื้นที่ประมาณ 150 ตารางเมตร ด้านหน้าห้องจัดแสดงมี corridor ยาวตลอดแนว ก่อนเข้าสู่พื้นที่นิทรรศการ จึงทำให้ไม่ได้รับผลกระทบจากแสงธรรมชาติ และลมที่มาจากทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ในขณะที่ด้านหลังของอาคาร อยู่ทางด้านทิศใต้ และมีหน้าต่างตลอดแนว ทำให้พื้นที่จัดแสดง ได้รับแสงและความร้อนในช่วงบ่ายมากเกินไป และได้รับอิทธิพลจากลมที่มาจากทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ค่อนข้างมาก แต่เนื่องจากพื้นที่จัดแสดง เป็นพื้นที่ปิด นักวิจัยจึงมีแนวคิดในการทำผนังชั่วคราว เพื่อกั้นพื้นที่ด้านหลัง เพื่อเป็น backstage zoning และ equipment storage area



Bubble Diagram Function Diagram

Figure 3. Bubble Diagrams and Function Diagrams Showing the Spatial Zoning and Functional Relationships of the Exhibition Areas

(Research Article)

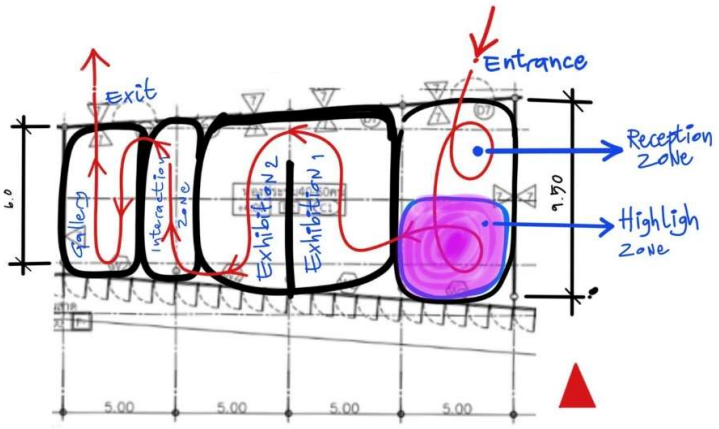


Figure 4. The Circulation Diagram Showing the Movement Patterns of Visitors within the Exhibition Area

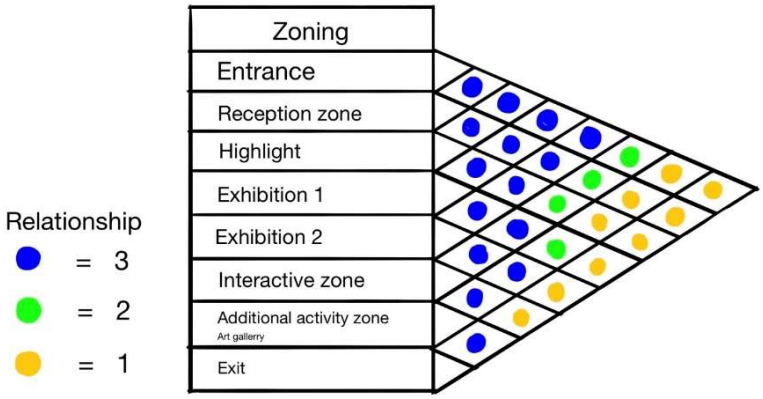


Figure 5. The Interaction Diagram Showing the Points and Characteristics of User Participation with Various Elements of the Exhibition

6. ผลการวิจัย (Results)

6.1 ผลการวิเคราะห์หลักการออกแบบพิพิธภัณฑ์และนิทรรศการที่เหมาะสมกับบริบทวัฒนธรรมท้องถิ่น

ผลการวิเคราะห์เอกสาร บริบทพื้นที่ และการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญ 5 ราย สังเคราะห์ได้หลักการออกแบบ 4 ประการ ได้แก่ (1) เชื่อมโยงการเรียนรู้กับบริบทกายภาพ สังคม และวัฒนธรรมของโคราช (2) เปิดโอกาสให้ผู้ชมสร้างความหมายจากประสบการณ์และมีปฏิสัมพันธ์ (3) ใช้กระบวนการออกแบบแบบมีส่วนร่วมและเน้นผู้ใช้เป็นศูนย์กลาง และ (4) ใช้เทคโนโลยีเป็นเครื่องมือสนับสนุนเนื้อหา โดยคำนึงถึงความเรียบง่าย ความยืดหยุ่น การสัญจร แสง ความร้อน และข้อจำกัดของอาคารเดิม ผลดังกล่าวถูกแปลงเป็นข้อกำหนดการออกแบบและผังความสัมพันธ์ของพื้นที่ดังแสดงใน Figure 2. – Figure 5.

6.2 ผลการพัฒนาแบบนิทรรศการจำลอง 3 มิติ เพื่อสื่อสารอัตลักษณ์ท้องถิ่น

ผลการพัฒนาต้นแบบจาก Prototype V1 สู่ Prototype V2 ด้วย SketchUp และ Blender ได้แบบนิทรรศการจำลอง 3 มิติสำหรับพื้นที่ 150 ตารางเมตร แบ่งเป็น 4 โซน ได้แก่ Reception Zone, Main Exhibition Zone, Interaction Zone และ Additional Activity Zone ใช้ลวดลายและวัสดุที่เชื่อมโยงกับอัตลักษณ์โคราชในรูปแบบร่วมสมัย พร้อมกำหนดตำแหน่งสื่อดิจิทัลและจุดปฏิสัมพันธ์ AR/VR โดยคำนึงถึงเส้นทางสัญจร แสง ความร้อน ความยืดหยุ่น และพื้นที่หลังฉาก ผลลัพธ์การออกแบบทางเลือกแสดงใน Figure 6.



Figure 6. 3D Models of the Exhibition Showcasing Alternative Design in Option A



Figure 7. 3D Models of the Exhibition Showcasing Alternative Design in Option B

(Research Article)



Figure 7. 3D Models of the Exhibition Showcasing Alternative Design in Option B (Cont.)

Table 1. Results of the User Evaluation of the Suitability of the 3D Exhibition Model (n=370)

Evaluation Dimension	Mean	S.D.	Rating
Contextual and Constructivist Learning	4.93	0.17	Very high
Audience Participation (Participatory & Human-Centered Design)	4.46	0.52	High
Cultural Interpretation and Local Identity	4.94	0.22	Very high
Emotional and Experiential Design	4.90	0.20	Very high
Learning Outcome Assessment	4.91	0.15	Very high
Overall	**4.83**	**0.21**	**Very high**

จากตารางพบว่า ผู้ใช้ประเมินแบบจำลองนิทรรศการสามมิติโดยรวมอยู่ในระดับดีมาก ($\bar{x}$ = 4.83, S.D. = 0.21) เมื่อพิจารณารายด้าน ด้านการตีความและอัตลักษณ์ทางวัฒนธรรมมีค่าเฉลี่ยสูงสุด ($\bar{x}$ = 4.94, S.D. = 0.22) รองลงมาคือ ด้านบริบทการเรียนรู้และความเข้าใจ ($\bar{x}$ = 4.93, S.D. = 0.17) ด้านการประเมินผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้ ($\bar{x}$ = 4.91, S.D. = 0.15) และด้านประสบการณ์ทางอารมณ์และการรับรู้ ($\bar{x}$ = 4.90, S.D. = 0.20) ส่วนด้านการมีส่วนร่วมของผู้ชมมีค่าเฉลี่ยต่ำสุด แต่ยังอยู่ในระดับดี ($\bar{x}$ = 4.46, S.D. = 0.52)

Table 2. The Results of the Expert Assessment of the Suitability of the 3D Exhibition Model (n=5)

Evaluation Dimension	Mean	S.D.	Rating
Learning (Contextual & Constructivist Learning)	5.00	0.00	Very high
Participation (Participatory & Human-Centered Design)	5.00	0.00	Very high
Cultural Content (Cultural Interpretation & Local Identity)	5.00	0.00	Very high
Experience and Emotion (Emotional & Experiential Design)	4.83	0.28	Very high
Technology Use (3D Modeling/AR/VR)	4.00	0.00	High
Application and Development Potential (Feasibility & Scalability)	5.00	0.00	Very high
Overall Evaluation	5.00	0.00	Very high
Overall	**4.83**	**0.41**	**Very high**

(Research Article)

จากตารางพบว่า ผู้เชี่ยวชาญ 5 รายประเมินความเหมาะสมของแบบจำลองนิทรรศการสามมิติโดยรวมอยู่ในระดับดีมาก ($\bar{x}$ = 4.83, S.D. = 0.41) ด้านการเรียนรู้ การมีส่วนร่วม เนื้อหาทางวัฒนธรรม ศักยภาพในการประยุกต์ใช้และพัฒนา และการประเมินภาพรวมมีค่าเฉลี่ยในระดับดีมาก ($\bar{x}$ = 5.00, S.D. = 0.00) ขณะที่ด้านประสบการณ์และอารมณ์มีค่าเฉลี่ยในระดับดีมาก ($\bar{x}$ = 4.83, S.D. = 0.28) และด้านการใช้เทคโนโลยี มีค่าเฉลี่ยในระดับดี ($\bar{x}$ = 4.00, S.D. = 0.00) ซึ่งเป็นด้านที่ได้คะแนนต่ำสุดและเป็นประเด็นที่ควรให้ความสำคัญในการนำต้นแบบไปใช้จริง

ผลการสังเกตพฤติกรรม (Behavior Mapping) ของผู้ใช้ในการทดลองแบบจำลองนิทรรศการสามมิติ (n=370) ครอบคลุมพฤติกรรมการมีส่วนร่วม ความสนใจ ความเข้าใจ ปฏิกิริยาทางอารมณ์ และการใช้เวลา ตารางที่ 3 ดังนี้

Table 3. Behavior Mapping Results of Users in a Three-Dimensional Exhibition Simulation Experiment (n=370)

Observed Behavior Domain	Observed Behavior	n	%
Participation & Interaction	Pointed to or discussed exhibition objects with others	354	95.70
Participation & Interaction	Showed uncertainty or attempted to understand the content	346	93.50
Participation & Interaction	Paused to examine specific details longer than usual	335	90.50
Interest & Emotional Experience	Displayed positive emotions (smiling, laughing, or expressing appreciation)	326	88.10
Interest & Emotional Experience	Showed attentive facial expressions or gestures while viewing	320	86.50
Interest & Emotional Experience	Asked additional questions about the content	310	83.80
Time Use & Response	Commented after completing the viewing	321	86.80
Time Use & Response	Spent longer than the allotted viewing time	190	51.40

จาก Table 3. พบว่า ผู้เข้าชมส่วนใหญ่มีพฤติกรรมเชิงบวกเด่นในระดับสูง โดยในด้านการมีส่วนร่วมและการปฏิสัมพันธ์ พบพฤติกรรมการชี้ หรือพูดคุยเกี่ยวกับวัตถุในนิทรรศการร่วมกับผู้อื่นมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 95.70 (354 คน) รองลงมาคือการแสดงท่าทางพยายามทำความเข้าใจเนื้อหา ร้อยละ 93.50 (346 คน) และการหยุดดูรายละเอียดเฉพาะจุดนานกว่าปกติ ร้อยละ 90.50 (335 คน) ในด้านความสนใจและประสบการณ์ทางอารมณ์ พบผู้เข้าชมแสดงอารมณ์เชิงบวก ร้อยละ 88.10 (326 คน) และมีการถามคำถามเพิ่มเติมเกี่ยวกับเนื้อหาร้อยละ 83.80 (310 คน) สำหรับด้านการใช้เวลาและการตอบสนอง พบว่ามีผู้แสดงความคิดเห็นหลังจบการรับชมร้อยละ 86.80 (321 คน) และมีผู้ใช้เวลาชมเกินกว่ากำหนดคิดเป็นร้อยละ 51.40 (190 คน) ซึ่งสะท้อนถึงระดับความสนใจเชิงลึกของผู้ชมต่อแบบจำลองนิทรรศการ 3 มิติ

7. สรุปผลการวิจัย (Conclusion)

7.1 ผลการวิเคราะห์หลักการออกแบบพิพิธภัณฑ์และนิทรรศการที่เหมาะสมกับบริบทวัฒนธรรมท้องถิ่น

ผลการสังเคราะห์ชี้ว่า การออกแบบนิทรรศการเชิงวัฒนธรรมในบริบทของ มทร.อีสานควรเชื่อมโยง 4 แนวคิดหลัก ได้แก่ User-Centered Design, Participatory Design, Contextual Model of Learning และ Constructivist Learning Theory โดยใช้บริบทกายภาพและอัตลักษณ์วัฒนธรรมโคราชเป็นปัจจัยนำเข้า แนวทางดังกล่าวทำให้การออกแบบไม่แยกเทคโนโลยีออกจากเนื้อหา แต่ใช้เทคโนโลยีเป็นเครื่องมือสนับสนุนเส้นทางการเรียนรู้ การตีความ และการมีส่วนร่วมของผู้ชม

7.2 ผลการออกแบบและพัฒนาแบบจำลองนิทรรศการสามมิติเชิงวัฒนธรรม

แบบจำลองนิทรรศการสามมิติสำหรับพื้นที่ 150 ตารางเมตรได้รับการพัฒนาเป็น 4 โซน ได้แก่ โซนต้อนรับ โซนจัดแสดงหลัก โซนปฏิสัมพันธ์ และโซนกิจกรรมเสริม โดยนำลวดลายและวัสดุที่เชื่อมโยงกับอัตลักษณ์โคราชมาลดทอนเป็น

องค์ประกอบร่วมสมัย และกำหนดตำแหน่งสำหรับสื่อดิจิทัลและ AR/VR เพื่อสนับสนุนการเข้าถึงข้อมูลและการโต้ตอบกับเนื้อหา ต้นแบบถูกพัฒนาจาก Prototype V1 ผ่านการตรวจสอบและปรับปรุงจนเป็น Prototype V2 ก่อนการประเมิน

ผลการประเมินสนับสนุนว่าต้นแบบมีความเหมาะสมสำหรับการนำไปพัฒนาต่อ โดยผู้ใช้ให้คะแนนสูงเด่นในด้านการตีความและอัตลักษณ์ทางวัฒนธรรม ส่วนด้านการมีส่วนร่วมมีคะแนนต่ำกว่าด้านอื่น ขณะที่ผู้เชี่ยวชาญให้คะแนนด้านเทคโนโลยีต่ำกว่ามิติอื่นเช่นกัน จึงสะท้อนว่าการพัฒนาต่อควรเพิ่มระดับการมีส่วนร่วมและลดความซับซ้อนในการใช้เทคโนโลยี

ผลการสังเกตพฤติกรรมช่วยอธิบายผลการประเมินเชิงปริมาณ โดยพบการสนทนา การตั้งคำถาม การหยุดดูรายละเอียด และการแสดงอารมณ์เชิงบวกในสัดส่วนสูง แสดงว่าต้นแบบสามารถกระตุ้นการมีปฏิสัมพันธ์และความสนใจได้ในระยะทดลอง อย่างไรก็ตาม ผู้ใช้บางส่วนยังใช้เวลารับชมน้อยกว่าที่คาด จึงควรออกแบบเส้นทางและระดับข้อมูลให้ยืดหยุ่นต่อความแตกต่างระหว่างบุคคล

7.3 ผลการประเมินความเหมาะสมและแนวทางการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี AR/VR

เมื่อบูรณาการผลจากผู้ใช้ ผู้เชี่ยวชาญ และ Behavior Mapping แนวทางการใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมคือการใช้ AR สำหรับข้อมูลเสริมและสื่อโต้ตอบในจุดที่ต้องการรายละเอียดเพิ่มเติม ใช้ VR สำหรับประสบการณ์ที่ไม่สามารถนำวัตถุ หรือสถานที่จริงมาแสดงได้ และออกแบบระบบให้ใช้งานง่าย ไม่รบกวนการรับรู้คุณค่าทางวัฒนธรรม ผลการประเมินด้านเทคโนโลยีของผู้เชี่ยวชาญ ($\bar{x}$ = 4.00) ยืนยันว่าประเด็นสำคัญไม่ใช่การเพิ่มเทคโนโลยีให้มากที่สุด แต่เป็นการเลือกใช้ให้สอดคล้องกับเนื้อหา ผู้ใช้ และข้อจำกัดของพื้นที่จริง

8. อภิปรายผลการวิจัย (Discussion)

ผลการวิจัยสนับสนุนว่าการบูรณาการ User-Centered Design, Constructivist Learning, Contextual Model of Learning และ Participatory Design ช่วยให้การออกแบบนิทรรศการเชิงวัฒนธรรมมีความสอดคล้องทั้งด้านผู้ใช้ การเรียนรู้ และอัตลักษณ์ท้องถิ่น โดยผลการประเมินอยู่ในระดับสูงถึงสูงมากในหลายมิติ ทั้งนี้ การตีความผลเป็นการพิจารณาจากสถิติเชิงพรรณนาและข้อมูลเชิงคุณภาพ มิได้เป็นการทดสอบความแตกต่างเชิงสถิติ

อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาเชิงเปรียบเทียบในแต่ละมิติ พบว่ามิติด้าน การมีส่วนร่วมของผู้ชม (Participatory Design) ได้รับคะแนนต่ำกว่ามิติอื่น ($\bar{x}$ = 4.46) แม้ยังอยู่ในระดับสูง ซึ่งสะท้อนว่าแม้การออกแบบจะเปิดโอกาสให้ผู้ชมมีปฏิสัมพันธ์กับเนื้อหา แต่ระดับของการมีส่วนร่วมอาจยังอยู่ในลักษณะ “Interaction” มากกว่า “Co-Creation” กล่าวคือ ผู้ชมมีบทบาทในการตอบสนองต่อสื่อ แต่ยังไม่ได้มีส่วนร่วมในการสร้าง หรือกำหนดเนื้อหานิทรรศการอย่างแท้จริง ประเด็นนี้สอดคล้องกับแนวคิดของ Simon (2010) ที่ชี้ว่าการออกแบบเชิงมีส่วนร่วมที่มีประสิทธิภาพควรเปิดพื้นที่ให้ผู้ชมเป็น “ผู้ร่วมสร้างความหมาย” ไม่ใช่เพียง “ผู้รับสารเชิงโต้ตอบ”

ในด้านของการเรียนรู้ ผลการวิจัยยืนยันว่าแนวคิด Contextual Model of Learning (Falk & Dierking, 2013) และ และ Constructivist Learning Theory (Hein, 2012) มีบทบาทสำคัญในการออกแบบประสบการณ์นิทรรศการโดยเฉพาะการเชื่อมโยงเนื้อหากับบริบททางวัฒนธรรมของผู้ชม ซึ่งช่วยให้เกิดการตีความและสร้างความหมายในระดับลึก อย่างไรก็ตาม ผลลัพธ์ดังกล่าวยังสะท้อนว่า การเรียนรู้ที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่ยังอยู่ในบริบทของ “การรับรู้เชิงประสบการณ์ระยะสั้น” มากกว่าการเปลี่ยนแปลงเชิงพฤติกรรม หรือทัศนคติในระยะยาว ซึ่งเป็นข้อจำกัดที่ควรได้รับการศึกษาเพิ่มเติมในอนาคต

ในประเด็นของการใช้เทคโนโลยี ผลการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญพบว่าด้าน การใช้เทคโนโลยี (AR/VR) มีคะแนนต่ำกว่ามิติอื่น ($\bar{x}$ = 4.00) แม้จะอยู่ในระดับดี ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงข้อจำกัดบางประการ เช่น ความซับซ้อนของการใช้งาน ความพร้อมของอุปกรณ์ หรือความสอดคล้องกับบริบทของพื้นที่จริง ประเด็นนี้สอดคล้องกับข้อเสนอของ Din & Hecht (2007) ที่เตือนว่าการใช้เทคโนโลยีในพิพิธภัณฑ์ควรมีบทบาทเป็น “เครื่องมือสนับสนุน” มากกว่าการเป็น “แกนหลัก” ของประสบการณ์ หากใช้เทคโนโลยีโดยไม่คำนึงถึงบริบท อาจส่งผลให้ลดทอนคุณค่าทางวัฒนธรรมที่ต้องการสื่อสาร

นอกจากนี้ ผลการสังเกตพฤติกรรม (Behavior Mapping) แสดงให้เห็นว่าผู้ชมมีระดับการมีส่วนร่วมและความสนใจสูง เช่น การสนทนา การตั้งคำถาม และการใช้เวลาในการรับชมที่ยาวนานขึ้น ซึ่งสะท้อนถึงศักยภาพของการออกแบบเชิงประสบการณ์ในการกระตุ้นการเรียนรู้ อย่างไรก็ตาม การที่ยังมีผู้ชมบางส่วน (ประมาณ 48.6%) ที่ใช้เวลาในการรับชมน้อย

กว่าที่คาดการณ์ อาจบ่งชี้ถึงความจำเป็นในการออกแบบประสบการณ์ที่มีความหลากหลายและสามารถตอบสนองต่อความแตกต่างของผู้ใช้ในระดับบุคคล (Individual Differences) ประเด็นนี้สอดคล้องกับแนวคิดบริบทส่วนบุคคล (Personal Context) ในทฤษฎี Contextual Model of Learning ของ Falk & Dierking (2013) ที่อธิบายว่าพฤติกรรมการเรียนรู้และระยะเวลาที่ใช้ในนิทรรศการนั้น ถูกกำหนดโดยแรงจูงใจ ความคาดหวัง และความสนใจดั้งเดิมของผู้เข้าชมแต่ละราย การออกแบบจึงจำเป็นต้องสร้างเส้นทางการเรียนรู้ที่ยืดหยุ่น เพื่อรองรับความหลากหลายนี้อย่างเป็นรูปธรรม

โดยสรุป ผลการวิจัยนี้ไม่เพียงยืนยันความสอดคล้องกับกรอบแนวคิดทางทฤษฎี แต่ยังชี้ให้เห็นถึง “ช่องว่าง” ที่สำคัญในการออกแบบนิทรรศการเชิงวัฒนธรรม ได้แก่ ระดับของการมีส่วนร่วมที่ยังไม่ถึงขั้น Co-Creation ข้อจำกัดของการใช้เทคโนโลยีในบริบทจริง และความท้าทายในการสร้างผลลัพธ์การเรียนรู้ระยะยาว ซึ่งประเด็นเหล่านี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนางานวิจัยและการออกแบบในอนาคต

9. ข้อเสนอแนะงานวิจัย (Recommendation)

9.1 ข้อเสนอแนะเชิงวิชาการ

จากผลที่ด้านการมีส่วนร่วมของผู้ใช้มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าด้านอื่น ($\bar{x}$ = 4.46) ควรพัฒนากรอบการออกแบบให้ขยับจากการโต้ตอบ (Interaction) ไปสู่การร่วมสร้าง (Co-Creation) มากขึ้น เช่น การเปิดให้ผู้ชมและชุมชนมีส่วนกำหนดหัวข้อเนื้อหา หรือรูปแบบกิจกรรม และควรติดตามผลการเรียนรู้ระยะยาวเพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงด้านความเข้าใจและทัศนคติที่การศึกษาครั้งนี้ยังไม่ได้วัดโดยตรง

9.2 ข้อเสนอแนะเชิงปฏิบัติ

เนื่องจากผู้เชี่ยวชาญให้คะแนนด้านการใช้เทคโนโลยีต่ำกว่ามิติอื่น ($\bar{x}$ = 4.00) การนำต้นแบบไปใช้จริงควรเลือกเทคโนโลยีเท่าที่จำเป็น ออกแบบส่วนติดต่อให้ใช้งานง่าย และทดสอบความพร้อมของอุปกรณ์ควบคู่กับข้อจำกัดด้านแสง พื้นที่ และการสัญจร นอกจากนี้ควรใช้ระบบจัดแสดงที่ยืดหยุ่นและวัสดุที่เชื่อมโยงกับบริบทท้องถิ่น เพื่อรองรับนิทรรศการหมุนเวียนและกิจกรรมร่วมกับชุมชน

จากผลงานวิจัยที่พบว่าผู้ใช้ประมาณร้อยละ 48.6 ใช้เวลารับชมน้อยกว่ากลุ่มที่อยู่ชมเกินเวลาที่กำหนด ควรศึกษาความแตกต่างระหว่างบุคคลและออกแบบเส้นทางการเรียนรู้หลายระดับ รวมทั้งเปรียบเทียบประสบการณ์ระหว่างนิทรรศการแบบดั้งเดิมกับนิทรรศการที่ใช้ Immersive Technology และขยายกลุ่มตัวอย่างไปยังนักเรียน นักท่องเที่ยว และชุมชนท้องถิ่น เพื่อเพิ่มความสามารถในการอ้างอิงผลไปยังกลุ่มผู้ใช้ที่หลากหลาย

10. ผลประโยชน์ที่ได้รับ (Contributions)

ผลประโยชน์ที่ได้รับสำคัญ 3 ประการ ได้แก่ (1) พัฒนากรอบบูรณาการแบบ Input–Process–Output ที่เชื่อมโยงบริบทพื้นที่และวัฒนธรรมกับทฤษฎีการเรียนรู้ การออกแบบแบบมีส่วนร่วม และการออกแบบที่เน้นผู้ใช้ (2) แปลงกรอบดังกล่าวสู่กระบวนการพัฒนาแบบจำลองนิทรรศการสามมิติสำหรับพื้นที่วัฒนธรรมในมหาวิทยาลัยอย่างเป็นขั้นตอน ตั้งแต่การวิเคราะห์บริบทจนถึงการประเมิน และ (3) ให้หลักฐานจากผู้ใช้ ผู้เชี่ยวชาญ และ Behavior Mapping เพื่อชี้ทั้งจุดแข็งด้านอัตลักษณ์และประสบการณ์ ตลอดจนประเด็นที่ควรพัฒนาด้านการมีส่วนร่วมและการใช้เทคโนโลยี ซึ่งสามารถประยุกต์เป็นแนวทางสำหรับสถาบันการศึกษาและพื้นที่วัฒนธรรมท้องถิ่นอื่นได้

11. ข้อจำกัดของการวิจัย (Limitations)

1. ข้อจำกัดด้านกลุ่มตัวอย่าง (Sample Limitation)กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นอาจารย์ บุคลากร และนักศึกษาภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ซึ่งมีลักษณะเฉพาะในด้านระดับการศึกษา ประสบการณ์ และความคุ้นเคยกับเทคโนโลยี ดังนั้น ผลการวิจัยอาจไม่สามารถอ้างอิงทั่วไปไปยังกลุ่มประชากรอื่น เช่น นักท่องเที่ยวทั่วไป หรือชุมชนท้องถิ่นในบริบทที่แตกต่างกันได้โดยตรง

2. ข้อจำกัดด้านบริบทการทดลอง (Experimental Context) การประเมินแบบนิทรรศการจำลอง ดำเนินการในรูปแบบต้นแบบ (Prototype) และสภาพแวดล้อมจำลอง ซึ่งอาจแตกต่างจากการใช้งานจริงในพื้นที่จัดแสดงที่มีข้อจำกัดด้านเวลา พื้นที่ และพฤติกรรมผู้เข้าชมที่หลากหลาย ส่งผลให้ผลลัพธ์ที่ได้อาจสูงกว่า หรือแตกต่างจากสถานการณ์จริง

(Research Article)

3. ข้อจำกัดด้านระยะเวลา (Temporal Limitation) การเก็บข้อมูลมุ่งเน้นการประเมินผลในระยะสั้น โดยวัดผลด้านความพึงพอใจ การมีส่วนร่วม และการรับรู้ในช่วงเวลาทดลองใช้งานเท่านั้น ยังไม่ได้ติดตามผลในระยะยาว เช่น การเปลี่ยนแปลงด้านทัศนคติ ความเข้าใจเชิงลึก หรือพฤติกรรมการอนุรักษ์วัฒนธรรม

12. การเปิดเผยการใช้ปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ (Declaration of Generative AI)

ผู้เขียนขอรับรองว่าได้ใช้ปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์เพียงเพื่อช่วยปรับถ้อยคำบางประโยคให้ชัดเจนและสละสลวยยิ่งขึ้น มิได้ใช้เพื่อสร้างข้อมูลวิจัย วิเคราะห์ข้อมูล หรือสรุปผลการวิจัย ผู้เขียนได้ตรวจสอบและแก้ไขเนื้อหาทั้งหมด และรับผิดชอบต่อเนื้อหาฉบับสุดท้ายของบทความนี้โดยสมบูรณ์

13. การแสดงบทบาทผู้เขียน (CRediT Author Statement)

Sittisak Rattanaprapawan: Writing- Review & Editing, Conceptualization, Writing- Original Draft, Methodology, Software, Investigation, 3D Design

Wanlop Srisamran: Writing-Review & Editing, Formal Analysis, Writing-Original Draft, Resources

Phahonyood Boodju: Validation, Data Curation

The authors read and approved the final manuscript.

14. เอกสารอ้างอิง (References)

Bautista, S. S. (2014). *Museums in the Digital Age: Changing Meanings of Place, Community, and Culture*. Smithsonian Institution. https://www.si.edu/object/siris_sil_1024871

Bekele, M. K., Pierdicca, R., Frontoni, E., Malinverni, E. S., & Gain, J. (2018). A Survey of Augmented, Virtual, and Mixed Reality for Cultural Heritage. *Journal on Computing and Cultural Heritage*, *11*(2), 7. https://doi.org/10.1145/3145534

Din, H., & Hecht, P. (2007). *The Digital Museum: A Think Guide*. Smithsonian Institution. https://www.si.edu/object/siris_sil_831584

Falk, J. H., & Dierking, L. D. (2013). *The Museum Experience Revisited*. Routledge. https://doi.org/10.4324/9781315417851

Hein, G. E. (2016). *Progressive Museum Practice:John Dewey and Democracy*. Routledge. https://doi.org/10.4324/9781315421858

Ifeanyi, A. J. (2024). The Role of Augmented Reality in Museum Exhibitions: Enhancing Visitor Engagement and Learning. *Research Output Journal of Arts and Management, 3*(2), 46-49.

Lewi, H., Smith, W., Vom Lehn, D., & Cooke, S. (2019). *The Routledge International Handbook of New Digital Practices in Galleries, Libraries, Archives, Museums and Heritage Sites*. Routledge. https://doi.org/10.4324/9780429506765

Norman, D. A. (2013). *The Design of Everyday Things*. Basic Books.

Office of the President. (2023). *Annual Report 2023*. Rajamangala University of Technology Isan. (In Thai)

Parry, R. (2010). *Museums in a Digital Age*. Routledge.

Rujjanapan, B., Phrakhusirithammabandit, Chaiwong, S., Padkaew, N., & Phichaiwong, O. (2023). Design and Prototype of the Creative Economic Products by Lampang Community Museum Network. *Journal of Buddhist Innovation and Management, 6*(4), 97–107. (In Thai)

Simon, N. (2010). *The Participatory Museum*. Museum 2.0. https://participatorymuseum.org

Soren, B. J. (2009). Museum Experiences that Change Visitors. *Museum Management and Curatorship*, *24*(3), 233–251. https://doi.org/10.1080/09647770903073060

Tzortzi, K. (2015). *Museum Space: Where Architecture Meets Museology*. Routledge. https://doi.org/10.4324/9781315596457

Wen, J., & Ma, B. (2024). Enhancing Museum Experience through Deep Learning and Multimedia Technology. *Heliyon, 10*(12), e32706. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e32706

Wongsalee, C. (2017). *Contemporary Isan Architecture :Thailand Creative & Design Center, Khon Kaen (TCDC Khon Kaen)*. [Bachelor's thesis, Sripatum University]. Sripatum University Institutional Repository. https://dspace.spu.ac.th/handle/123456789/5806 (In Thai)

Yamane, T. (1973). *Statistics: An Introductory Snalysis* (3rd ed.). Harper & Row.

ISSN 2985-1580 (Print)
ISSN 2985-1599 (Online)

Citation:
บทความในวารสารนี้อยู่ภายใต้สัญญาอนุญาตครีเอทีฟคอมมอนส์ (Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International : CC BY-NC-ND 4.0)

ISSN 2985-1580 (Print)
ISSN 2985-1599 (Online)

(Research Article)

Development of a Learning Management Model Based on Engineering Design Processes Integrated with Artificial Intelligence Technology to Enhance Creative Thinking and Problem-Solving Abilities of Grade 8 Students

Atthaphol Klomrak[1,*] and Siwanit Autthawuttikul[2]

[1,2]Department of Educational Technology, Faculty of Education, Silpakorn University, Nakhon Pathom 73000, Thailand; Email: [1]klomrak_a@silpakorn.edu, [2]autthawuttikul_s@silpakorn.edu

[*]*Corresponding author:* Atthaphol Klomrak (klomrak_a@silpakorn.edu)

Received: 17 June 2026; **Revised:** 4 August 2026; **Accepted:** 7 August 2026; **Published:** 29 August 2026

Abstract

This research aimed to (1) investigate guidelines for developing a learning management model based on the engineering design process integrated with artificial intelligence technology, (2) develop the learning management model, and (3) examine the effects of implementing the model. The sample consisted of 30 Grade 8 students, selected through purposive sampling. The research instruments included an expert interview form, lesson plans, a learning management model, learning support tools, a creativity assessment form, a problem-solving ability assessment form, a learning achievement test, and a satisfaction questionnaire. Data were analyzed using mean, standard deviation, reliability coefficients, and t-tests. The findings indicated that (1) the development of the learning management model should integrate the engineering design process with artificial intelligence to support students' thinking, analysis, design, and product development through project-based learning and authentic problem-solving situations with ethical considerations. (2) The developed SUTLUM Model comprised six stages: Survey, Understand, Think, Launch, Upgrade, and Manifesto, along with four key components: teachers, learners, AI tools, and learning modules. The model demonstrated a very high level of Quality (M = 4.65, S.D. = 0.47). (3) The implementation results showed that students' creativity was at a very high level (M = 31.90 out of 36), and their problem-solving ability was also at a very high level (M = 21.60 out of 24). In addition, students' post-test achievement scores were significantly higher than their pre-test scores at the .05 level, and their satisfaction with the learning management was at the highest level (M = 4.68, S.D. = 0.46).

Keywords: SUTLUM Learning Management Model, Engineering Design Process, Artificial Intelligence, Creativity, Problem-Solving Ability

Copyright © 2026 Journal of Computer and Creative Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC-ND).

Citation:
Klomrak, A., & Autthawuttikul, S. (2026). Development of a Learning Management Model Based on Engineering Design Processes Integrated with Artificial Intelligence Technology to Enhance Creative Thinking and Problem-Solving Abilities of Grade 8 Students. *Journal of Computer and Creative Technology, 4*(2), e4205. https://doi.org/10.65205/jcct.2026.e4205

May-August 2026, 4(2), e4205
DOI: 10.65205/jcct.2026.e4205
Journal of Computer and Creative Technology
วารสารคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสร้างสรรค์
ISSN 2985-1580 (Print)
ISSN 2985-1599 (Online)

(Research Article)

การพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมร่วมกับเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์เพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์และความสามารถในการแก้ปัญหาของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2

อรรถพล กล่อมรักษ์[1,*] และ ศิวนิต อรรถวุฒิกุล[2]

[1,2]สาขาวิชาเทคโนโลยีการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม 73000, ประเทศไทย;
Email: [1]klomrak_a@silpakorn.edu, [2]autthawuttikul_s@silpakorn.edu

[*]*ผู้ประพันธ์บรรณกิจ:* อรรถพล กล่อมรักษ์ (klomrak_a@silpakorn.edu)

รับบทความ: 17 มิถุนายน 2569; **แก้ไขบทความ:** 4 สิงหาคม 2569; **ตอบรับบทความ:** 7 สิงหาคม 2569;
เผยแพร่บทความ: 29 สิงหาคม 2569

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ศึกษาแนวทางการพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมร่วมกับเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (2) พัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้ และ (3) ศึกษาผลการใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้ กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จำนวน 30 คน ซึ่งได้มาโดยการเลือกแบบเจาะจง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วยแบบสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญ แผนการจัดการเรียนรู้ รูปแบบการจัดการเรียนรู้ เครื่องมือสนับสนุนการเรียนรู้ แบบประเมินความคิดสร้างสรรค์ แบบประเมินความสามารถในการแก้ปัญหา แบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ และแบบประเมินความพึงพอใจ สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าความเชื่อมั่น และการทดสอบค่าที ผลการวิจัยพบว่า (1) การพัฒนารูปแบบ การจัดการเรียนรู้ควรบูรณาการกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมร่วมกับปัญญาประดิษฐ์ เพื่อสนับสนุนการคิด วิเคราะห์ ออกแบบ และพัฒนาผลงาน ของผู้เรียน ผ่านการเรียนรู้แบบโครงงานและการแก้ปัญหาจากสถานการณ์จริงอย่างมีจริยธรรม (2) รูปแบบการจัดการเรียนรู้ SUTLUM Model ที่พัฒนาขึ้น มีกระบวนการจัดการเรียนรู้ 6 ขั้นตอน ได้แก่ การสำรวจและระบุปัญหา การทำความเข้าใจและวิเคราะห์ปัญหา การคิดและออกแบบแนวทางแก้ปัญหา การดำเนินการและลงมือปฏิบัติ การปรับปรุงผลงานและประเมินผล และการนำเสนอผลงานและสะท้อนการเรียนรู้ รูปแบบมี 4 องค์ประกอบสำคัญ ได้แก่ ผู้สอน ผู้เรียน เครื่องมือปัญญาประดิษฐ์ และโมดูลการเรียนรู้ รูปแบบมีคุณภาพอยู่ในระดับดีมาก (M = 4.65, S.D. = 0.47) (3) ผลการใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้ พบว่า 3.1) นักเรียน มีความคิดสร้างสรรค์อยู่ในระดับดีมาก (M = 31.90 จาก 36 คะแนน) 3.2) นักเรียน มีความสามารถในการแก้ปัญหาอยู่ในระดับดีมาก (M = 21.60 จาก 24 คะแนน) 3.3) นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ .05 และ 3.4) นักเรียน มีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ อยู่ในระดับมากที่สุด (M = 4.68, S.D. = 0.46)

คำสำคัญ: รูปแบบการจัดการเรียนรู้ SUTLUM, กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม, เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์, ความคิดสร้างสรรค์, ความสามารถในการแก้ปัญหา

Copyright © 2026 Journal of Computer and Creative Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC-ND).

การอ้างอิง:
อรรถพล กล่อมรักษ์, และ ศิวนิต อรรถวุฒิกุล. (2569). การพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมร่วมกับเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์เพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์และความสามารถในการแก้ปัญหาของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2. *วารสารคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสร้างสรรค์, 4*(2), e4205. https://doi.org/10.65205/jcct.2026.e4205

(Research Article)

1. บทนำ (Introduction)

ในศตวรรษที่ 21 โลกกำลังก้าวเข้าสู่ยุคแห่งการเปลี่ยนแปลงอย่างไม่หยุดนิ่ง ภายใต้บริบทของโลกยุคบานี่ (BANI World) ที่เต็มไปด้วยความเปราะบาง ความวิตกกังวล ความคาดเดาได้ยาก และความซับซ้อน อันเป็นผล มาจากกระแสโลกาภิวัตน์ที่ทำให้ข้อมูล ข่าวสาร และองค์ความรู้เคลื่อนย้ายได้อย่างรวดเร็วไร้พรมแดน รวมถึงความก้าวหน้าของเทคโนโลยีสารสนเทศและปัญญาประดิษฐ์ที่พัฒนาอย่างก้าวกระโดด ซึ่งส่งผลต่อวิถีชีวิตการทำงาน และรูปแบบการเรียนรู้ของผู้คนอย่างชัดเจน (Siripangpa & Ketprom, 2025) สถานการณ์ดังกล่าวทำให้ระบบการศึกษาทั่วโลกต้องปรับตัวเพื่อพัฒนาผู้เรียนให้สามารถเผชิญกับความเปลี่ยนแปลงและความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นในสังคมยุคดิจิทัลได้อย่างมีประสิทธิภาพ โรงเรียนและสถาบันการศึกษาจึงมุ่งพัฒนารูปแบบการเรียนรู้ที่ยืดหยุ่น สามารถเข้าถึงได้ทุกที่ทุกเวลา และตอบสนองต่อพฤติกรรมของผู้เรียนยุคใหม่ที่เติบโตมากับเทคโนโลยีดิจิทัล (Kiatsarutsakuln et al., 2025) ภายใต้บริบทดังกล่าว การพัฒนาทักษะสำคัญ ในศตวรรษที่ 21 จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง โดย (Battelle for Kids, 2019) ได้เสนอกรอบทักษะ 4Cs ซึ่งประกอบด้วย การคิดเชิงวิพากษ์ (Critical Thinking) ความคิดสร้างสรรค์ (Creativity) การสื่อสาร (Communication) และการทำงานร่วมกัน (Collaboration) เพื่อเตรียมความพร้อมของผู้เรียนในการดำรงชีวิตและทำงานในโลกยุคใหม่ ทักษะ ทั้ง 4 ด้านนี้เป็นหัวใจสำคัญ ของการพัฒนาผู้เรียนให้สามารถสร้างองค์ความรู้และนวัตกรรมได้ด้วยตนเอง (Trilling & Fadel, 2009) การจัดการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 ควรมุ่งเน้นการเรียนรู้แบบ Active Learning การเรียนรู้ผ่านโครงงาน และการใช้เทคโนโลยีเพื่อพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์ การคิดสร้างสรรค์ การสื่อสาร และการแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบ อีกทั้ง การเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยียังส่งผลให้บทบาทของครูเปลี่ยนจากผู้ถ่ายทอดความรู้ไปสู่การเป็นผู้อำนวยความสะดวกและผู้ออกแบบประสบการณ์การเรียนรู้ โดยใช้เครื่องมือดิจิทัลและนวัตกรรมเพื่อเสริมสร้างศักยภาพของผู้เรียนให้สามารถเรียนรู้ ได้อย่างต่อเนื่องและสอดคล้องกับบริบทของโลกยุคใหม่

หนึ่งในแนวทางสำคัญที่สอดคล้องกับการพัฒนาทักษะดังกล่าว คือ การจัดการเรียนรู้ตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (Engineering Design Process: EDP) ซึ่งถูกกำหนดไว้ในหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีโดยมุ่งเน้นให้ผู้เรียนสามารถสร้างและพัฒนาวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงานที่ตอบสนองต่อสถานการณ์จริงได้อย่างเป็นระบบ (Karimi, 2022) กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมช่วยเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้บูรณาการความรู้จากหลายศาสตร์ ผ่านการลงมือปฏิบัติจริง การวิเคราะห์ปัญหา การออกแบบแนวทางแก้ปัญหา และการทำงานร่วมกันอย่างสร้างสรรค์ กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมช่วยพัฒนาทักษะสำคัญในศตวรรษที่ 21 โดยเฉพาะการคิดอย่างมีวิจารณญาณการแก้ปัญหา และการคิดสร้างสรรค์ ความคิดสร้างสรรค์เป็นความสามารถในการเชื่อมโยงแนวคิดและสร้างวิธีการใหม่ในการแก้ปัญหา (Amabile, 1996) ส่วนความคิดสร้างสรรค์ประกอบด้วยองค์ประกอบสำคัญ ได้แก่ ความคิดริเริ่ม ความคิดคล่องแคล่ว ความยืดหยุ่น และความละเอียดลออ (Torrance, 1966) ขณะที่ความคิดสร้างสรรค์เป็นกระบวนการคิดแบบอเนกนัยที่ช่วยให้บุคคลสามารถสร้างแนวคิดได้หลากหลายและแตกต่างจากเดิม (Guilford, 1950) กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมยังสามารถส่งเสริมองค์ประกอบของความคิดสร้างสรรค์ได้อย่างเป็นรูปธรรมผ่านการคิด ทดลอง และปรับปรุงผลงานอย่างต่อเนื่อง อีกทั้งยังเป็นแนวทางสำคัญในการพัฒนาทักษะการแก้ปัญหาและการคิดอย่างเป็นระบบ (Dym et al., 2005) ช่วยส่งเสริมความสามารถ ในการวิเคราะห์ปัญหาและตัดสินใจเลือกแนวทางแก้ปัญหาอย่างเหมาะสม (Sheppard et al., 2008) รวมทั้งช่วยเชื่อมโยงองค์ความรู้ กับการปฏิบัติจริงผ่านการทดลอง ปรับปรุง และสะท้อนผลการเรียนรู้อย่างต่อเนื่อง (Cross, 2008) ซึ่งส่งผลให้ผู้เรียนสามารถพัฒนานวัตกรรมและแนวคิดที่ตอบสนองต่อความต้องการของสังคมได้อย่างเหมาะสม

นอกจากการใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมแล้วการนำเทคโนโลยีดิจิทัลและปัญญาประดิษฐ์มาใช้ในการจัดการเรียนรู้ยังมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาผู้เรียนในยุคดิจิทัล โดยการใช้เทคโนโลยีดิจิทัลในการจัดการเรียนรู้ช่วยสร้างประสบการณ์การเรียนรู้ที่ยืดหยุ่น และเปิดโอกาสให้ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ได้ตามศักยภาพของตนเอง (Wongyai & Patphol, 2019) ขณะที่กรอบแนวคิด TPACK อธิบายว่าครูจำเป็นต้องบูรณาการองค์ความรู้ด้านเนื้อหา วิธีสอน และเทคโนโลยีเข้าด้วยกัน เพื่อออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ที่เหมาะสม และมีประสิทธิภาพ (Mishra & Koehler, 2006) นอกจากนี้ ปัญญาประดิษฐ์สามารถช่วยสนับสนุนการเรียนรู้แบบเฉพาะบุคคล วิเคราะห์พัฒนาการของผู้เรียน และส่งเสริมทักษะสำคัญ เช่น ความคิดวิเคราะห์ ความคิดสร้างสรรค์ และการแก้ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Holmes et al., 2019) ขณะเดียวกันการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ร่วมกับการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ที่เหมาะสมสามารถ

ช่วยส่งเสริมการคิดวิเคราะห์การเรียนรู้ตามศักยภาพของผู้เรียน และการใช้เทคโนโลยีอย่างมีวิจารณญาณได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Autthawuttikul et al., 2024) ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่า การบูรณาการเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ในการจัดการเรียนรู้ มีส่วนสำคัญต่อการพัฒนาทักษะที่จำเป็นในศตวรรษที่ 21 ของผู้เรียน และสอดคล้องกับแผนปฏิบัติการด้านปัญญาประดิษฐ์แห่งชาติ พ.ศ. 2565–2570 ที่มุ่งส่งเสริมการใช้ AI เพื่อยกระดับคุณภาพการศึกษาและพัฒนาศักยภาพของผู้เรียนให้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของโลกในอนาคต (Ministry of Higher Education, Science, Research and Innovation & Ministry of Digital Economy and Society, 2022)

จากการจัดการเรียนการสอนรายวิชาเทคโนโลยีและนวัตกรรมเชิงสร้างสรรค์ 1 ของโรงเรียนบ้านบนไร่ อำเภอพุนพิน จังหวัดสุราษฎร์ธานี ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2568 พบว่า นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ยังมีข้อจำกัดด้านความคิดสร้างสรรค์และความสามารถในการแก้ปัญหา โดยมักยึดติดกับแนวคิดเดิม ขาดความคิดริเริ่ม ความคล่องแคล่ว ความยืดหยุ่น และไม่สามารถพัฒนาแนวคิดไปสู่ผลงานที่เป็นรูปธรรมได้อย่างชัดเจน ส่งผลให้ผลการเรียนรู้ไม่เป็นไปตามเป้าหมายของรายวิชา ประกอบกับข้อจำกัดด้านเวลาเรียนและเนื้อหาที่ครอบคลุมทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ ทำให้การจัดกิจกรรมเพื่อพัฒนาทักษะดังกล่าวยังดำเนินการได้ไม่เต็มศักยภาพ สภาพปัญหาดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่า การจัดการเรียนรู้ในรูปแบบเดิมยังไม่สามารถส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์และความสามารถในการแก้ปัญหาของผู้เรียนได้อย่างเป็นระบบ จึงมีความจำเป็นในการพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่สามารถส่งเสริมการพัฒนาความคิดสร้างสรรค์และความสามารถในการแก้ปัญหาของผู้เรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสอดคล้องกับเป้าหมายของการจัดการศึกษาในศตวรรษที่ 21

ด้วยเหตุนี้ งานวิจัยนี้จึงได้พัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้ SUTLUM Model ซึ่งเป็นรูปแบบการจัดการเรียนรู้ตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมร่วมกับเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ โดยใช้โมดูลการเรียนรู้บน Google Classroom เรื่อง “สร้างสรรค์นวัตกรรมด้วย EDP & Digital Tools” เป็นสื่อสนับสนุนการเรียนรู้ เพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์และความสามารถในการแก้ปัญหาของนักเรียน ผ่านการบูรณาการกระบวนการเรียนรู้เชิงปฏิบัติร่วมกับการใช้เทคโนโลยีดิจิทัลและปัญญาประดิษฐ์อย่างเป็นระบบ รูปแบบดังกล่าวมุ่งส่งเสริมให้ผู้เรียนสามารถวิเคราะห์ปัญหา สร้างสรรค์แนวคิด พัฒนานวัตกรรม และประยุกต์ใช้ความรู้ในการแก้ปัญหาในสถานการณ์จริงได้อย่างเหมาะสม ขณะเดียวกัน ครูทำหน้าที่เป็นผู้อำนวยความสะดวกในการเรียนรู้ (Facilitator) โดยคอยให้คำแนะนำ กระตุ้นการคิด ติดตามความก้าวหน้าของผู้เรียน ให้ข้อเสนอแนะ และประเมินผลการเรียนรู้ได้อย่างต่อเนื่องผ่านระบบ Google Classroom อันจะช่วยยกระดับผลลัพธ์การเรียนรู้ให้สอดคล้องกับเป้าหมายของรายวิชา ตลอดจนเป็นแนวทางในการพัฒนาการจัดการเรียนรู้ด้านเทคโนโลยีและนวัตกรรมที่สามารถประยุกต์ใช้ในบริบทของสถานศึกษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ และรองรับการพัฒนาสมรรถนะของผู้เรียนให้สอดคล้องกับทักษะที่จำเป็นในศตวรรษที่ 21

2. วัตถุประสงค์งานวิจัย (Research Objectives)

1. เพื่อศึกษาแนวทางการพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมร่วมกับเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2
2. เพื่อพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมร่วมกับเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2
3. เพื่อศึกษาผลการใช้งานรูปแบบการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมร่วมกับเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2

3. การทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)

3.1 รูปแบบการจัดการเรียนรู้

รูปแบบการจัดการเรียนรู้ คือ กรอบแนวคิดและกระบวนการที่ได้รับการออกแบบและพัฒนาอย่างเป็นระบบ เพื่อจัดประสบการณ์การเรียนรู้ให้แก่ผู้เรียน โดยอาศัยพื้นฐานจากทฤษฎีการเรียนรู้ หลักการสอน และการออกแบบหลักสูตร ซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบสำคัญ ได้แก่ หลักการ วัตถุประสงค์ ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ บทบาทของผู้สอนและผู้เรียน ระบบสนับสนุน และการวัดและประเมินผล เพื่อให้กระบวนการจัดการเรียนรู้มีความสอดคล้องกับเป้าหมายและบริบทของ

ผู้เรียน ส่งเสริมให้ผู้เรียนพัฒนาความรู้ ทักษะ และคุณลักษณะอันพึงประสงค์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Saylor et al., 1981; Arends, 2012; Joyce et al., 2004; Khammani, 2010) ในการวิจัยครั้งนี้ งานวิจัยนี้ได้นำแนวคิดดังกล่าวมาใช้เป็นกรอบในการพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้ โดยบูรณาการกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมร่วมกับเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ ภายใต้แนวคิดการสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง (Constructivism) การเรียนรู้เชิงรุก (Active Learning) การเรียนรู้จากการลงมือปฏิบัติ (Experiential Learning) และการคำนึงถึงความแตกต่างระหว่างบุคคล (Individual Differences) เพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ ความสามารถในการแก้ปัญหา และทักษะที่จำเป็นในศตวรรษที่ 21

3.2 กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม คือ กระบวนการแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนบูรณาการความรู้จากหลากหลายศาสตร์ในการวิเคราะห์ปัญหา ออกแบบแนวทางแก้ไข พัฒนา ทดสอบ และปรับปรุงชิ้นงานหรือวิธีการให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการภายใต้ข้อจำกัดของสถานการณ์จริงที่พบเจอในชีวิตประจำวัน โดยกระบวนการดังกล่าวช่วยส่งเสริมการคิดอย่างมีวิจารณญาณ การคิดสร้างสรรค์ การสื่อสาร และการทำงานร่วมกัน อันเป็นทักษะสำคัญสำหรับการเรียนรู้และการดำรงชีวิตในศตวรรษที่ 21 กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมประกอบด้วย 6 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การระบุปัญหา 2) การรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้อง 3) การออกแบบวิธีการแก้ปัญหา 4) การวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา 5) การทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไข และ 6) การนำเสนอผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน ซึ่งช่วยให้ผู้เรียนสามารถประยุกต์ใช้ความรู้และทักษะจากหลากหลายสาขาในการแก้ปัญหาในชีวิตจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน (The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology, n.d.)

3.3 เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์

ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) คือสาขาหนึ่งของวิทยาการคอมพิวเตอร์ที่มุ่งพัฒนาระบบหรือเครื่องจักรให้สามารถทำงานได้ใกล้เคียงมนุษย์ โดยมีความสามารถในการเรียนรู้ การคิด การตัดสินใจ การแก้ปัญหา และการประมวลผลข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพ AI เน้นการวิเคราะห์และจัดการข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว แต่ยังมีข้อจำกัดในด้านการรับรู้เชิงอารมณ์ ประสาทสัมผัส และการตัดสินใจเชิงจริยธรรม (Russell & Norvig, 2010) ความสามารถของ AI สามารถแบ่งออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ปัญญาประดิษฐ์เชิงแคบ (Artificial Narrow Intelligence: ANI) ซึ่งเป็น AI ที่ทำงานเฉพาะด้านในขอบเขตจำกัด เช่น Chatbots หรือผู้ช่วยอัจฉริยะที่ตอบสนองคำสั่งเฉพาะ (Russell & Norvig, 2010) ปัญญาประดิษฐ์ทั่วไป (Artificial General Intelligence: AGI) ซึ่งเป็น AI ที่สามารถเรียนรู้และทำงานได้หลากหลายคล้ายมนุษย์ (Bostrom, 2014) และปัญญาประดิษฐ์แบบเข้ม (Artificial Super Intelligence: ASI) ซึ่งเป็น AI ที่มีศักยภาพเหนือกว่ามนุษย์ในทุกด้าน ทั้งด้านการคิด การแก้ปัญหา และการสร้างสรรค์ แม้จะยังเป็นแนวคิดในอนาคต

3.4. ความคิดสร้างสรรค์

ความคิดสร้างสรรค์ คือ ความสามารถในการเชื่อมโยงความรู้ ประสบการณ์ และข้อมูลจากแหล่งต่าง ๆ เพื่อสร้างแนวคิดหรือวิธีการใหม่ในการแก้ปัญหา พัฒนางาน หรือสร้างผลลัพธ์ที่แตกต่างจากแนวทางเดิม โดยอาศัยจินตนาการและการคิดอย่างหลากหลาย ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ Torrance (1974) ที่มองว่าความคิดสร้างสรรค์เป็นความสามารถในการคิดที่หลากหลายและสามารถพัฒนาได้ จากการสังเคราะห์แนวคิดสามารถสรุปองค์ประกอบได้ 4 ด้าน ได้แก่ 1) ความคิดริเริ่ม (Originality) คือ ความสามารถในการสร้างแนวคิดใหม่ที่แตกต่าง 2) ความคิดคล่องแคล่ว (Fluency) คือ ความสามารถในการคิดได้หลากหลายแนวทางอย่างต่อเนื่อง 3) ความคิดยืดหยุ่น (Flexibility) คือ ความสามารถในการปรับมุมมองและวิธีคิดได้หลากหลาย และ 4) ความคิดละเอียดลออ (Elaboration) คือ ความสามารถในการขยายและพัฒนาแนวคิดให้มีรายละเอียดสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

3.5 ความสามารถในการแก้ปัญหา

ความสามารถในการแก้ปัญหา หมายถึง ความสามารถของบุคคลในการระบุและทำความเข้าใจปัญหา รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวข้อง พิจารณาแนวทางหรือทางเลือกต่าง ๆ ตัดสินใจเลือกวิธีการที่เหมาะสม และดำเนินการแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบ เพื่อให้บรรลุเป้าหมายที่กำหนดได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยอาศัยความรู้ ทักษะการคิด และการตัดสินใจอย่างมีเหตุผล (Polya, 1957; Jonassen, 2011) จากการศึกษาวรรณกรรมและสังเคราะห์แนวคิดที่เกี่ยวข้อง สามารถสรุปองค์ประกอบของความสามารถในการแก้ปัญหาได้ 6 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การระบุปัญหา 2) การรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

3) การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา 4) การกำหนดแนวทางแก้ปัญหา 5) การดำเนินการแก้ปัญหาและประเมินผล และ 6) การสรุปและนำเสนอผลการแก้ปัญหา

4. กรอบแนวคิดงานวิจัย (Conceptual Framework)

การพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมร่วมกับเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ เพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์และความสามารถในการแก้ปัญหาของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 มีกรอบแนวคิดในการพัฒนาที่สังเคราะห์จากแนวคิด ทฤษฎี และหลักการที่เกี่ยวข้อง ดังแสดงในภาพประกอบต่อไปนี้



Figure 1. Conceptual Framework of Research

5. วิธีดำเนินงานวิจัย (Research Methodology)

5.1 ขั้นตอนการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยและพัฒนา (Research and Development: R&D) มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางการพัฒนารูปแบบ และศึกษาผลการใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้น โดยในการศึกษาผลการใช้รูปแบบ งานวิจัยนี้ใช้แบบแผนการวิจัยแบบก่อนการทดลอง (Pre-Experimental Design) ชนิดกลุ่มเดียววัดผลก่อนและหลังการทดลอง (One-Group Pretest–Posttest Design) ดำเนินการทดสอบก่อนเรียน (Pretest) จัดการเรียนรู้ด้วยรูปแบบที่พัฒนาขึ้น และทดสอบหลังเรียน (Posttest) เพื่อเปรียบเทียบผลการเรียนรู้ก่อนและหลังการทดลอง ทั้งนี้ วิธีดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ระยะ ดังนี้

ระยะที่ 1 การศึกษาแนวทางในการพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้ งานวิจัยนี้ดำเนินการศึกษาหลักสูตร เอกสาร ตำรา แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ ความคิดสร้างสรรค์ และความสามารถในการแก้ปัญหา เพื่อสังเคราะห์องค์ประกอบและกำหนดกรอบแนวทางในการพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้ จากนั้นเก็บรวบรวมข้อมูลเพิ่มเติมจากผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 9 คน โดยใช้แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างเพื่อศึกษาความคิดเห็นและข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้

ระยะที่ 2 การพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้ งานวิจัยนี้ดำเนินการพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมร่วมกับเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (SUTLUM Model) รวมทั้งพัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้ และเครื่องมือสนับสนุนการจัดการเรียนรู้ผ่านแพลตฟอร์มดิจิทัล จากนั้นนำแผนการจัดการเรียนรู้ รูปแบบการจัดการเรียนรู้ และเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นไปตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาและประเมินคุณภาพ โดยผู้เชี่ยวชาญด้านละ 3 คน รวมทั้งสิ้น 9 คน ด้วยแบบประเมินคุณภาพ ก่อนนำผลการประเมินมาปรับปรุงแก้ไขให้มีความเหมาะสมและสามารถนำไปใช้ในการจัดการเรียนรู้ได้จริง

ระยะที่ 3 การทดลองใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้ งานวิจัยนี้นำรูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นไปทดลองใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จำนวน 30 คน โดยใช้แบบแผนการวิจัยแบบ One-Group Pretest–Posttest Design เก็บรวบรวมข้อมูลด้วยแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์ แบบประเมินความสามารถในการแก้ปัญหา แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และแบบประเมินความพึงพอใจ ซึ่งเครื่องมือทั้ง 4 ฉบับผ่านการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาโดยผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้าน ฉบับละ 3 คน รวมจำนวน 12 คน ก่อนนำไปใช้เก็บรวบรวมข้อมูล จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อศึกษาผลการใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้

5.2 กลุ่มที่ศึกษา

1. ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 9 คน ได้มาโดยการเลือกแบบเฉพาะเจาะจง ประกอบด้วยผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีและนวัตกรรมเชิงสร้างสรรค์ ด้านการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมร่วมกับเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ และด้านความคิดสร้างสรรค์และการแก้ปัญหา ด้านละ 3 คน

2. กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โรงเรียนบ้านบนไร่ จังหวัดสุราษฎร์ธานี ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2568 จำนวน 30 คน ได้มาโดยการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling)

5.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ระยะที่ 1 การศึกษาแนวทางในการพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้ ตามแนวคิดกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมร่วมกับเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ดำเนินการโดยใช้เครื่องมือดังต่อไปนี้

1. แบบสัมภาษณ์เพื่อศึกษาแนวทางการพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้ งานวิจัยนี้ได้พัฒนาจากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยกำหนดประเด็นการสัมภาษณ์ครอบคลุม 3 ด้าน ได้แก่ เนื้อหารายวิชาเทคโนโลยีและนวัตกรรมเชิงสร้างสรรค์, การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมร่วมกับเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ และ ความคิดสร้างสรรค์และความสามารถในการแก้ปัญหา เครื่องมือเป็นแบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง จำนวน 3 ชุด และผ่านการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาโดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 คน และนำไปใช้เก็บข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 9 คน

(Research Article)

ระยะที่ 2 การพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้ ตามแนวคิดกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมร่วมกับเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 งานวิจัยนี้ดำเนินการพัฒนารูปแบบโดยใช้เครื่องมือดังต่อไปนี้

1. รูปแบบการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมร่วมกับเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ งานวิจัยนี้ได้พัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้จากการศึกษาและสังเคราะห์ทฤษฎี แนวคิด และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยประยุกต์กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมร่วมกับเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ พัฒนาเป็น SUTLUM Model ประกอบด้วย 6 ขั้นตอน ได้แก่ Survey, Understand, Think, Launch, Upgrade และ Manifest และมีองค์ประกอบสำคัญ 4 องค์ประกอบ ได้แก่ ผู้สอน ผู้เรียน โมดูลการเรียนรู้ และเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์



Figure 2. The SUTLUM Learning Management Model Based on the Engineering Design Process Integrated with Artificial Intelligence Technology

2. แบบประเมินคุณภาพรูปแบบการจัดการเรียนรู้ งานวิจัยนี้ได้พัฒนาแบบประเมินประสิทธิภาพรูปแบบการจัดการเรียนรู้ จำนวน 6 ด้าน ได้แก่ ความเป็นระบบของรูปแบบ บทบาทผู้เรียน บทบาทผู้สอน ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ การบูรณาการเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ และผลลัพธ์ที่เกิดกับผู้เรียน ซึ่งเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ จากนั้นตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 คน และประเมินคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญอีก 3 คน รวมทั้งสิ้น 6 คน ก่อนปรับปรุงแก้ไขให้เหมาะสม

3. แผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมร่วมกับเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ งานวิจัยนี้ได้ศึกษาหลักสูตร เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้รายวิชาเทคโนโลยีและนวัตกรรมเชิงสร้างสรรค์ 2 รหัสวิชา ว 20232 สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยใช้หน่วยการเรียนรู้ที่ 4 เรื่อง สร้างสรรค์นวัตกรรมด้วย EDP & Digital Tools จำนวน 6 แผน รวม 10 ชั่วโมง โดยบูรณาการกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมร่วมกับเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ ประกอบด้วย 1) การวิเคราะห์ปัญหา 2) การรวบรวมข้อมูล 3) การออกแบบและวิธีการแก้ปัญหา 4) การวางแผนและการดำเนินการแก้ปัญหา 5) การทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไข และ 6) การนำเสนอและการรายงานผลของปัญหา จากนั้นตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 คน และประเมินคุณภาพ โดยผู้เชี่ยวชาญอีก 3 คน รวมทั้งสิ้น 6 คน



Figure 3. Learning Management Plans Based on the Engineering Design Process Integrated with Artificial Intelligence Technology

4. เครื่องมือจัดการชั้นเรียนและสนับสนุนการเรียนรู้ งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการใช้แพลตฟอร์มและเครื่องมือดิจิทัลที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้โดยเลือก Google Classroom เป็นแพลตฟอร์มหลักในการจัดการเรียนรู้พร้อมออกแบบบทเรียนในรูปแบบโมดูลการเรียนรู้ตามกระบวนการ SUTLUM Model จำนวน 6 โมดูล เพื่อใช้ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้และเก็บรวบรวมข้อมูลในการวิจัย



Figure 4. Google Classroom as a Platform for Classroom Management and Learning Support

5. แบบประเมินคุณภาพเครื่องมือจัดการชั้นเรียนและสนับสนุนการเรียนรู้ งานวิจัยนี้ได้พัฒนาแบบประเมินประสิทธิภาพเครื่องมือจัดการชั้นเรียนและสนับสนุนการเรียนรู้ จำนวน 6 ด้าน ได้แก่ หลักการและเหตุผล จุดมุ่งหมายของโมดูล การประเมินก่อนเรียน สื่อการเรียนรู้ กิจกรรมการเรียนรู้ และการประเมินหลังเรียนซึ่งเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ จากนั้นตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 คน และประเมินคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 คน รวมทั้งสิ้น 6 คน และทดลองใช้เบื้องต้นกับนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง เพื่อตรวจสอบความพร้อมในการใช้งาน

ระยะที่ 3 การพัฒนาเครื่องมือวิจัยเพื่อศึกษาผลการใช้งานรูปแบบการจัดการเรียนรู้ ตามแนวคิดกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมร่วมกับเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อศึกษาผลการใช้งานรูปแบบการจัดการเรียนรู้ ประกอบด้วยเครื่องมือดังต่อไปนี้

1. แบบประเมินความคิดสร้างสรรค์ ดัง Figure 5. (a) งานวิจัยนี้ได้พัฒนาตามแนวคิดของ Torrance โดยใช้เกณฑ์การประเมินแบบรูบริกสกอร์ ครอบคลุม 4 ด้าน ได้แก่ ความคิดริเริ่ม ความคล่องแคล่ว ความยืดหยุ่น และความละเอียดลออ โดยนำเสนอให้ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 คน ประเมินความตรงเชิงเนื้อหาด้วยค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) กำหนดเกณฑ์ค่า IOC ตั้งแต่ 0.50 ขึ้นไป ผลการประเมินพบว่า แบบประเมินความคิดสร้างสรรค์มีค่า IOC เฉลี่ยเท่ากับ 1.00 แสดงว่าแบบประเมินมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์และสามารถนำไปใช้ในการวิจัยได้

2. แบบประเมินความสามารถในการแก้ปัญหา ดัง Figure 5. (b) งานวิจัยนี้พัฒนาตามแนวคิดกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (Engineering Design Process: EDP) และการประเมินแบบรูบริกสกอร์ ครอบคลุม 6 ด้าน ได้แก่ การระบุปัญหา การรวบรวมข้อมูล การออกแบบวิธีการแก้ปัญหา การวางแผนและดำเนินงาน การทดสอบและปรับปรุง และการนำเสนอผลงาน โดยบูรณาการการใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ในแต่ละด้าน จากนั้นนำเสนอให้ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 คน ประเมินความตรงเชิงเนื้อหาด้วยค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) กำหนดเกณฑ์ค่า IOC ตั้งแต่ 0.50 ขึ้นไป ผลการประเมินพบว่า แบบประเมินความสามารถในการแก้ปัญหามีค่า IOC เฉลี่ยเท่ากับ 1.00 แสดงว่าแบบประเมินมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์และสามารถนำไปใช้ในการวิจัยได้

(a) (b)

Figure 5. (a) Creativity Assessment Rubric and (b) Problem-Solving Ability Assessment Rubric

3. แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน งานวิจัยนี้สร้างแบบทดสอบปรนัยชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก จำนวน 30 ข้อ ตามมาตรฐานและจุดประสงค์การเรียนรู้ จากนั้นนำเสนอให้ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 คน ประเมินความตรงเชิงเนื้อหาด้วยค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) และปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะ ก่อนนำแบบทดสอบไปทดลองใช้ (Try Out) กับนักเรียนที่มีลักษณะใกล้เคียงกับกลุ่มตัวอย่าง เพื่อวิเคราะห์คุณภาพของข้อสอบ ได้แก่ ค่าความยาก ค่าอำนาจจำแนก และค่าความเชื่อมั่น ผลการวิเคราะห์พบว่า แบบทดสอบทั้งฉบับมีค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.77 ค่าความยาก (P) ของข้อสอบอยู่ระหว่าง 0.55–0.88 และค่าอำนาจจำแนก (R) อยู่ระหว่าง 0.31–0.53 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้วัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ทั้งนี้ งานวิจัยนี้ได้คัดเลือกข้อสอบที่มีคุณภาพจำนวน 20 ข้อ เพื่อนำไปใช้เป็นแบบทดสอบฉบับจริงในการวิจัย

4. แบบประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน งานวิจัยนี้ได้พัฒนาจากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยแบ่งเป็นแบบคำถามปลายปิดและปลายเปิด ครอบคลุม 5 ด้าน ได้แก่ ด้านเนื้อหา ด้านกิจกรรม ด้านเทคโนโลยีและสื่อ ด้านการส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์และการแก้ปัญหา และด้านสื่อการเรียนรู้ ใช้มาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ ตามแนวคิดของ Likert จากนั้นนำเสนอให้ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 คน ประเมินความตรงเชิงเนื้อหาด้วยค่าดัชนีความ

สอดคล้อง (IOC) โดยกำหนดเกณฑ์ค่า IOC ตั้งแต่ 0.50 ขึ้นไป ผลการประเมินพบว่า แบบประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนมีค่า IOC เฉลี่ยเท่ากับ 1.00 แสดงว่าแบบประเมินมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์และสามารถนำไปใช้ในการวิจัยได้

6. ผลการวิจัย (Results)

6.1 ผลการศึกษาแนวทางในการจัดการเรียนรู้ ตามแนวคิดกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมร่วมกับเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2

ผลการวิจัย ดัง Table 1.

Table 1. Synthesis of Guidelines for Developing the SUTLUM Learning Management Model Based on the Engineering Design Process Integrated with Artificial Intelligence Technology

Findings from the Study of Learning Management Guidelines	Implications for the Development of the SUTLUM Model
Aspect 1: Learning Management Based on the Engineering Design Process Integrated with Artificial Intelligence Technology	
The experts consistently agreed that learning management should employ the Engineering Design Process (EDP) as the primary framework for learner development, while integrating artificial intelligence (AI) technology as a learning support tool throughout all stages. AI should facilitate problem analysis, information searching, idea generation, solution design, testing, and refinement of products. This approach promotes analytical thinking, decision-making, and systematic problem-solving, while encouraging the critical and ethical use of technology.	The findings were applied to establish the principles and learning procedures of the SUTLUM Model. The Engineering Design Process was adopted as the core learning framework, while AI technology was integrated as a supporting tool for problem analysis, information searching, idea generation, design, testing, and systematic improvement of products under the principles of critical and ethical technology use.
Aspect 2: Content of the Creative Technology and Innovation 2 Course	
The course content and learning activities should be connected to real-world situations and learners' contexts. Emphasis should be placed on applying knowledge of technology, innovation, and artificial intelligence to create products and solve problems. Learning experiences should be sequenced from conceptual understanding to practical application and supported through learning modules and digital platforms to promote self-directed learning, collaboration, and continuous monitoring of learner development.	The findings were utilized to design the course content, learning modules, and learning activities that are closely aligned with real-world situations and learners' contexts. The learning activities emphasize the application of technology, innovation, and artificial intelligence for product creation and problem-solving, while digital platforms support self-directed learning and collaborative learning.

(Research Article)

Table 1. Synthesis of Guidelines for Developing the SUTLUM Learning Management Model Based on the Engineering Design Process Integrated with Artificial Intelligence Technology (Conts.)

Findings from the Study of Learning Management Guidelines	Implications for the Development of the SUTLUM Model
Aspect 3: Creativity and Problem-Solving Ability	
Learning management should provide opportunities for learners to initiate ideas, generate diverse solutions, experiment with new approaches, and continuously improve their work through reflection and revision. Teachers should serve as facilitators who support learning and foster an environment conducive to discussion and knowledge sharing. Authentic assessment should be employed to evaluate work processes, products, and learner development in order to comprehensively reflect creativity and problem-solving ability.	The findings were applied to define the expected learning outcomes and to design learning activities that encourage learners to initiate ideas, generate diverse solutions, experiment with innovative approaches, and continuously improve their work through reflection and revision. In addition, authentic assessment procedures were incorporated to evaluate learning processes, products, and learner development comprehensively.

จาก Table 1. ผลการสังเคราะห์ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญสามารถสรุปได้เป็น 3 ประเด็นสำคัญ ซึ่งงานวิจัยนี้ได้นำไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้ SUTLUM Model สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2

6.2 ผลการพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้ ตามแนวคิดกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมร่วมกับเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 มีองค์ประกอบและขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้

งานวิจัยนี้ได้พัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยศึกษา วิเคราะห์ และสังเคราะห์แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้ เพื่อใช้เป็นกรอบแนวคิดในการออกแบบและพัฒนารูปแบบให้มีความเป็นระบบ โดยประยุกต์ใช้แนวคิดการสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง การเรียนรู้เชิงรุก การเรียนรู้จากการลงมือปฏิบัติ และกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (Engineering Design Process: EDP) ตามแนวทางของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) มาประยุกต์ใช้เป็นกรอบในการออกแบบขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ ร่วมกับการใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์เป็นเครื่องมือสนับสนุนการเรียนรู้ จากการสังเคราะห์แนวคิดดังกล่าว งานวิจัยนี้ได้กำหนดองค์ประกอบสำคัญของรูปแบบการจัดการเรียนรู้ ประกอบด้วย 6 องค์ประกอบ ได้แก่ หลักการของรูปแบบ วัตถุประสงค์ของรูปแบบ รูปแบบการจัดการเรียนรู้ องค์ประกอบการจัดการเรียนรู้ ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ บทบาทของผู้สอนและผู้เรียน การวัดและประเมินผล และผลที่คาดว่าจะได้รับ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

หลักการของรูปแบบ

1. การจัดการเรียนรู้ยึดผู้เรียนเป็นศูนย์กลางและส่งเสริมการเรียนรู้เชิงรุก (Learner-Centered & Active Learning) การจัดการเรียนรู้มุ่งเน้นให้ผู้เรียนมีบทบาทสำคัญในกระบวนการเรียนรู้ โดยเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติ คิด วิเคราะห์ และมีส่วนร่วมในการสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง ผ่านกิจกรรมที่หลากหลาย ซึ่งช่วยให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจในเนื้อหาได้ดียิ่งขึ้น และสามารถเชื่อมโยงความรู้ไปสู่การประยุกต์ใช้ในสถานการณ์จริงได้

2. การเรียนรู้ตามแนวคิดการสร้างองค์ความรู้และการเรียนรู้ทางสังคม (Constructivism & Social Constructivism) รูปแบบการจัดการเรียนรู้นี้ตั้งอยู่บนแนวคิดที่ว่าผู้เรียนสามารถสร้างความรู้ได้จากประสบการณ์ตรงและการมีปฏิสัมพันธ์กับผู้อื่น โดยการแลกเปลี่ยนความคิดเห็น การทำงานร่วมกัน และการใช้เครื่องมือทางสังคม เช่น เทคโนโลยีดิจิทัลและปัญญาประดิษฐ์ ซึ่งช่วยส่งเสริมการพัฒนาศักยภาพของผู้เรียนให้ก้าวไปสู่ระดับที่สูงขึ้น

(Research Article)

3. การใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (Engineering Design Process: EDP) เป็นแกนหลักของการเรียนรู้การจัดการเรียนรู้เน้นให้ผู้เรียนพัฒนาทักษะการคิดอย่างเป็นระบบผ่านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ตั้งแต่การระบุปัญหา การรวบรวมข้อมูล การออกแบบแนวทางแก้ปัญหา การลงมือปฏิบัติ การทดสอบ และการปรับปรุงแก้ไข ซึ่งเป็นกระบวนการที่ช่วยให้ผู้เรียนสามารถแก้ปัญหาได้อย่างมีเหตุผลและเป็นขั้นตอน

4. การใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) เป็นเครื่องมือสนับสนุนการเรียนรู้ (Learning Support Tool) เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ถูกนำมาใช้เพื่อเสริมศักยภาพการเรียนรู้ของผู้เรียน เช่น การช่วยสืบค้นข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล และการสนับสนุนการออกแบบแนวทางแก้ปัญหา โดยมีบทบาทเป็นเครื่องมือช่วยคิด ไม่ใช่การแทนที่กระบวนการคิดของผู้เรียน เพื่อให้ผู้เรียนยังคงพัฒนาทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณและเป็นอิสระ

5. การส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์และการแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบ รูปแบบการจัดการเรียนรู้มุ่งเน้นให้ผู้เรียนได้พัฒนาความคิดสร้างสรรค์ผ่านการคิดอย่างหลากหลาย การทดลองแนวทางใหม่ และการปรับปรุงผลงานอย่างต่อเนื่อง ควบคู่กับการใช้กระบวนการคิดเชิงระบบในการวิเคราะห์และแก้ปัญหา เพื่อให้ผู้เรียนสามารถสร้างสรรค์ผลงานที่มีคุณภาพและสามารถนำไปใช้ได้จริง

6. การคำนึงถึงความแตกต่างระหว่างบุคคล (Individual Differences) การออกแบบการเรียนรู้คำนึงถึงความแตกต่างด้านความสามารถ ความสนใจ และพื้นฐานความรู้ของผู้เรียนโดยจัดกิจกรรมให้มีความยืดหยุ่นและมีระดับความยากง่ายที่เหมาะสม เพื่อเปิดโอกาสให้ผู้เรียนทุกคนได้พัฒนาและแสดงศักยภาพของตนเองได้อย่างเต็มที่

7. การส่งเสริมบทบาทผู้สอนเป็นผู้อำนวยความสะดวกในการเรียนรู้ (Teacher as a Learning Facilitator) ผู้สอนมีบทบาทสำคัญในการออกแบบและจัดสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ โดยทำหน้าที่เป็นผู้อำนวยความสะดวก กระตุ้นการเรียนรู้ ให้คำแนะนำ และสนับสนุนผู้เรียนในการคิดวิเคราะห์ การลงมือปฏิบัติ และการสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง รวมทั้งส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์เป็นเครื่องมือสนับสนุนการเรียนรู้

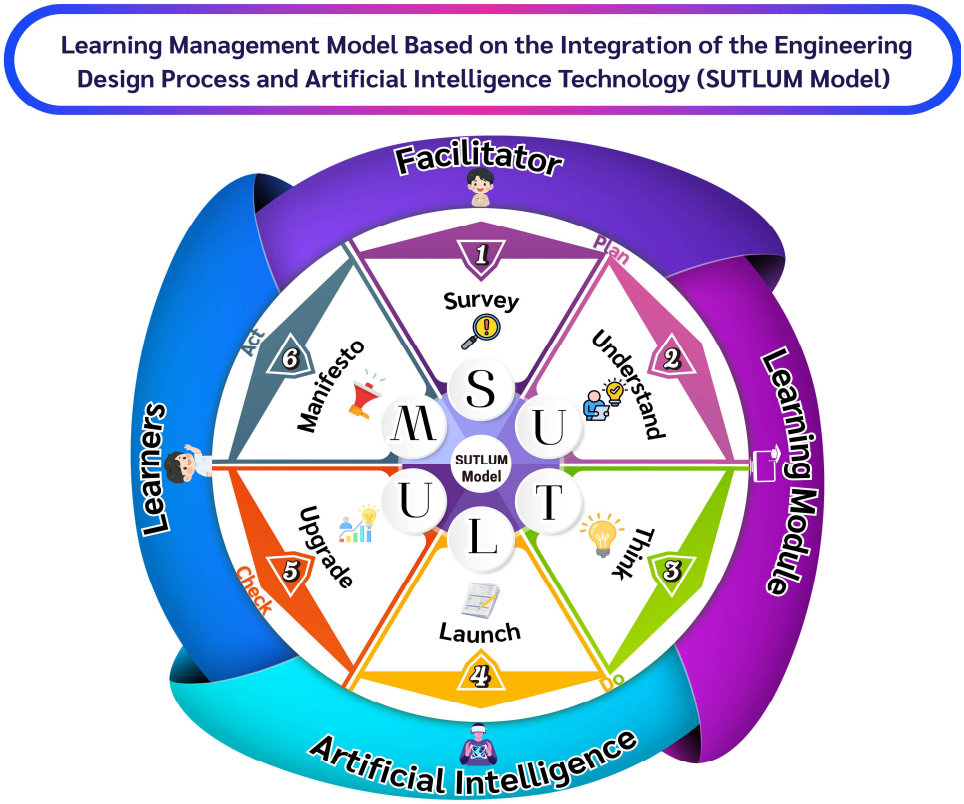


Figure 7. Learning Management Model Based on the Integration of the Engineering Design Process and Artificial Intelligence Technology (SUTLUM Model)

(Research Article)

องค์ประกอบของรูปแบบการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมร่วมกับเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ ประกอบด้วย 4 องค์ประกอบ ดังนี้

องค์ประกอบที่ 1 ผู้สอน (Facilitator) ผู้สอนทำหน้าที่เป็นผู้ออกแบบกระบวนการจัดการเรียนรู้วางแผนกิจกรรม สร้างโมดูลการเรียนรู้ กำหนดสถานการณ์ปัญหา และชี้แนะการเรียนรู้ให้สอดคล้องกับกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม รวมทั้งเลือกและประยุกต์ใช้เครื่องมือเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ให้เหมาะสมกับกระบวนการแก้ปัญหาในแต่ละขั้นตอน ผู้สอนยังทำหน้าที่เป็นผู้อำนวยความสะดวก ให้คำแนะนำ และให้ข้อมูลป้อนกลับแก่ผู้เรียนอย่างต่อเนื่องตลอดกระบวนการเรียนรู้ เพื่อส่งเสริมการคิดสร้างสรรค์ การคิดอย่างเป็นระบบ และการพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาอย่างมีประสิทธิภาพ ตลอดจนปลูกฝังให้ผู้เรียนใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์อย่างมีวิจารณญาณและมีจริยธรรมในการเรียนรู้และการดำเนินชีวิต

องค์ประกอบที่ 2 โมดูลการเรียนรู้ (Learning Module) โมดูลการเรียนรู้เป็นชุดกิจกรรมการเรียนรู้สำเร็จรูปที่ประกอบด้วยเนื้อหา กิจกรรม ใบงาน และแบบประเมิน ซึ่งผู้สอนออกแบบให้สอดคล้องกับขั้นตอนของรูปแบบการจัดการเรียนรู้ SUTLUM Model เพื่อพัฒนาความคิดสร้างสรรค์และความสามารถในการแก้ปัญหาของผู้เรียน รวมทั้งใช้เป็นเครื่องมือในการติดตาม ตรวจสอบ และประเมินผลการเรียนรู้อย่างต่อเนื่อง โดยแบ่งออกเป็น 6 โมดูล ได้แก่ โมดูลที่ 1 Survey (สำรวจและระบุปัญหา) / ปฐมนิเทศ โมดูลที่ 2 Understand (เข้าใจและรวบรวมข้อมูล) โมดูลที่ 3 Think (ออกแบบแนวทางแก้ปัญหา) โมดูลที่ 4 Launch (วางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา) โมดูลที่ 5 Upgrade (ทดสอบ ประเมินและปรับปรุง) และโมดูลที่ 6 Manifesto (นำเสนอผลงานและสรุปผล) / สรุปผลการเรียนรู้

องค์ประกอบที่ 3 เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ทำหน้าที่เป็นเครื่องมือสนับสนุนการเรียนรู้ ช่วยในการสืบค้น วิเคราะห์ และสังเคราะห์ข้อมูล กระตุ้นการคิดสร้างสรรค์ การออกแบบแนวทางแก้ปัญหา ตลอดจนการสร้างสื่อและผลงานของผู้เรียน โดยถูกนำมาใช้ในลักษณะของเครื่องมือช่วยเสริมศักยภาพการเรียนรู้ ไม่ใช่ผู้แทนกระบวนการคิดของผู้เรียน

องค์ประกอบที่ 4 ผู้เรียน (Learners) ผู้เรียนเป็นศูนย์กลางของการเรียนรู้ มีบทบาทสำคัญในการสำรวจ วิเคราะห์ ออกแบบ ลงมือปฏิบัติ ทดสอบ และนำเสนอผลงาน โดยผู้เรียนได้ใช้ความรู้ ทักษะ และเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ในการแก้ปัญหาและสร้างสรรค์ผลงานจากสถานการณ์จริง ส่งผลให้เกิดการพัฒนาความคิดสร้างสรรค์และความสามารถในการแก้ปัญหา ตลอดจนการใช้เทคโนโลยีอย่างเหมาะสม มีวิจารณญาณ และมีจริยธรรมอย่างมีประสิทธิภาพ

ขั้นตอนของรูปแบบการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมร่วมกับเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ ประกอบด้วย 6 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นที่ 1 การสำรวจและระบุปัญหา (Survey) ผู้สอนนำเสนอประเด็น พร้อมตั้งคำถาม และยกตัวอย่างสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจริงในชีวิตประจำวันของผู้เรียน เพื่อกระตุ้นความสนใจและการคิดอย่างเป็นระบบ เปิดโอกาสให้ผู้เรียนร่วมกันสำรวจ แลกเปลี่ยนความคิดเห็น และระบุประเด็นสำคัญที่ควรเรียนรู้หรือปัญหาที่ควรพิจารณา พร้อมร่วมกันกำหนดเป้าหมายการเรียนรู้ในบทเรียนนั้น เพื่อสร้างแรงจูงใจและความตระหนักถึงความสำคัญของเนื้อหา โดยผู้เรียนสามารถประยุกต์ใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ในการสืบค้นข้อมูลเบื้องต้น วิเคราะห์สถานการณ์ หรือรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องเพื่อสนับสนุนการระบุปัญหาให้มีความชัดเจนและครอบคลุมมากยิ่งขึ้น

ขั้นที่ 2 เข้าใจและวิเคราะห์ปัญหา (Understand) ผู้สอนชี้แนะให้ผู้เรียนทำความเข้าใจประเด็นหรือปัญหาอย่างเป็นระบบ โดยพิจารณาความหมาย ขอบเขต เงื่อนไข และปัจจัยที่เกี่ยวข้อง พร้อมทบทวนความรู้เดิม และศึกษาค้นคว้าแนวคิด ทฤษฎี หลักการ หรือข้อมูลเพิ่มเติมที่เกี่ยวข้องกับปัญหา เพื่อสร้างความเข้าใจและนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์สถานการณ์อย่างเหมาะสม นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์เป็นเครื่องมือช่วยในการค้นคว้า รวบรวม จัดระเบียบ และวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อสนับสนุนการสังเคราะห์ความรู้และใช้เป็นข้อมูลประกอบการออกแบบแนวทางการแก้ปัญหาในขั้นตอนถัดไป

ขั้นที่ 3 คิดและออกแบบแนวทางแก้ปัญหา (Think) ผู้เรียนศึกษาค้นคว้าข้อมูลจากแหล่งเรียนรู้หรือโมดูลการเรียนที่ผู้สอนจัดเตรียมไว้ รวมถึงการใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ในการสืบค้น วิเคราะห์ และออกแบบแนวทางการแก้ปัญหา จากนั้นแลกเปลี่ยนความคิดเห็น ระดมความคิด และทำงานร่วมกับผู้อื่น เพื่อพัฒนาแนวทางการเรียนรู้ แนวคิดหรือแนวทางแก้ปัญหาที่หลากหลายอย่างสร้างสรรค์ โดยใช้การคิดเชิงวิเคราะห์ในการเปรียบเทียบและคัดเลือกแนวทาง

ISSN 2985-1580 (Print)
ISSN 2985-1599 (Online)

(Research Article)

ที่เหมาะสมและสามารถปฏิบัติได้จริง ทั้งนี้ เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ทำหน้าที่เป็นเครื่องมือสนับสนุนการระดมความคิด การร่างแนวคิดหรือรูปแบบเบื้องต้น การเปรียบเทียบแนวทาง และการตรวจสอบความเป็นไปได้ของแนวทางแก้ปัญหา โดยผู้เรียนเป็นผู้ใช้ดุลยพินิจในการวิเคราะห์ ประเมิน และตัดสินใจเลือกแนวทางที่เหมาะสมด้วยตนเอง

ขั้นที่ 4 ดำเนินการและลงมือปฏิบัติ (Launch) ผู้เรียนนำแนวคิดหรือแนวทางที่เลือกไว้มาวางแผนและกำหนดขั้นตอนการดำเนินงานอย่างเป็นระบบ จากนั้นลงมือปฏิบัติจริง เช่น การทดลอง การสร้างชิ้นงาน การจัดกิจกรรม หรือการทำภาระงานตามแผนที่วางไว้ โดยประยุกต์ใช้ความรู้ เครื่องมือ เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ และทรัพยากรที่เหมาะสม ทั้งนี้ ผู้เรียนสามารถใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์เป็นเครื่องมือช่วยค้นหาและเปรียบเทียบข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุ อุปกรณ์ หรือทรัพยากรที่เหมาะสมกับการสร้างผลงาน รวมถึงวิเคราะห์ข้อดี ข้อจำกัด และความเหมาะสมของแต่ละทางเลือก พร้อมทั้งบันทึกกระบวนการทำงาน ปัญหา อุปสรรค และวิธีการแก้ไขที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงาน

ขั้นที่ 5 ยกระดับผลงานและประเมินผล (Upgrade) ผู้เรียนตรวจสอบและประเมินผลการทำงานหรือผลงานของตนเอง วิเคราะห์ข้อดี ข้อจำกัด และผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น จากนั้นนำผลการประเมินและข้อเสนอแนะจากผู้สอน เพื่อน หรือเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ ไปใช้ในการยกระดับ ปรับปรุงแก้ไข และพัฒนาผลงานหรือกระบวนการเรียนรู้ให้มีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ทำหน้าที่เป็นเครื่องมือสนับสนุนการวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน การตรวจสอบข้อบกพร่อง และการเสนอแนะแนวทางในการปรับปรุงผลงานอย่างต่อเนื่อง

ขั้นที่ 6 นำเสนอผลงานและสะท้อนการเรียนรู้ (Manifesto) ผู้เรียนนำเสนอผลงาน แนวคิด หรือกระบวนการเรียนรู้ที่ได้จากกิจกรรม ผ่านการพูด การเขียน หรือสื่อรูปแบบต่าง ๆ โดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ในการออกแบบและพัฒนาสื่อประกอบการนำเสนอ พร้อมทั้งสะท้อนการคิด การเรียนรู้ และประสบการณ์ที่ได้รับจากกระบวนการทั้งหมด ผู้สอนให้ข้อมูลป้อนกลับเพื่อเสริมแรงและชี้แนะแนวทางในการพัฒนาต่อยอด จากนั้นผู้เรียนสรุปองค์ความรู้ ข้อคิดที่ได้รับ และสะท้อนบทบาทของการใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ในการสนับสนุนการแก้ปัญหาตลอดกระบวนการ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการเรียนรู้หรือสถานการณ์อื่นในอนาคต

จาก Figure 5. สรุปได้ว่ารูปแบบการจัดการเรียนรู้ SUTLUM Model ประกอบด้วย 4 องค์ประกอบ ได้แก่ ผู้สอน โมดูลการเรียนรู้ เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ และผู้เรียน พร้อมกระบวนการเรียนรู้ 6 ขั้นตอน ได้แก่ การสำรวจและระบุปัญหา การทำความเข้าใจและวิเคราะห์ปัญหา การคิดและออกแบบแนวทางแก้ปัญหา การดำเนินการและลงมือปฏิบัติ การปรับปรุงผลงานและประเมินผล และการนำเสนอผลงานและสะท้อนการเรียนรู้ โดยบูรณาการกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมร่วมกับเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์

6.2.1 ผลการประเมินคุณภาพรูปแบบการจัดการเรียนรู้

ผลการวิจัย ดัง Table 2.

Table 2. Results of the Evaluation of the Appropriateness of the Learning Management Model

Evaluation Criteria	Mean	S.D.	Interpretation
1. Systematic Structure and Conceptual Foundation of the Learning Management Model	4.67	0.47	Very Good
2. Learners' Roles	4.67	0.47	Very Good
3. Facilitator's Roles	4.67	0.47	Very Good
4. Learning Management Process Based on the SUTLUM Model	4.60	0.48	Very Good
5. Integration of Artificial Intelligence Technology	4.61	0.48	Very Good
6. Expected Learning Outcomes	4.67	0.47	Very Good
Overall	**4.65**	**0.47**	**Very Good**

(Research Article)

จาก Table 2. ผลการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 คน พบว่า รูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นมีความเหมาะสมโดยรวมอยู่ในระดับดีมาก (M = 4.65, S.D. = 0.47) แสดงให้เห็นว่ารูปแบบมีความเป็นระบบ มีองค์ประกอบครบถ้วน และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการจัดการเรียนรู้ระดับมัธยมศึกษาปีที่ได้อย่างเหมาะสม

6.3 ผลการใช้งานรูปแบบการจัดการเรียนรู้ ตามแนวคิดกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมร่วมกับเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 มีรายละเอียดดังนี้

6.3.1 ผลการประเมินความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2

ผลการประเมินความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ซึ่งเป็นผลจากการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมร่วมกับเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ งานวิจัยนี้ได้นำคะแนนจากแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์มาวิเคราะห์และสรุปผลดัง Table 3.

Table 3. Creativity Assessment Results of Grade 8 Students

Dimension	Assessment Criteria	Full Score	Mean	S.D.	Interpretation
1. Originality	1.1 Novelty of Ideas	3	2.75	0.44	Very Good
	1.2 Appropriateness of Ideas	3	2.68	0.47	Very Good
	1.3 Use of AI to Support Novel Ideas	3	2.67	0.48	Very Good
	Subtotal (Originality)	**9**	**8.10**	**0.82**	**Very Good**
2. Fluency	2.1 Number of Ideas Generated	3	2.78	0.43	Very Good
	2.2 Continuity of Idea Generation	3	2.80	0.41	Very Good
	2.3 Use of AI to Increase Idea Generation	3	2.72	0.45	Very Good
	Subtotal (Fluency)	**9**	**8.30**	**0.71**	**Very Good**
3. Flexibility	3.1 Viewing Problems from Multiple Perspectives	3	2.63	0.48	Very Good
	3.2 Adaptation of Problem-Solving Approaches	3	2.60	0.50	Very Good
	3.3 Application of Information Generated by AI	3	2.57	0.50	Very Good
	Subtotal (Flexibility)	**9**	**7.80**	**0.86**	**Very Good**
4. Elaboration	4.1 Completeness of Details	3	2.55	0.51	Very Good
	4.2 Logical Sequencing Based on the Engineering Design Process (EDP)	3	2.57	0.54	Very Good
	4.3 Use of AI to Enhance Details	3	2.58	0.53	Very Good
	Subtotal (Elaboration)	**9**	**7.70**	**0.91**	**Very Good**
	Overall	**36**	**31.90**	**1.45**	**Very Good**

จาก Table 3. ผลการวิเคราะห์ความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ตามองค์ประกอบทั้ง 4 ด้าน พบว่า นักเรียนมีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 31.00 จากคะแนนเต็ม 36 คะแนน ซึ่งอยู่ในระดับดีมาก และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.45

6.3.2 ผลการประเมินความสามารถในการแก้ปัญหาของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2

ผลการประเมินความสามารถในการแก้ปัญหาของนักเรียนภายหลังการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมร่วมกับเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ งานวิจัยนี้นำคะแนนที่ได้จากแบบประเมินมาวิเคราะห์และสรุประดับความสามารถในการแก้ปัญหา ดัง Table 4.

Table 4. Results of the Problem-Solving Ability Assessment of Grade 8 Students

Assessment Criteria	Full Score	Mean	S.D.	Interpretation
1. Problem Identification	4	3.40	0.52	Good
2. Information Gathering	4	3.80	0.41	Very Good
3. Solution Design	4	3.80	0.40	Very Good
4. Planning	4	3.70	0.47	Very Good
5. Testing and Evaluation	4	3.60	0.50	Very Good
6. Presentation of Solutions	4	3.30	0.53	Good
Overall	**24**	**21.60**	**1.90**	**Very Good**

จาก Table 4. ผลการประเมินความสามารถในการแก้ปัญหาของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ตามองค์ประกอบทั้ง 6 ด้าน พบว่า นักเรียนมีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 21.60 จากคะแนนเต็ม 24 คะแนน ซึ่งอยู่ในระดับดีมากและมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.90

6.3.3 ผลการประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน (ก่อนเรียน – หลังเรียน)

งานวิจัยนี้เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ก่อนและหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมร่วมกับเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ โดยใช้แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนแบบปรนัย ชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก จำนวน 20 ข้อ ดัง Table 5.

Table 5. Comparison of Students' Learning Achievement Before and After the Implementation of the Learning Management Model

Test	Statistics					
	n	Full Score	Mean	S.D.	t	Sig.
Pre-test	30	20	10.27	2.99	6.65	< .001
Post-test	30	20	15.03	2.33		

จาก Table 5. ผลการเปรียบเทียบคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังเรียน พบว่า คะแนนเฉลี่ยหลังเรียน (M = 15.03, S.D. = 2.33) สูงกว่าก่อนเรียน (M = 10.27, S.D. = 2.99) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ($t = 6.65$, $p < .001$) แสดงว่ารูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นสามารถส่งเสริมผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

6.3.4 ผลการประเมินความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ที่มีต่อการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมร่วมกับเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์

งานวิจัยนี้เก็บรวบรวมข้อมูลและนำผลมาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดัง Table 6.

Table 6. Results of the Satisfaction Assessment of Grade 8 Students toward Learning Management Based on the Engineering Design Process Integrated with Artificial Intelligence Technology

Assessment Criteria	Mean	S.D.	Interpretation
1. Content and the Engineering Design Process	4.73	0.44	Very High
2. Learning Activities and Student Participation	4.62	0.49	Very High
3. Use of Artificial Intelligence Technology and Digital Media	4.72	0.45	Very High
4. Promotion of Creativity and Problem-Solving Ability	4.65	0.48	Very High
5. Learning Materials	4.66	0.49	Very High
Overall	**4.68**	**0.46**	**Very High**

จาก Table 6. สรุปได้ว่า ผลการประเมินความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ที่มีต่อรูปแบบการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมร่วมกับเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ โดยนักเรียนจำนวน 30 คน พบว่าโดยภาพรวมผู้เรียนมีความคิดเห็นต่อรูปแบบการจัดการเรียนรู้อยู่ในระดับมากที่สุด (M= 4.68, S.D. = 0.46)

7. สรุปผลการวิจัย (Conclusion)

1. แนวทางการพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้ควรมุ่งเน้นการบูรณาการกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมร่วมกับเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์อย่างเป็นระบบ โดยใช้ปัญญาประดิษฐ์เป็นเครื่องมือสนับสนุนการคิด วิเคราะห์ ออกแบบ และปรับปรุงผลงานของผู้เรียน ควบคู่กับการจัดการเรียนรู้เชิงรุกและการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐาน เน้นการลงมือปฏิบัติจริง การแก้ปัญหาจากสถานการณ์จริง การประเมินตามสภาพจริง และการใช้เทคโนโลยีอย่างมีวิจารณญาณและมีจริยธรรม

2. รูปแบบการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมร่วมกับเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (SUTLUM Model) ที่พัฒนาขึ้น ประกอบด้วยกระบวนการจัดการเรียนรู้ 6 ขั้นตอน ได้แก่ (1) การสำรวจและระบุปัญหา (Survey) (2) การทำความเข้าใจและวิเคราะห์ปัญหา (Understand) (3) การคิดและออกแบบแนวทางแก้ปัญหา (Think) (4) การดำเนินการและลงมือปฏิบัติ (Launch) (5) การปรับปรุงผลงานและประเมินผล (Upgrade) และ (6) การนำเสนอผลงานและสะท้อนการเรียนรู้ (Manifesto) โดยรูปแบบดังกล่าวประกอบด้วย 4 องค์ประกอบสำคัญ ได้แก่ ผู้สอน ผู้เรียน เครื่องมือปัญญาประดิษฐ์ และโมดูลการเรียนรู้ ทั้งนี้ ผลการประเมินคุณภาพของรูปแบบอยู่ในระดับดีมาก (M = 4.65, S.D. = 0.47)

3. ผลการใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้ พบว่า

1) นักเรียนมีความคิดสร้างสรรค์อยู่ในระดับดีมาก (M = 31.90 จากคะแนนเต็ม 36, S.D. = 1.45)
2) นักเรียนมีความสามารถในการแก้ปัญหาอยู่ในระดับดีมาก (M= 21.60 จากคะแนนเต็ม 24, S.D. = 1.90)
3) นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05
4) นักเรียนมีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้โดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด (M = 4.68, S.D. = 0.46)

8. อภิปรายผลการวิจัย (Discussion)

1. ผลการพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมร่วมกับเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 พบว่า รูปแบบที่พัฒนาขึ้นมีคุณภาพอยู่ในระดับดีมาก (M = 4.65, S.D. = 0.47) จากการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ สะท้อนว่ารูปแบบมีองค์ประกอบครบถ้วนและเชื่อมโยงกันอย่างเป็นระบบทั้งด้านหลักการ วัตถุประสงค์ ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ บทบาทผู้เรียนและผู้สอน รวมถึงการวัดและประเมินผล โดยยึดแนวคิดการจัดการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ บูรณาการกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเป็นแกนหลัก และใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์เป็นเครื่องมือสนับสนุน การเรียนรู้ในแต่ละขั้นตอน ซึ่งผ่านการตรวจสอบคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญก่อนนำไปใช้จริง ผลการนำรูปแบบไปใช้แสดงให้เห็นว่ารูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นสามารถส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์และความสามารถในการแก้ปัญหาของผู้เรียนได้อย่างเป็นระบบ เนื่องจากผู้เรียนมีส่วนร่วมตั้งแต่การระบุปัญหา วิเคราะห์ข้อมูล ออกแบบแนวทาง ลงมือปฏิบัติ และปรับปรุงผลงานอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในขั้น Launch และ Upgrade ที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนสร้างและพัฒนาผลงานจริง ส่งผลให้เกิดการคิดเชิงวิเคราะห์และการแก้ปัญหาอย่างเป็นขั้นตอน สอดคล้องกับแนวคิดของ Dewey (1938) ที่เน้นการเรียนรู้ผ่านประสบการณ์จริง แนวคิดของ Piaget & Inhelder (1972) ที่อธิบายว่าผู้เรียนสร้างองค์ความรู้จากการลงมือปฏิบัติ และการปรับโครงสร้างทางปัญญาด้วยตนเอง และแนวคิดของ Vygotsky (1978) ที่เน้นการเรียนรู้ผ่านปฏิสัมพันธ์ทางสังคมและการใช้เครื่องมือช่วยสนับสนุนการเรียนรู้ ทั้งนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Saritepeci & Durak (2024) ที่พบว่าการบูรณาการปัญญาประดิษฐ์ร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบออกแบบสามารถส่งเสริมความสามารถด้านการคิดเชิงออกแบบและการแก้ปัญหาของผู้เรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพผ่านกระบวนการเรียนรู้ที่เน้นการลงมือปฏิบัติ การสร้างชิ้นงาน และการสะท้อนคิดในบริบทจริง อย่างไรก็ตาม ผลลัพธ์อาจแตกต่างตามบริบทของผู้เรียน โดยเฉพาะความพร้อมด้านทักษะและเทคโนโลยี รวมถึงบทบาทของผู้สอนในการออกแบบการใช้เทคโนโลยีให้เหมาะสม

2. ผลการประเมินความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 พบว่า โดยรวมอยู่ในระดับดีมาก (M = 31.90 จากคะแนนเต็ม 36 คะแนน, S.D. = 1.45) โดยผู้เรียนมีคะแนนเฉลี่ยอยู่ในระดับดีมากทุกองค์ประกอบ ได้แก่ ความคิดริเริ่ม ความคล่องแคล่ว ความยืดหยุ่น และความละเอียดลออ สะท้อนว่ารูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นสามารถส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ของผู้เรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้อาจเป็นผลจากการจัดกิจกรรมที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนวิเคราะห์ปัญหา ออกแบบแนวทางแก้ไข และสร้างผลงานด้วยตนเองผ่านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมร่วมกับการใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์เป็นเครื่องมือสนับสนุนการเรียนรู้ ซึ่งช่วยส่งเสริมการคิดที่หลากหลายและการพัฒนาแนวคิดอย่างต่อเนื่อง รวมทั้งการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นและการสะท้อนผลการเรียนรู้ร่วมกัน สอดคล้องกับแนวคิดของ Guilford (1967) ที่อธิบายว่าความคิดสร้างสรรค์เกี่ยวข้องกับความสามารถในการคิดแบบหลากหลาย (Divergent Thinking) และ Torrance (1974) ที่ระบุว่า การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนแก้ปัญหาในสถานการณ์ปลายเปิดและมีอิสระทางความคิด จะช่วยพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Chandrasekera et al. (2025) ที่อธิบายว่าการใช้ปัญญาประดิษฐ์ในกระบวนการออกแบบช่วยเพิ่มคุณภาพของผลงานสร้างสรรค์และสนับสนุนการพัฒนาแนวคิดที่หลากหลายของผู้เรียน

3. ผลการประเมินความสามารถในการแก้ปัญหาของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 พบว่า นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยโดยรวมอยู่ในระดับดีมาก (M = 21.60 จากคะแนนเต็ม 24, S.D. = 1.90) และสามารถดำเนินกระบวนการแก้ปัญหาได้ครบทั้ง 6 ขั้นตอน สะท้อนว่ารูปแบบ SUTLUM Model ที่บูรณาการกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมร่วมกับเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์สามารถพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาของผู้เรียนได้อย่างเป็นระบบ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการจัดการเรียนรู้ที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนเผชิญสถานการณ์ปัญหาจริง วิเคราะห์ข้อมูล วางแผน ตัดสินใจ และปรับปรุงแนวทางแก้ปัญหาอย่างต่อเนื่อง โดยมีเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์เป็นเครื่องมือสนับสนุนการสืบค้นและพัฒนาแนวคิด ประกอบกับการเรียนรู้แบบร่วมมือที่ส่งเสริมการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นและการสะท้อนผลการเรียนรู้ สอดคล้องกับแนวคิดการแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบของ Polya (1957) และแนวคิดการเรียนรู้ผ่านสถานการณ์ปัญหาของ Jonassen (2011) ที่เน้นว่าการเรียนรู้จากปัญหาจริงร่วมกับการลงมือปฏิบัติช่วยพัฒนาการคิดวิเคราะห์และการแก้ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Wonsiri et al., 2022) ที่อธิบายว่าการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมร่วมกับการเรียนรู้แบบใช้ปัญหาเป็นฐานสามารถส่งเสริมความสามารถในการแก้ปัญหาของผู้เรียนได้อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากผู้เรียนได้ฝึกกระบวนการแก้ปัญหาอย่างเป็นลำดับขั้นตอน

4. ผลการเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน พบว่า คะแนนเฉลี่ยหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ($t = 6.65$, $p < .001$) สะท้อนว่ารูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นสามารถยกระดับความรู้ความเข้าใจของผู้เรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากการจัดกิจกรรมที่มีลำดับขั้นชัดเจน เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้เผชิญสถานการณ์ปัญหาที่เชื่อมโยงกับชีวิตจริง และมีส่วนร่วมในการคิด วิเคราะห์ และลงมือปฏิบัติอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจเนื้อหาในเชิงลึกมากขึ้น ไม่ใช่เพียงการจำเนื้อหา แต่สามารถอธิบายเหตุผลและเชื่อมโยงความรู้ไปใช้ได้ นอกจากนี้ การใช้สื่อการเรียนรู้และเทคโนโลยีดิจิทัลที่หลากหลาย รวมถึงการใช้ปัญญาประดิษฐ์เป็นเครื่องมือช่วยค้นคว้าและตรวจสอบข้อมูล ช่วยให้ผู้เรียนเข้าถึงสารสนเทศได้รวดเร็วและหลากหลายมุมมอง ส่งเสริมการเรียนรู้แบบสืบค้นและวิเคราะห์ด้วยตนเอง อีกทั้งการจัดกิจกรรมแบบร่วมมือและการนำเสนอผลงานยังช่วยให้ผู้เรียนได้แลกเปลี่ยนความคิดเห็นและตรวจสอบความเข้าใจของตนเองอย่างต่อเนื่อง ผลดังกล่าวสอดคล้องกับแนวคิดของ Dewey (1938) ที่อธิบายว่าการเรียนรู้เกิดจากการลงมือทำควบคู่กับการคิดไตร่ตรองจากประสบการณ์ซึ่งช่วยให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจและสามารถนำไปใช้ได้จริง

5. ผลการประเมินความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 พบว่าอยู่ในระดับมากที่สุด (M = 4.68, S.D. = 0.46) สะท้อนว่ารูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นสามารถตอบสนองต่อความต้องการและลักษณะการเรียนรู้ของผู้เรียนได้อย่างเหมาะสม โดยส่งเสริมการมีส่วนร่วม การลงมือปฏิบัติจริง และการใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์เป็นเครื่องมือสนับสนุนการเรียนรู้ ซึ่งช่วยให้ผู้เรียนสืบค้นข้อมูล พัฒนาแนวคิด และแก้ปัญหา ได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งการเรียนรู้แบบร่วมมือยังเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้แลกเปลี่ยนความคิดเห็น ฝึกการสื่อสาร และพัฒนาทักษะการทำงานเป็นทีม ส่งผลให้เกิดความเข้าใจและเจตคติที่ดีต่อการเรียนรู้ สอดคล้องกับแนวคิดของ Vygotsky (1978) ที่อธิบายว่าการเรียนรู้เกิดขึ้นผ่านปฏิสัมพันธ์ทางสังคมและการใช้เครื่องมือทางสติปัญญา แนวคิดของ Johnson & Johnson (1999) ที่ชี้ว่าการ

(Research Article)

เรียนรู้แบบร่วมมือช่วยส่งเสริมผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความรับผิดชอบร่วมกันของผู้เรียน และแนวคิดของ Dewey (1938) ที่เน้นการเรียนรู้ผ่านประสบการณ์ตรงและการมีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนรู้

9. ข้อเสนอแนะงานวิจัย (Recommendation)

9.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

ก่อนนำรูปแบบการจัดการเรียนรู้ไปใช้ ผู้สอนควรศึกษาหลักการและขั้นตอนของรูปแบบการจัดการเรียนรู้ รวมทั้งเตรียมแผนการจัดการเรียนรู้ สื่อ อุปกรณ์ และทรัพยากรดิจิทัลที่จำเป็น ตลอดจนมีความรู้และทักษะในการใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) เพื่อทำหน้าที่เป็นผู้อำนวยความสะดวก (Facilitator) ในการจัดการเรียนรู้ โดยสามารถให้คำแนะนำ กระตุ้นการคิด และกำกับการใช้ AI ของผู้เรียนได้อย่างเหมาะสม ในส่วนของผู้เรียน ควรเตรียมความพร้อมด้านทักษะพื้นฐานที่จำเป็น เช่น การสืบค้นและคัดกรองข้อมูล การอ่านและตีความข้อมูล การคิดวิเคราะห์ การสื่อสาร และการทำงานร่วมกัน เพื่อให้สามารถมีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนรู้และดำเนินงานตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ สถานศึกษาควรเตรียมทรัพยากรและสภาพแวดล้อมที่เอื้อต่อการจัดการเรียนรู้ ได้แก่ อุปกรณ์ดิจิทัล การเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต โปรแกรมหรือเครื่องมือปัญญาประดิษฐ์ที่เหมาะสม และกำหนดแนวทางการใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI Guideline) อย่างชัดเจน โดยกำหนดบทบาทของ AI ในฐานะเครื่องมือสนับสนุนการเรียนรู้ เช่น การสืบค้นข้อมูล การจัดระบบความคิด และการกระตุ้นแนวคิดเบื้องต้น เพื่อให้ผู้เรียนใช้เทคโนโลยีได้อย่างเหมาะสม มีจริยธรรม และเกิดการพัฒนาทักษะการคิดควบคู่กับการเรียนรู้อย่างเต็มศักยภาพ

9.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

ควรศึกษาการนำรูปแบบการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมร่วมกับเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ไปประยุกต์ใช้ในบริบทที่หลากหลาย ทั้งในสถานศึกษาและรายวิชาอื่น เพื่อศึกษาความเหมาะสมและประสิทธิผลของรูปแบบในบริบทที่แตกต่างกัน รวมทั้งศึกษาผลระยะยาวและประเด็นด้านจริยธรรมในการใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ เช่น การอ้างอิงข้อมูล การใช้ข้อมูลอย่างรับผิดชอบ และผลต่อการพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ การคิดเชิงวิพากษ์ และความสามารถในการแก้ปัญหา เพื่อยืนยันประสิทธิผลของรูปแบบการจัดการเรียนรู้ได้อย่างครอบคลุมยิ่งขึ้น

10. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

บทความวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาและผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อการวิจัย

11. การเปิดเผยการใช้ปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ (Declaration of Generative AI)

งานวิจัยนี้ใช้ ChatGPT เพื่อช่วยปรับปรุงภาษาและตรวจสอบไวยากรณ์ของต้นฉบับบทความ ทั้งนี้ คณะผู้วิจัยเป็นผู้ดำเนินการวิจัย วิเคราะห์ข้อมูล แปลผล และรับผิดชอบต่อเนื้อหาทั้งหมดของบทความ

12. การแสดงบทบาทผู้เขียน (CRediT Author Statement)

Atthaphol Klomrak: Conceptualization, Methodology, Software, Investigation, Formal Analysis, Data Curation, Writing – Original Draft, and Writing – Review & Editing.

Siwanit Autthawuttikul: Validation, Supervision, Writing – Review & Editing.

All authors read and approved the final manuscript.

13. เอกสารอ้างอิง (References)

Amabile, T. M. (1996). *Creativity in Context*. Westview Press. https://archive.org/details/creativityincont0000amab/page/n9/mode/2up

Arends, R. I. (2012). *Learning to Teach* (9th ed.). McGraw-Hill.

Autthawuttikul, S., Laisema, S., & Rodkroh, P. (2024). Enhancing Critical Learning through an Adaptive Web Application: A Case Study of Lower Secondary School Students Studying Artificial Intelligence Technology. *Humanities, Arts and Social Sciences Studies, 24*(1), 55–67. https://doi.org/10.69598/hasss.24.1.263101

Battelle for Kids. (2019). *Framework for 21st Century Learning Definitions*. https://static.battelleforkids.org/documents/p21/P21_Framework_DefinitionsBFK.pdf

Bostrom, N. (2014). *Superintelligence: Paths, Dangers, Strategies*. Oxford University Press.

Chandrasekera, T., Hosseini, Z., & Perera, U. (2025). Can Artificial Intelligence Support Creativity in Early Design Processes? *International Journal of Architectural Computing, 23*(1), 122–136. https://doi.org/10.1177/14780771241254637

Cross, N. (2008). *Engineering Design Methods: Strategies for Product Design* (4th ed.). John Wiley & Sons.

Dewey, J. (1938). *Experience and Education.* Macmillan.

Dym, C. L., Agogino, A. M., Eris, O., Frey, D. D., & Leifer, L. J. (2005). Engineering Design Thinking, Teaching, and Learning. *Journal of Engineering Education, 94*(1), 103–120. https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2005.tb00832.x

Guilford, J. P. (1950). Creativity. *American Psychologist, 5*(9), 444–454. https://doi.org/10.1037/h0063487

Guilford, J. P. (1967). Creativity: Yesterday, Today and Tomorrow. *The Journal of Creative Behavior, 1*(1), 3–14. https://doi.org/10.1002/j.2162-6057.1967.tb00002.x

Holmes, W., Bialik, M., & Fadel, C. (2019). *Artificial Intelligence in Education Promises and Implications for Teaching and Learning*. Center for Curriculum Redesign.

Johnson, D. W., & Johnson, R. T. (1999). *Learning Together and Alone: Cooperative, Competitive, and Individualistic Learning* (5th ed.). Allyn and Bacon.

Jonassen, D. H. (2011). *Learning to Solve Problems: A Handbook for Designing Problem-Solving Learning Environments*. Routledge.

Joyce, B., Weil, M., & Calhoun, E. (2004). *Models of Teaching* (9th ed.). Pearson Education.

Karimi, S. (2022). *Using the Engineering Design Process to Enhance Creativity and Problem-Solving Skills: Part 1*. https://www.scimath.org/article-science/item/12485-1-2 (In Thai)

Khammani, T. (2010). *Teaching Science: Knowledge for Effective Learning Management*. Chulalongkorn University Press. (In Thai)

Kiatsarutsakuln, N., Wiwanthamongkon, K., Aphinatkhunakorn, P., & Kitroongrueng, P. (2025). Guidelines for Learning Management Based on STEM Education in the BANI World Era for Elementary School Students. *Panya, 32*(1), 167–180. (In Thai)

Ministry of Higher Education, Science, Research and Innovation, & Ministry of Digital Economy and Society. (2022). *National Artificial Intelligence Action Plan for the Development of Thailand (2022–2027).* https://pub.nstda.or.th/gov-dx/wp-content/uploads/2022/12/20220726-AI.pdf (In Thai)

Mishra, P., & Koehler, M. J. (2006). Technological Pedagogical Content Knowledge: A Framework for Teacher Knowledge. *Teachers College Record: The Voice of Scholarship in Education, 108*(6), 1017–1054. https://doi.org/10.1111/j.1467-9620.2006.00684.x

Piaget, J., & Inhelder, B. (1972). *The Psychology of the Child*. Basic Books.

Polya, G. (1957). *How to Solve It: A New Aspect of Mathematical Method* (2nd ed.). Princeton University Press.

Russell, S., & Norvig, P. (2010). *Artificial Intelligence: A Modern Approach* (3rd ed.). Prentice Hall.

Saritepeci, M., & Durak, H. Y. (2024). Effectiveness of Artificial Intelligence Integration in Design-Based Learning on Design Thinking Mindset, Creative and Reflective Thinking Skills: An Experimental Study. *Education and Information Technologies*, *29*(18), 25175–25209. https://doi.org/10.1007/s10639-024-12829-2

Saylor, J. G., Alexander, W. M., & Lewis, A. J. (1981). *Curriculum Planning for Better Teaching and Learning*. Holt, Rinehart and Winston.

Sheppard, S. D., Macatangay, K., Colby, A., & Sullivan, W. M. (2008). *Educating Engineers: Designing for the Future of the Field.* Jossey-Bass.

Siripangpa, T., & Ketprom, C. (2025). General Administration in the BANI World Era of the Schools under Saraburi Primary Educational Service Area Office 2. *Phimoldhamma Research Institute Journal, 12*(2), 193–206. (In Thai)

The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology. (n.d.). *STEM Education and Engineering Design*. https://designtechnology.ipst.ac.th/?page_id=1082

Torrance, E. P. (1966). *Torrance Tests of Creative Thinking: Norms-Technical Manual.* Personnel Press.

Torrance, E. P. (1974). *Torrance Tests of Creative Thinking: Directions Manual and Scoring Guide*. Ginn and Company.

Trilling, B., & Fadel, C. (2009). *21st Century Skills: Learning for Life in Our Times.* Jossey-Bass.

Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes*. Harvard University Press.

Wongyai, V., & Patphol, M. (2019). *Creative and Productive Learning*. Curriculum and Learning Innovation Leadership Center. (In Thai)

Wonsiri, N., Pantapalangkoor, B., & Ketsing, J. (2022). Developing Ninth Graders' Complex Problem-Solving Competency via Engineering Design Problem-Based Learning. *Journal of Education Naresuan University, 24*(3), 147–157. (In Thai)

May-August 2026, 4(2), e4212
DOI: 10.65205/jcct.2026.e4212
Journal of Computer and Creative Technology
วารสารคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสร้างสรรค์
ISSN 2985-1580 (Print)
ISSN 2985-1599 (Online)

(Research Article)

Development of an Integrated Data Decision Support System for Area-Based Targeting and Assistance Tracking of Poor Households: A Case Study of Nakhon Ratchasima Province

Chutrapee Popitikul[1,*]

[1]Computer Education Program, Faculty of Science and Technology, Nakhon Ratchasima Rajabhat University, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand; Email: [1]chutrapee.p@nrru.ac.th

[*]*Corresponding author:* Chutrapee Popitikul (chutrapee.p@nrru.ac.th)

Received: 19 June 2026; **Revised:** 6 August 2026; **Accepted:** 8 August 2026; **Published:** 29 August 2026

Abstract

This study set out to (1) build an integrated-data Decision Support System that targets, screens, and tracks assistance for poor households; (2) examine what happened once it was deployed area-wide; and (3) gauge user satisfaction alongside the system quality and suitability judged by experts. Development followed a system-development approach within Participatory Action Research and the System Development Life Cycle. The system linked three databases, TPMAP, ThaiQM, and PPP-Connext, through an API tied to the Government Data Catalog and the provincial City Data Platform, then added a standardized two-track verification mechanism and a three-level monitoring and feedback process (tambon, district, province). Two instruments were used: a five-point satisfaction questionnaire for 56 trained officer-users, and an expert-assessment form for five information-technology experts. Five experts confirmed content validity (IOC 0.80–1.00), and internal-consistency reliability was Cronbach's α = 0.89 and 0.93. Once deployed across 657 agencies covering 21,521 households, the redesigned process replaced scattered offline records with a single real-time platform. Assistance reached 4,613 households, and every identified hardest-hit ("Living-with-Difficulty") household was referred into state welfare. Users rated overall satisfaction high ($\bar{x}$ = 4.34); experts rated overall quality and suitability high ($\bar{x}$ = 4.44), though processing speed scored lowest ($\bar{x}$ = 4.00). Two caveats matter. The study did not measure changes in household income or poverty status, and the α values describe the instruments, not how the system performs. Even so, the evidence suggests that pulling fragmented poverty data into one DSS can sharpen targeting, shorten the time needed to reach information, and make assistance more transparent, giving other provinces a model they can adapt where data readiness is comparable.

Keywords: Decision Support System, Integrated Database, Poverty Targeting, TPMAP, Evidence-Based Decision Making

Copyright © 2026 Journal of Computer and Creative Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC-ND).

Citation:
Popitikul, C. (2026). Development of an Integrated Data Decision Support System for Area-Based Targeting and Assistance Tracking of Poor Households: A Case Study of Nakhon Ratchasima Province. *Journal of Computer and Creative Technology, 4*(2), e4212. https://doi.org/10.65205/jcct.2026.e4212

ISSN 2985-1580 (Print)
ISSN 2985-1599 (Online)

(Research Article)

การพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจบนฐานข้อมูลบูรณาการเพื่อการชี้เป้าและติดตามการช่วยเหลือครัวเรือนยากจนเชิงพื้นที่: กรณีศึกษาจังหวัดนครราชสีมา

ฉัฐระพี โพธิ์ปิติกุล[1,*]

[1]สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา 30000 ประเทศไทย; Email: [1]chutrapee.p@nrru.ac.th

[*]*ผู้ประพันธ์บรรณกิจ:* ฉัฐระพี โพธิ์ปิติกุล (chutrapee.p@nrru.ac.th)

รับบทความ: 19 มิถุนายน 2569; **แก้ไขบทความ:** 6 สิงหาคม 2569; **ตอบรับบทความ:** 8 สิงหาคม 2569;
เผยแพร่บทความ: 29 สิงหาคม 2569

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) พัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจบนฐานข้อมูลบูรณาการ สำหรับชี้เป้า คัดกรอง และติดตามการช่วยเหลือครัวเรือนยากจน (2) ศึกษาผลการนำระบบไปใช้เชิงพื้นที่ และ (3) ประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ควบคู่กับคุณภาพและความเหมาะสมของระบบตามการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ ดำเนินการด้วยแนวการพัฒนาระบบภายใต้การวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วมและวงจรการพัฒนาระบบ โดยบูรณาการฐานข้อมูล TPMAP ThaiQM และ PPP-Connext ผ่าน API ที่เชื่อมกับ Government Data Catalog และ City Data Platform ของจังหวัด พร้อมกลไกสอบทานคุณภาพข้อมูลแบบมาตรฐานสองกระบวนการ และกระบวนการติดตามและป้อนกลับข้อมูลสามระดับ (ตำบล-อำเภอ-จังหวัด) เครื่องมือประเมิน คือ แบบสอบถามความพึงพอใจมาตรประมาณค่า 5 ระดับสำหรับเจ้าหน้าที่ผู้ใช้ที่ผ่านการอบรม 56 คน และแบบประเมินสำหรับผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ 5 คน ได้ค่า IOC คือ 0.80-1.00 และมีความเชื่อมั่น คือ สัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค 0.89 และ 0.93 ตามลำดับ ภายหลังการใช้งานใน 657 หน่วยงาน ครอบคลุม 21,521 ครัวเรือน กระบวนการข้อมูลที่ออกแบบใหม่เปลี่ยนจากการจัดเก็บแบบออฟไลน์และแยกส่วนเป็นแพลตฟอร์มบูรณาการแบบเรียลไทม์ มีการส่งต่อความช่วยเหลือถึง 4,613 ครัวเรือน และครัวเรือนกลุ่มอยู่ลำบากที่ถูกชี้เป้าได้รับการส่งต่อเข้าสู่สวัสดิการรัฐครบทุกครัวเรือน ผู้ใช้ประเมินความพึงพอใจภาพรวมระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.34) และผู้เชี่ยวชาญประเมินคุณภาพและความเหมาะสมของระบบระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.44) โดยด้านความเร็วในการประมวลผลได้คะแนนต่ำสุด ($\bar{x}$ = 4.00) ทั้งนี้งานวิจัยยังไม่ได้วัดการเปลี่ยนแปลงรายได้หรือสถานะความยากจนของครัวเรือน และค่าความเชื่อมั่นข้างต้นเป็นค่าความเชื่อมั่นของเครื่องมือวัด มิใช่ประสิทธิภาพการทำงานของระบบ ผลการวิจัยชี้ว่าการรวมข้อมูลคนจนที่กระจัดกระจายเข้าสู่ DSS เดียวช่วยเสริมการชี้เป้า เร่งการเข้าถึงข้อมูล และเพิ่มความโปร่งใสของการช่วยเหลือ เป็นต้นแบบที่จังหวัดอื่นปรับใช้ได้ภายใต้เงื่อนไขความพร้อมของข้อมูลที่ใกล้เคียงกัน

คำสำคัญ: ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ, ฐานข้อมูลบูรณาการ, การชี้เป้าความยากจน, TPMAP, การตัดสินใจบนฐานข้อมูลเชิงประจักษ์

Copyright © 2026 Journal of Computer and Creative Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC-ND).

การอ้างอิง:
ฉัฐระพี โพธิ์ปิติกุล. (2569). การพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจบนฐานข้อมูลบูรณาการเพื่อการชี้เป้าและติดตามการช่วยเหลือครัวเรือนยากจนเชิงพื้นที่: กรณีศึกษาจังหวัดนครราชสีมา. *วารสารคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสร้างสรรค์, 4*(2), e4212. https://doi.org/10.65205/jcct.2026.e4212

(Research Article)

1. บทนำ (Introduction)

ความยากจนในจังหวัดนครราชสีมายังเป็นปัญหาขนาดใหญ่ จากการสำรวจและสอบทานข้อมูลของโครงการ โดยอ้างอิงฐานข้อมูล Thai People Map and Analytics Platform (TPMAP) ปี 2565 (Thai People Map and Analytics Platform, 2022) ร่วมกับการลงพื้นที่ พบครัวเรือนยากจน 21,521 ครัวเรือน รวม 81,561 คน กระจายใน 32 อำเภอ ในจำนวนนี้ส่วนใหญ่ขาดทักษะอาชีพ (ร้อยละ 87) ไม่มีที่ดินทำกินเป็นของตนเอง (ร้อยละ 53) และมีภาวะหนี้สินสูง (ร้อยละ 43) (Program Management Unit for Area-Based Development [PMU A], & Nakhon Ratchasima Rajabhat University, 2025) ปัญหาเหล่านี้ซับซ้อนและเชื่อมโยงกับภัยพิบัติที่เกิดซ้ำในพื้นที่

ทว่าอุปสรรคที่แท้จริงของการแก้ปัญหาไม่ได้อยู่ที่การขาดงบประมาณเพียงอย่างเดียว แต่อยู่ที่ระบบข้อมูล ก่อนหน้านี้ข้อมูลคนจนกระจัดกระจายตามหน่วยงาน จัดเก็บแบบออฟไลน์ ไม่เป็นปัจจุบัน และขาดการประกันคุณภาพที่เป็นมาตรฐาน ผลคือเกิดความคลาดเคลื่อนสองทาง: บางครัวเรือนถูกนับรวมทั้งที่ไม่จน (Inclusion Error) ขณะที่ครัวเรือนจนจริงกลับตกหล่น (Exclusion Error) การช่วยเหลือจึงล่าช้า ซ้ำซ้อน และพลาดเป้า เมื่อข้อมูลไม่นิ่ง ผู้บริหารก็ตัดสินใจจากประสบการณ์มากกว่าหลักฐาน

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมาในฐานะมหาวิทยาลัยเชิงพื้นที่ (Area-Based University) จึงเข้ามาเป็นหน่วยจัดการส่วนกลางในการพัฒนาระบบข้อมูล บทความนี้รายงานการพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (Decision Support System: DSS) บนฐานข้อมูลบูรณาการ ที่รวมข้อมูลจากหลายแหล่งเข้าเป็นแพลตฟอร์มข้อมูลบูรณาการระดับจังหวัดเพียงระบบเดียว เพื่อชี้เป้า คัดกรอง ติดตามการช่วยเหลือครัวเรือนยากจน และสนับสนุนการตัดสินใจเชิงนโยบาย ทั้งนี้ความต้องการของผู้ใช้ที่เป็นฐานของการออกแบบระบบ ได้จากการวิเคราะห์ความต้องการในงานก่อนหน้า (Popitikul & Chimplee, 2026) ซึ่งรายงานผลไว้แยกต่างหาก บทความนี้จึงมุ่งเฉพาะการพัฒนาและนำระบบไปใช้ และไม่ทวนผลการวิเคราะห์ความต้องการซ้ำ

2. วัตถุประสงค์งานวิจัย (Research Objectives)

1) เพื่อพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจบนฐานข้อมูลบูรณาการ สำหรับชี้เป้า คัดกรอง และติดตามการช่วยเหลือครัวเรือนยากจนในจังหวัดนครราชสีมา

2) เพื่อศึกษาผลการนำระบบไปใช้ในเชิงพื้นที่ ทั้งการครอบคลุมการใช้งาน การส่งต่อความช่วยเหลือ และการสนับสนุนการตัดสินใจเชิงนโยบาย

3) เพื่อประเมิน (ก) ความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีต่อการใช้งานและการรับรู้ประโยชน์ของระบบ และ (ข) คุณภาพและความเหมาะสมของระบบด้านสถาปัตยกรรม ความปลอดภัย การบูรณาการข้อมูล และความเหมาะสมของเทคโนโลยี ตามการประเมินของผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ

3. การทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)

3.1 ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (Decision Support System)

ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (DSS) ต่างจากระบบสารสนเทศทั่วไป ตรงที่ไม่ได้เพียงจัดเก็บและรายงานข้อมูล แต่วิเคราะห์ข้อมูลผ่านแบบจำลองและสังเคราะห์จากฐานข้อมูลเพื่อเสนอทางเลือกในการตัดสินใจ โดยเน้นการโต้ตอบกับผู้ใช้ (Scott Morton, 1971; Sprague, 1980; Power, 2002; Iamsiriwong, 2011) ระบุว่า DSS ที่ดีประกอบด้วยสี่ส่วน คือ แบบจำลองวิเคราะห์ ฐานข้อมูลเฉพาะกิจ ความสามารถของผู้ตัดสินใจในการตีความปัญหา และความสามารถของระบบในการโต้ตอบกับผู้ใช้ ส่วน Kiattikomol & Kecharananta (2008) เน้นว่า DSS ช่วยประมวลผลข้อมูลที่จำเป็นและประเมินทางเลือกอย่างรอบด้าน ในยุคข้อมูลขนาดใหญ่ DSS ได้ผสานเข้ากับระบบธุรกิจอัจฉริยะและการวิเคราะห์ข้อมูล (Business Intelligence and Analytics) ที่ใช้ข้อมูลเชิงประจักษ์สนับสนุนการตัดสินใจของผู้บริหาร (Sharda et al., 2014)

DSS รองรับการตัดสินใจสามระดับตามชั้นการจัดการ คือ ระดับสูง (กำหนดนโยบาย/ยุทธศาสตร์) ระดับกลาง (วางแผนยุทธวิธี) และระดับต้น (ควบคุมการปฏิบัติประจำวัน) และเหมาะกับปัญหาแบบกึ่งโครงสร้างถึงไม่มีโครงสร้าง (Arnott & Pervan, 2008) จำแนก DSS ออกเป็นกลุ่ม Personal, Group/Negotiation และ Data Warehousing ขณะที่ Shim et al. (2002) อธิบายว่ากระบวนการ DSS เป็นวงวนซ้ำ (Iterative) ที่เรียนรู้และปรับปรุงจากผลย้อนกลับ ในบริบท

ภาครัฐ DSS สำคัญต่อการขับเคลื่อนนโยบายแบบพุ่งเป้า (Targeted Policy) ที่ใช้ข้อมูลรายครัวเรือนเชื่อมกับการจัดสรรทรัพยากรอย่างเป็นธรรม ทั้งนี้พระราชบัญญัติการบริหารงานและการให้บริการภาครัฐผ่านระบบดิจิทัล พ.ศ. 2562 (Digitalization of Public Administration and Services Act B.E. 2562, 2019) กำหนดให้หน่วยงานของรัฐจัดทำข้อมูลในรูปแบบดิจิทัล และเชื่อมโยงแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างกัน ซึ่งเป็นฐานทางกฎหมายของการบูรณาการข้อมูลในงานวิจัยนี้

3.2 ฐานข้อมูลคนจนบูรณาการและการชี้เป้า

การชี้เป้าผู้ยากจน (Targeting) มีความเสี่ยงสองด้านเสมอ คือ การรวมผู้ไม่จนเข้ามา และการตกหล่นผู้จนจริง คุณภาพและความครอบคลุมของฐานข้อมูลเป็นตัวกำหนดความแม่นยำนี้โดยตรง (Coady et al., 2004) ประเทศไทยพัฒนาระบบ Thai People Map and Analytics Platform (TPMAP) เป็นฐานข้อมูลชี้เป้า

ความยากจนระดับประเทศ ที่ยืนยันตัวตนผู้จนด้วยการสอบทานข้อมูลภาคสนาม (Thai People Map and Analytics Platform, 2022) อย่างไรก็ดี ข้อมูลที่ดีจะมีค่าก็ต่อเมื่อหน่วยงานเข้าถึงร่วมกันได้ การเปิดและบูรณาการข้อมูลภาครัฐจึงเป็นเงื่อนไขสำคัญที่ลดการทำงานซ้ำซ้อนและเพิ่มความโปร่งใส (Janssen et al., 2012) ในมุมรัฐบาลอิเล็กทรอนิกส์ (e-Government) การเชื่อมต่อข้ามระบบ (Interoperability) เป็นเงื่อนไขความสำเร็จที่ท้าทายที่สุดของการบูรณาการข้อมูลภาครัฐ (Scholl & Klischewski, 2007) และการพัฒนามักไล่ระดับจากการให้ข้อมูลสู่การบูรณาการเต็มรูป (Layne & Lee, 2001) งานวิจัยนี้ต่อยอดด้วยการนำ TPMAP มาบูรณาการกับฐานข้อมูลอื่นและห่อหุ้มด้วย DSS เพื่อให้ข้อมูลแปลงเป็นการตัดสินใจได้จริง

3.3 ความสำเร็จและการประเมินระบบสารสนเทศ

การประเมินความสำเร็จของระบบสารสนเทศนิยมใช้แบบจำลองของ DeLone & McLean (2003) ที่มองคุณภาพระบบ คุณภาพข้อมูล และคุณภาพบริการเป็นตัวกำหนดความพึงพอใจและการใช้ประโยชน์ ส่วนการยอมรับของผู้ใช้อธิบายด้วยแบบจำลอง TAM (Davis, 1989) ที่ชี้ว่าการรับรู้ประโยชน์และความง่าย

ในการใช้งานกำหนดการยอมรับ ขณะที่ Nielsen (1993) วางหลักการด้านการใช้งาน (Usability) งานวิจัยนี้จึงประเมินระบบทั้งด้านความพึงพอใจของผู้ใช้จริงและประสิทธิภาพเชิงเทคนิคโดยผู้เชี่ยวชาญ

3.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องและช่องว่างการวิจัย

งานวิจัยในระยะหลังชี้ว่าการชี้เป้าความยากจนเชิงพื้นที่ให้แม่นยำต้องอาศัยการหลอมรวมข้อมูลหลายแหล่งอย่างเป็นระบบ เช่น การสร้างดัชนีความยากจนเชิงพื้นที่จากข้อมูลภูมิสารสนเทศและข้อมูลขนาดใหญ่ Putri et al. (2022) และการใช้โครงสร้างพื้นฐานสนับสนุนการตัดสินใจแบบออนไลน์เพื่อบูรณาการนโยบายเชิงพื้นที่ (Ran & Nedovic-Budic, 2024) ขณะที่ปัจจัยความสำเร็จสำคัญของข้อมูลภาครัฐยังอยู่ที่ระดับวุฒิภาวะของการทำงานร่วมกันของข้อมูลข้ามหน่วยงาน (Data Interoperability) ซึ่งหลายประเทศยังทำได้ไม่เต็มที่ (Wahyuni et al., 2024) เมื่อเทียบกับงานเหล่านี้ ระบบที่พัฒนาในบทความนี้มีความแตกต่างและความใหม่สามประการ คือ (1) การบูรณาการฐานข้อมูลคนจนหลายฐานของไทย (TPMAP, ThaiQM, PPP-Connext) ผ่าน API เข้าเป็นแพลตฟอร์มเดียว (2) กลไกสอบทานคุณภาพข้อมูลที่ผสานกระบวนการทางสังคมของชุมชนกับการตรวจสอบอัตโนมัติ และ (3) ชั้นสนับสนุนการตัดสินใจที่จัดลำดับความช่วยเหลือและติดตามผลแบบสามระดับตามชั้นการบริหาร ซึ่งเป็นส่วนที่ระบบข้อมูลคนจนเดิมของไทยยังขาด

4. กรอบแนวคิดงานวิจัย (Conceptual Framework)

กรอบแนวคิดของงานวิจัยนี้อธิบายระบบตามความสัมพันธ์แบบปัจจัยนำเข้า-กระบวนการ-ผลผลิต-ผลลัพธ์ (Input-Process-Output-Outcome) โดยปัจจัยนำเข้า คือ ข้อมูลครัวเรือนยากจนจากหลายแหล่ง (TPMAP, ThaiQM, PPP-Connext และข้อมูลครัวเรือนเปราะบางของหน่วยงาน) กระบวนการ คือ การบูรณาการข้อมูลผ่าน API การสอบทานคุณภาพข้อมูลสองกระบวนการ และการวิเคราะห์เพื่อจัดลำดับความช่วยเหลือด้วยชั้น DSS ผลผลิต คือ แดชบอร์ดวิเคราะห์แบบเรียลไทม์ การแสดงผลเชิงภูมิสารสนเทศ การจัดลำดับความเร่งด่วนของครัวเรือน และระบบติดตามการส่งต่อ ส่วนผลลัพธ์ คือ ความแม่นยำในการชี้เป้า ความรวดเร็วในการเข้าถึงข้อมูล การติดตามการช่วยเหลือ และความพึงพอใจของผู้ใช้ ซึ่งเชื่อมโยงกับวัตถุประสงค์และตัวชี้วัดการประเมินโดยตรง ทั้งนี้มีกระบวนการติดตามและป้อนกลับข้อมูลสามระดับ (ตำบล-อำเภอ-จังหวัด) ที่ส่งผลการติดตามย้อนกลับไปปรับปรุงคุณภาพข้อมูลนำเข้าอย่างต่อเนื่อง ดัง Figure 1. ซึ่งเป็น

กรอบแนวคิดเชิงตรรกะของงานวิจัยที่เชื่อมกับวัตถุประสงค์และตัวชี้วัด แตกต่างจาก Figure 2. (หัวข้อ 5.2) ซึ่งแสดงสายการไหลของข้อมูลและกลไกการตัดสินใจของระบบในเชิงปฏิบัติ

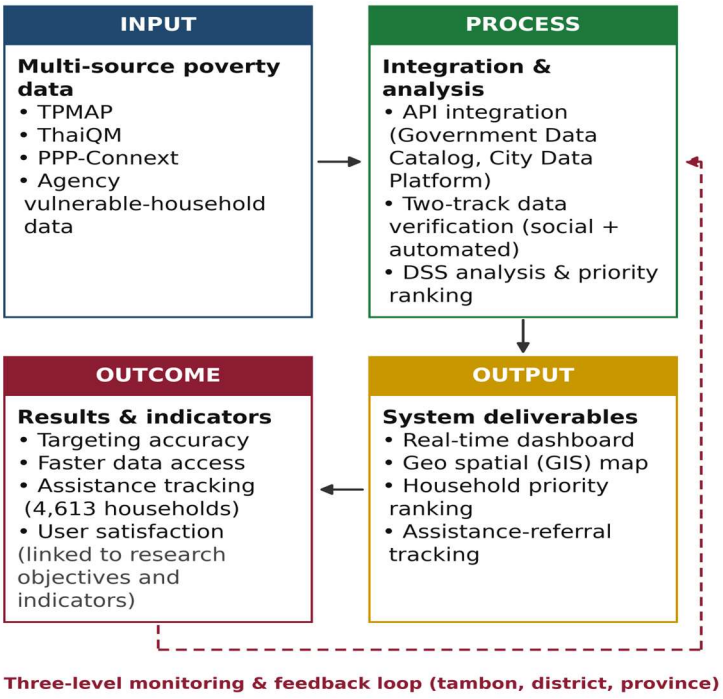


Figure 1. Conceptual Framework (Input-Process-Output-Outcome) of the Integrated-data DSS for Area-Based Poverty Targeting and Assistance Tracking

5. วิธีดำเนินงานวิจัย (Research Methodology)

5.1 รูปแบบการวิจัยและพื้นที่

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงพัฒนาระบบ (System Development Research) ที่ดำเนินภายใต้การวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม (Participatory Action Research) และแนวทางเชิงพื้นที่ (Area-Based Approach) โดยแนวทางทั้งสามทำงานประสานกันในแต่ละขั้นของวงจรการพัฒนาระบบ (SDLC) กล่าวคือ การวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วมใช้ในขั้นเก็บความต้องการและสอบทานข้อมูลร่วมกับภาคีในพื้นที่ แนวทางเชิงพื้นที่ใช้กำหนดขอบเขตหน่วยวิเคราะห์ระดับครัวเรือน-ตำบล-อำเภอ-จังหวัด และการพัฒนาระบบตาม SDLC ใช้ในขั้นวิเคราะห์ ออกแบบ พัฒนา ทดสอบ และส่งมอบ พื้นที่ดำเนินการครอบคลุมจังหวัดนครราชสีมาทั้ง 32 อำเภอ และลงลึกใน 4 อำเภอนำร่อง การพัฒนาทำร่วมกับภาคีเครือข่าย 17 หน่วยงาน ทั้งภาควิชาการ ภาครัฐ ภาคเอกชน และภาคประชาสังคม โดยมหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมาเป็นหน่วยจัดการส่วนกลาง การออกแบบระบบตั้งอยู่บนชุดความต้องการของเจ้าหน้าที่ภาครัฐที่ได้จากการวิเคราะห์ความต้องการแบบผสมผสานในงานก่อนหน้า (Popitikul & Chimplee, 2026) บทความนี้จึงไม่นำเสนอกระบวนการเก็บความต้องการซ้ำ แต่รายงานการแปลงความต้องการเหล่านั้นเป็นระบบที่ใช้งานจริง การวิจัยนี้ดำเนินการภายใต้การรับรองจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา เลขที่ HE-142-2567 (รับรองวันที่ 27 กันยายน 2567) ตามหลักปฏิญญาเฮลซิงกิ (Declaration of Helsinki)

5.2 การพัฒนาระบบและการบูรณาการข้อมูล

การพัฒนายึดวงจรการพัฒนาระบบ (System Development Life Cycle: SDLC) (Sommerville, 2016) ร่วมกับแนวคิดระบบบูรณาการ (Integrated System Approach) เริ่มจากบูรณาการฐานข้อมูลหลายแหล่ง ได้แก่ TPMAP, ThaiQM และฐานข้อมูลครัวเรือนของ PPP-Connext โดยเชื่อมข้อมูลผ่าน Application Programming Interface (API) ที่ต่อกับ Government Data Catalog ของภาครัฐและ City Data Platform ของจังหวัด แล้วรวมศูนย์เป็นแพลตฟอร์ม

(Research Article)

ข้อมูลบูรณาการระดับจังหวัด องค์ประกอบที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วย แดชบอร์ดวิเคราะห์แบบเรียลไทม์ การแสดงผลเชิงภูมิสารสนเทศ (Geomatics) แบบ Thai People Map ระบบ DSS หลายระดับตามชั้นการจัดการ และระบบติดตามแบบ Feedback Loop สามระดับ (ตำบล-อำเภอ-จังหวัด) ทั้งหมดออกแบบให้รองรับอุปกรณ์เคลื่อนที่ (Responsive Design) เพื่อใช้งานภาคสนาม ระบบพัฒนาด้วย Node.js สำหรับชั้นบริการและ REST API และใช้ Python สำหรับการบูรณาการข้อมูลและการวิเคราะห์ (ETL/Analytics) จัดเก็บบนฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ สถาปัตยกรรมแบ่งเป็นสี่ชั้น (Presentation, Application, Integration และ Data) พร้อมการคุ้มครองข้อมูลตาม PDPA โดยลำดับการไหลของข้อมูลตั้งแต่แหล่งข้อมูล การบูรณาการ การสอบทานคุณภาพ ไปจนถึงกลไกการตัดสินใจของระบบ (การให้คะแนนทุนการดำรงชีพ 5 มิติ การจัดกลุ่มครัวเรือน การจัดลำดับความเร่งด่วน และการจับคู่เมนูช่วยเหลือ) แสดงดัง Figure 2. ทั้งนี้ขอบเขตการพัฒนาในบทความนี้มุ่งที่ชั้นฐานข้อมูลครัวเรือนยากจนแบบบูรณาการและชั้นระบบสนับสนุนการตัดสินใจ ส่วน PPP-Connext และ City Data Platform เป็นระบบที่มีอยู่เดิมในระดับจังหวัด/ประเทศ ซึ่งงานนี้เชื่อมต่อเข้ามาผ่าน API กลไกสำคัญที่ทำให้ข้อมูลน่าเชื่อถือคือการสอบทานคุณภาพแบบมาตรฐานผ่านสองกระบวนการคู่กัน: กระบวนการทางสังคม (Social Process) ที่ประสานผู้นำชุมชนและองค์กรชุมชนตำบล 289 แห่งช่วยยืนยันข้อมูลภาคสนาม และกระบวนการทางเทคโนโลยี (Technological Process) ที่ใช้การตรวจสอบคุณภาพข้อมูลอัตโนมัติ การพัฒนาแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนรวม 14 กิจกรรมย่อย คือ วางแผนพัฒนาระบบ Feedback Loop พัฒนาระบบติดตามและ Feedback Loop และสรุปรายงานผลการติดตาม จากนั้นส่งมอบและอบรมถ่ายทอดการใช้งานแก่เจ้าหน้าที่ 56 คนจาก 18 หน่วยงาน

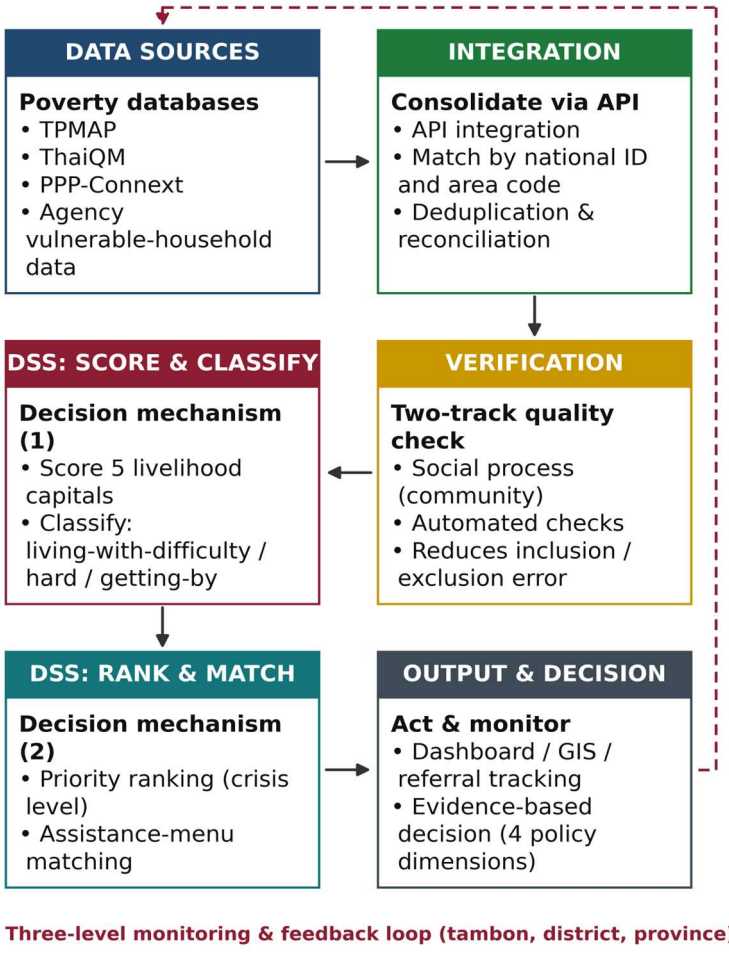


Figure 2. System Flow and Decision-Support Mechanism of the Integrated-Data DSS (Data Sources ⟶ Integration ⟶ Two-Track Verification ⟶ DSS Scoring, Classification, Priority Ranking, and Assistance-Menu Matching ⟶ Output and Decision)

กลไกการสนับสนุนการตัดสินใจของระบบทำงานบนเกณฑ์และการจัดลำดับความสำคัญ มิใช่เพียงการแสดงรายงาน กล่าวคือ ระบบจำแนกครัวเรือนตามระดับความวิกฤติ (Crisis-Level Priority) โดยประเมินทุนการดำรงชีพ 5 มิติ ได้แก่ ทุนมนุษย์ ทุนกายภาพ ทุนเศรษฐกิจ ทุนธรรมชาติ และทุนทางสังคม แล้วจัดกลุ่มครัวเรือนออกเป็นกลุ่มอยู่ลำบาก กลุ่มอยู่ยาก และกลุ่มพออยู่ได้ จากนั้นจับคู่กลุ่มเป้าหมายกับเมนูการช่วยเหลือเฉพาะพื้นที่ (Area-Specific Poverty Alleviation Menu) และเสนอลำดับความเร่งด่วนของการส่งต่อให้ผู้บริหารแต่ละระดับพิจารณา กลไกนี้ทำให้ระบบมีลักษณะเป็น DSS ที่แปลงข้อมูลเป็นทางเลือกการตัดสินใจ ไม่ใช่เพียงแดชบอร์ดรายงานผลในด้านการบูรณาการข้อมูล ระบบเชื่อมข้อมูลจากแต่ละฐานด้วยการจับคู่ครัวเรือนผ่านเลขประจำตัวประชาชนและรหัสพื้นที่ แล้วขจัดข้อมูลซ้ำ (Deduplication) จัดการข้อมูลไม่ครบถ้วนและข้อมูลขัดแย้งด้วยกฎการรวมข้อมูล (Data Reconciliation Rules) ก่อนผ่านการสอบทานสองกระบวนการ ทั้งนี้ความคลาดเคลื่อนของการชี้เป้านิยามเป็นสองประเภท คือ Inclusion Error (การนับรวมครัวเรือนที่ไม่จนจริง) และ Exclusion Error (การตกหล่นครัวเรือนที่จนจริง) การออกแบบกระบวนการสอบทานมุ่งลดสาเหตุเชิงโครงสร้างของความคลาดเคลื่อนทั้งสอง อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ประเมินผลดังกล่าวในเชิงกระบวนการและการรับรู้ของผู้ใช้ มิได้วัดอัตรา Inclusion/Exclusion Error และระยะเวลาเข้าถึงข้อมูลเป็นค่าตัวเลขก่อน-หลังภายใต้การออกแบบเชิงทดลอง ซึ่งเป็นข้อจำกัดที่ระบุไว้ในหัวข้ออภิปรายผล

5.3 การประเมินระบบ

ประเมินระบบสองด้านตามแนวการประเมินความสำเร็จของระบบสารสนเทศ ด้านที่หนึ่ง ความพึงพอใจของเจ้าหน้าที่ผู้ใช้งานจริง 56 คน ซึ่งเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) จากเจ้าหน้าที่ที่ผ่านการอบรมการใช้งานระบบด้วยแบบสอบถามมาตรประมาณค่า 5 ระดับ ครอบคลุม 5 ด้าน คือ ความสะดวกในการใช้งาน การแสดงผล ความถูกต้องครบถ้วนของข้อมูล ประโยชน์ต่อการสนับสนุนการตัดสินใจ และความพึงพอใจภาพรวม ด้านที่สอง คุณภาพและความเหมาะสมของระบบ ประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ 5 คน (System Analyst, Data Engineer, Cybersecurity Specialist, Software Architect และ Database Administrator) ที่คัดเลือกแบบเจาะจงตามความเชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องโดยตรง ครอบคลุม 5 ด้าน คือ สถาปัตยกรรมและการออกแบบ ความปลอดภัยข้อมูลตาม PDPA ความเร็วในการประมวลผล การบูรณาการฐานข้อมูลผ่าน API และความเหมาะสมของเทคโนโลยี ทั้งนี้การประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญเป็นการพิจารณาคุณภาพและความเหมาะสมเชิงการออกแบบ มิใช่การวัดประสิทธิภาพเชิงเทคนิคโดยตรง เช่น เวลาตอบสนองหรือจำนวนผู้ใช้พร้อมกัน แบบสอบถามทั้งสองชุดผ่านการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาโดยผู้เชี่ยวชาญ 5 คน ได้ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ระหว่าง 0.80-1.00 (เฉลี่ย 0.92) ทุกข้อผ่านเกณฑ์ ≥ 0.50 วิเคราะห์ด้วยค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน แปลผลตามเกณฑ์ของ Best (1977) และทดสอบความเชื่อมั่นแบบความสอดคล้องภายในด้วยสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค ได้ค่า 0.89 และ 0.93 ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ 0.70 โดยค่านี้สะท้อนความเชื่อมั่นของแบบประเมิน มิใช่ประสิทธิภาพการทำงานของระบบ

6. ผลการวิจัย (Results)

ผลการวิจัยนำเสนอตามวัตถุประสงค์สามข้อ คือ หัวข้อ 6.1 ตอบวัตถุประสงค์ข้อ 1 (การพัฒนาระบบ) หัวข้อ 6.2 ตอบวัตถุประสงค์ข้อ 2 (ผลการนำระบบไปใช้) และหัวข้อ 6.3 และ 6.4 ตอบวัตถุประสงค์ข้อ 3 (การประเมินระบบ)

6.1 ผลการพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจบนฐานข้อมูลบูรณาการ สำหรับชี้เป้า คัดกรอง และติดตามการช่วยเหลือครัวเรือนยากจนในจังหวัดนครราชสีมา

6.1.1 สถาปัตยกรรมและองค์ประกอบของระบบ DSS

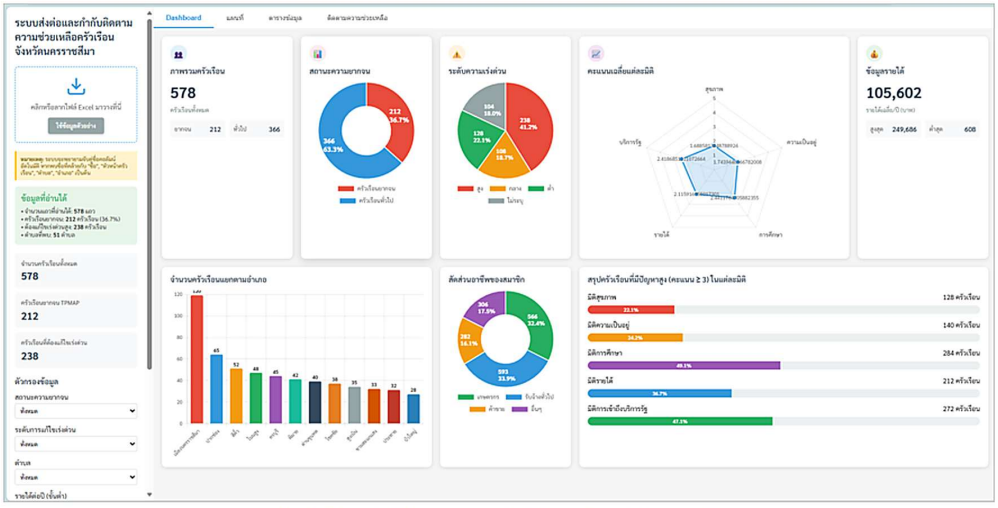
แพลตฟอร์มข้อมูลบูรณาการนี้ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างพื้นฐานข้อมูลกลางของจังหวัด เชื่อมข้อมูลผู้ยากจนจากหลายฐาน (PPP-Connext, TPMAP, ThaiQM และข้อมูลครัวเรือนเปราะบางของหน่วยงานต่าง ๆ) มาประมวลผลรวมกัน องค์ประกอบหลักและหน้าที่สรุปไว้ใน Table 1.

Table 1. Components and Functions of the Integrated-Data Decision Support System

Component	Function
Data integration	Consolidates TPMAP, ThaiQM, PPP-Connext via API to the Government Data Catalog and City Data Platform
Data-quality verification	Standardized verification combining a social process (community confirmation) and an automated technological process; reduces inclusion/exclusion errors
Real-time dashboard	Real-time analytics on poverty status, trends, and model progress; mobile-responsive for field use
Geomatics visualization	Thai People Map / GIS view for cross-area comparison and spatial targeting
Multi-level DSS	Same data, role-specific views for upper, middle, and lower management; model-based analysis of options
Feedback loop	Three-level real-time tracking (tambon-district-province) of assistance status and referral

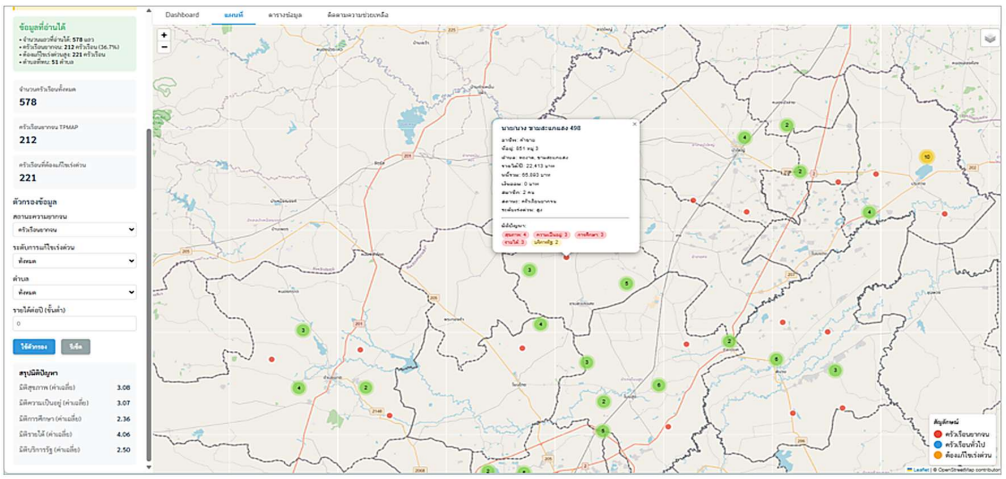
6.1.2 ตัวอย่างหน้าจอระบบที่พัฒนาขึ้น

ตัวอย่างหน้าจอระบบที่พัฒนาขึ้นแสดงดัง Figure 3. (a) (b) (c) ประกอบด้วยแดชบอร์ดวิเคราะห์แบบเรียลไทม์ การแสดงผลเชิงพื้นที่ (GIS) และระบบติดตามการส่งต่อความช่วยเหลือพร้อม Timeline

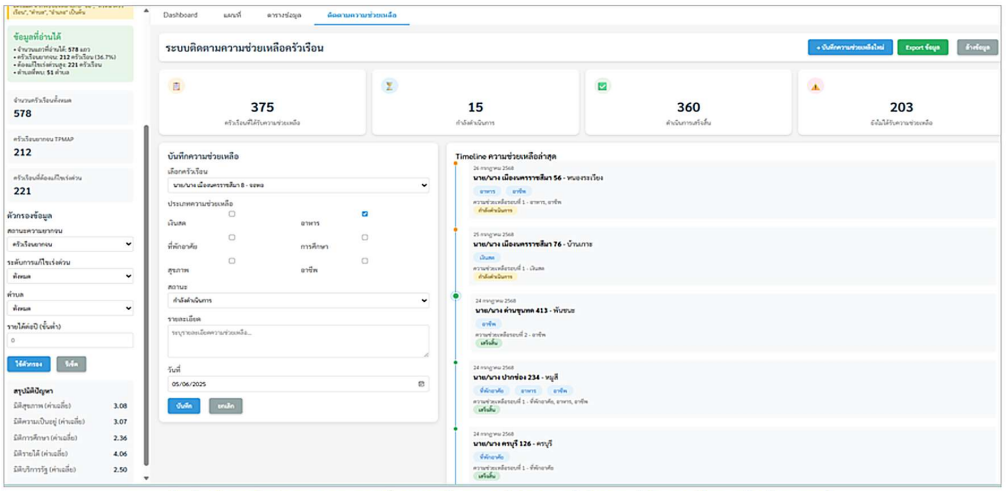


(a) Real-time analytics dashboard

Figure 3. User interface of the Developed System: (a) Dashboard, (b) GIS Map, (c) Assistance Tracking



(b) Geographic view (Thai People Map / GIS)



(c) Assistance referral and tracking (feedback loop)

Figure 3. User interface of the Developed System: (a) Dashboard, (b) GIS Map, (c) Assistance Tracking (Cont.)

6.2 ผลการนำระบบไปใช้ในเชิงพื้นที่ ทั้งการครอบคลุมการใช้งาน การส่งต่อความช่วยเหลือ และการสนับสนุนการตัดสินใจเชิงนโยบาย

6.2.1 ผลการนำระบบไปใช้และผลกระทบ

ระบบถูกนำไปใช้จริงในวงกว้าง โดยมีผู้ใช้ 657 หน่วยงาน แบ่งเป็นหน่วยงานระดับนโยบาย 32 หน่วยงาน องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น 336 แห่ง และองค์กรชุมชนตำบล 289 แห่ง ฐานข้อมูลรวมศูนย์ครอบคลุมครัวเรือนยากจน 21,521 ครัวเรือน (81,561 คน) ใน 32 อำเภอ 253 ตำบล 1,839 หมู่บ้าน เฉพาะปี 2567 ระบบค้นหาและยืนยันข้อมูลครัวเรือนยากจนได้ 2,553 ครัวเรือนใน 4 อำเภอนำร่อง

ผลการนำระบบไปใช้สะท้อนการปรับกระบวนการข้อมูลจากเดิมที่จัดเก็บแบบออฟไลน์ แยกส่วน และขาดการประกันคุณภาพ ไปสู่แพลตฟอร์มบูรณาการแบบเรียลไทม์ที่มีการสอบทานสองกระบวนการ การออกแบบใหม่นี้มุ่งลดสาเหตุเชิงโครงสร้างของ Inclusion Error และ Exclusion Error และช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานเข้าถึงข้อมูลชุดเดียวกันได้รวดเร็วขึ้น ทั้งนี้การเปรียบเทียบก่อน-หลังในงานนี้เป็นการเปรียบเทียบเชิงกระบวนการ (ดัง Table 2.) มิได้วัดค่าประสิทธิภาพการชี้เป้าและระยะเวลาเข้าถึงข้อมูลเป็นตัวเลขก่อน-หลังภายใต้การออกแบบเชิงทดลอง สำหรับผลเชิงปริมาณที่ตรวจสอบได้ ระบบส่งต่อความช่วยเหลือให้ครัวเรือนได้ถึง 4,613 ครัวเรือน และครัวเรือนกลุ่มอยู่ลำบาก ซึ่งเป็นกลุ่มเปราะบางที่สุดที่ถูกชี้เป้า ได้รับการส่งต่อเข้าสู่สวัสดิการรัฐครบทุกครัวเรือน (ร้อยละ 100 ของกลุ่มอยู่ลำบากที่ถูกชี้เป้า) เพื่อให้ตีความผลได้

ถูกต้อง งานวิจัยนิยามตัวชี้วัดสำคัญไว้ดังนี้ ประสิทธิภาพการชี้เป้า (Targeting Efficiency) หมายถึงความสามารถของระบบในการระบุครัวเรือนยากจนที่แท้จริงให้ครบถ้วนและถูกต้อง Inclusion Error หมายถึงสัดส่วนครัวเรือนที่ถูกนับรวมทั้งที่ไม่จนจริง Exclusion Error หมายถึงสัดส่วนครัวเรือนที่จนจริงแต่ตกหล่น ระยะเวลาเข้าถึงข้อมูล (Data Access Time) หมายถึงเวลาที่ผู้ใช้ใช้ในการเรียกดูข้อมูลครัวเรือนที่ต้องการ และอัตราการส่งต่อสำเร็จ หมายถึงสัดส่วนครัวเรือนกลุ่มเป้าหมายที่ได้รับการส่งต่อเข้าสู่สวัสดิการ ในงานนี้อัตราการส่งต่อสำเร็จวัดได้เป็นตัวเลข ส่วนตัวชี้วัดอื่นประเมินเชิงกระบวนการ ดังการเปรียบเทียบใน Table 2.

Table 2. Structural Before-After Comparison of the Poverty-Data Process (Qualitative)

Aspect	Before (2021-2023)	After (2024-2025)
Data system	Fragmented, offline, not real-time, siloed across agencies	Integrated platform / PPP-Connext; real-time dashboard; API to Government Data Catalog
Data quality	No standard QA; inclusion/exclusion errors	Standardized verification (social + technological); higher targeting accuracy
Referral & tracking	No systematic follow-up; delayed reporting	Five-capital referral; real-time feedback loop; 100% welfare referral
Decision support	No DSS; decisions from outdated data/experience	Multi-level DSS; evidence-based policy in four dimensions

6.2.2 ผลการสนับสนุนการตัดสินใจเชิงนโยบาย

ในเชิงการตัดสินใจ แพลตฟอร์มนี้รองรับการใช้งานสามแบบ คือ การวางแผน การติดตามผล และการตัดสินใจเชิงนโยบาย ผู้บริหารระดับจังหวัดใช้ข้อมูลครอบคลุม 21,521 ครัวเรือนวางแผนยุทธศาสตร์ 5 ปี (พ.ศ. 2566-2570) ระบบมี Module กรองข้อมูลหลายมิติ (ฐานข้อมูล ปีงบประมาณ พื้นที่ และลักษณะปัญหา) ทำให้วางแผนแบบพุ่งเป้าได้ ตัวอย่างการตัดสินใจที่เกิดขึ้นจริง เช่น เมื่อระบบจัดกลุ่มครัวเรือนหนึ่งเป็นกลุ่มอยู่ลำบากจากคะแนนทุน 5 มิติที่ต่ำในด้านที่อยู่อาศัยและเศรษฐกิจ ระบบจะจัดลำดับความเร่งด่วนและเสนอเมนูการช่วยเหลือที่สอดคล้อง เช่น การส่งต่อเข้าสู่สวัสดิการด้านที่อยู่อาศัยและการลดหนี้ครัวเรือน แล้วติดตามสถานะการส่งต่อผ่านระบบ การติดตามผลทำแบบเรียลไทม์ผ่านแดชบอร์ดและการแสดงผลเชิงพื้นที่ ส่วนการตัดสินใจบนฐานข้อมูลเชิงประจักษ์ครอบคลุม 4 ประเด็นสำคัญ คือ หนี้นอกระบบ ภัยพิบัติ คุณภาพชีวิต และการศึกษา การเชื่อมข้อมูลผ่าน API กับ Government Data Catalog ยังเปิดให้ตรวจสอบย้อนหลังได้ ช่วยเพิ่มความโปร่งใสและความรับผิดชอบของการดำเนินงานภาครัฐ

6.3 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีต่อการใช้งานและการรับรู้ประโยชน์ของระบบ

ผลการวิจัย รายละเอียดดัง Table 3.

Table 3. User Satisfaction with the System (56 Officers, 5-Point Likert; Cronbach's α = 0.89)

Evaluation item	Mean	S.D.	Level
Ease of use	4.34	0.75	High
Interface and presentation	4.41	0.65	High
Data accuracy and completeness	4.39	0.71	High
Usefulness for decision support	4.34	0.77	High
Overall satisfaction	4.23	0.76	High
Total	**4.34**	**0.74**	**High**

จาก Table 3. พบว่า เจ้าหน้าที่ผู้ใช้งาน 56 คนประเมินความพึงพอใจในภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.34, S.D. = 0.74) เครื่องมือมีความเชื่อมั่นสูง (Cronbach's α = 0.89) ด้านที่ได้คะแนนสูงสุดคือความสวยงามและการแสดงผล ($\bar{x}$ = 4.41) และความถูกต้องครบถ้วนของข้อมูล ($\bar{x}$ = 4.39) คะแนนทุกด้านสม่ำเสมอในระดับมาก

6.4 ผลการศึกษาคุณภาพและความเหมาะสมของระบบด้านสถาปัตยกรรม ความปลอดภัย การบูรณาการข้อมูล และความเหมาะสมของเทคโนโลยี ตามการประเมินของผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ

ผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ 5 คนประเมินคุณภาพและความเหมาะสมของระบบในภาพรวมระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.44) โดยเครื่องมือประเมินมีความเชื่อมั่นสูง (Cronbach's α = 0.93) ด้านที่เด่นที่สุดคือสถาปัตยกรรมและการออกแบบ ความปลอดภัยตาม PDPA และความเหมาะสมของเทคโนโลยี ($\bar{x}$ = 4.60 เท่ากัน) ขณะที่ความเร็วในการประมวลผลได้คะแนนต่ำสุด ($\bar{x}$ = 4.00) ซึ่งสอดคล้องกับข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญให้เพิ่ม Cache Layer สำหรับข้อมูลที่เรียกดูบ่อย ทั้งนี้ผลการประเมินนี้สะท้อนคุณภาพและความเหมาะสมเชิงการออกแบบตามการพิจารณาของผู้เชี่ยวชาญ มิใช่การวัดประสิทธิภาพเชิงเทคนิคด้วยการทดสอบระบบโดยตรง รายละเอียดดัง Table 4.

Table 4. Expert Evaluation of System Quality and Suitability (5 IT Experts, 5-Point Likert; Cronbach's α = 0.93)

Evaluation item	Mean	S.D.	Level
System architecture and design	4.60	0.55	Highest
Data security (PDPA)	4.60	0.55	Highest
Processing speed	4.00	0.71	High
Database integration (API)	4.40	0.89	High
Technology appropriateness	4.60	0.55	Highest
Total	**4.44**	**0.65**	**High**

7. สรุปผลการวิจัย (Conclusion)

งานวิจัยนี้บรรลุวัตถุประสงค์สามข้อ ดังนี้ ตามวัตถุประสงค์ข้อ 1 ได้พัฒนา DSS บนฐานข้อมูลบูรณาการที่รวม TPMAP, ThaiQM และ PPP-Connext เข้าด้วยกันผ่าน API พร้อมแดชบอร์ดเรียลไทม์ การแสดงผลเชิงภูมิสารสนเทศ กลไกสอบทานคุณภาพสองกระบวนการ และกระบวนการติดตามและป้อนกลับข้อมูลสามระดับ ตามวัตถุประสงค์ข้อ 2 ระบบถูกนำไปใช้จริงใน 657 หน่วยงาน ครอบคลุม 21,521 ครัวเรือนทั้งจังหวัด มีการส่งต่อความช่วยเหลือ 4,613 ครัวเรือน และส่งต่อครัวเรือนกลุ่มอยู่ลำบากที่ถูกชี้เป้าเข้าสู่สวัสดิการรัฐครบทุกครัวเรือน โดยกระบวนการข้อมูลเปลี่ยนจากออฟไลน์และแยกส่วนเป็นบูรณาการแบบเรียลไทม์ และรองรับการตัดสินใจบนฐานข้อมูลเชิงประจักษ์ใน 4 มิตินโยบาย และตามวัตถุประสงค์ข้อ 3 ผู้ใช้ 56 คนพึงพอใจระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.34) และผู้เชี่ยวชาญ 5 คนประเมินคุณภาพและความเหมาะสมของระบบระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.44) โดยเครื่องมือประเมินมีความเชื่อมั่นสูง (α = 0.89 และ 0.93 ตามลำดับ) ทั้งนี้งานวิจัยไม่ได้สรุปว่าระบบลดความยากจนของครัวเรือนโดยตรง เนื่องจากยังไม่ได้วัดการเปลี่ยนแปลงด้านรายได้ หนี้สิน หรือสถานะความยากจน แต่ระบบช่วยสนับสนุนการชี้เป้า การติดตามการช่วยเหลือ และการตัดสินใจเชิงพื้นที่

8. อภิปรายผลการวิจัย (Discussion)

ผลการพัฒนาสอดคล้องกับหลักการของ DSS ที่ว่าคุณค่าไม่ได้อยู่ที่การเก็บข้อมูล แต่อยู่ที่การแปลงข้อมูลเป็นทางเลือกการตัดสินใจ (Shim et al., 2002; Power, 2002) เมื่อเทียบกับงานที่เกี่ยวข้อง ระบบนี้ให้ผลไปในทิศทางเดียวกับ Ran & Nedovic-Budic (2024) ที่ว่าโครงสร้างพื้นฐานสนับสนุนการตัดสินใจช่วยบูรณาการนโยบายเชิงพื้นที่ได้ และสอดรับกับ Putri et al. (2022) ที่ว่าการชี้เป้าความยากจนเชิงพื้นที่ต้องหลอมรวมข้อมูลหลายแหล่ง แต่ต่างออกไปตรงที่งานนี้บูรณาการฐานข้อมูลคนจนของภาครัฐไทยหลายฐานเข้าด้วยกัน และเพิ่มกลไกสอบทานคุณภาพที่ผสานกระบวนการทางสังคมของชุมชนกับการตรวจสอบอัตโนมัติ ซึ่งตอบโจทย์ข้อจำกัดด้านการทำงานร่วมกันของข้อมูลข้ามหน่วยงานที่

(Research Article)

Wahyuni et al. (2024) ระบุว่ายังเป็นอุปสรรคสำคัญ นอกจากนี้การออกแบบ DSS แบบหลายระดับยังตรงกับชั้นการจัดการสามระดับ ทำให้ผู้บริหารแต่ละระดับใช้ข้อมูลชุดเดียวกันในมุมมองที่เหมาะกับบทบาทตน ส่วนกระบวนการติดตามและป้อนกลับสะท้อนลักษณะวงวนซ้ำของ DSS ที่เรียนรู้และปรับปรุงจากผลย้อนกลับ ในแง่การประเมิน ผู้ใช้ให้คะแนนด้านความถูกต้องของข้อมูลและประโยชน์ต่อการตัดสินใจในระดับมาก สอดคล้องกับแบบจำลองความสำเร็จของระบบสารสนเทศที่ว่าคุณภาพระบบและคุณภาพข้อมูลนำไปสู่การใช้ประโยชน์และความพึงพอใจ (DeLone & McLean, 2003) อย่างไรก็ตาม ด้านความเร็วในการประมวลผลได้คะแนนต่ำสุด ($\overline{x}$ = 4.00) ซึ่งเป็นจุดที่ต้องปรับปรุงเชิงเทคนิค และค่าความเชื่อมั่นของเครื่องมือ (α) เป็นเพียงตัวบ่งชี้ความสอดคล้องภายในของแบบประเมิน มิใช่หลักฐานยืนยันประสิทธิภาพการทำงานของระบบ

อย่างไรก็ดี การศึกษานี้มีข้อจำกัดที่ต้องระบุ ประการแรก ดำเนินการในจังหวัดและระบบเดียว ประการที่สอง การเปรียบเทียบก่อน-หลังเป็นเชิงกระบวนการและการรับรู้ของผู้ใช้ ไม่ได้วัดประสิทธิภาพการชี้เป้า อัตรา Inclusion/Exclusion Error และระยะเวลาเข้าถึงข้อมูลเป็นค่าตัวเลขก่อน-หลังภายใต้กลุ่มเปรียบเทียบเชิงทดลอง ประการที่สาม ตัวเลขการนำไปใช้ระดับโครงการ (657 หน่วยงาน และ 21,521 ครัวเรือน) เป็นผลรวมของแพลตฟอร์มระดับจังหวัด มิใช่ของชั้น DSS เพียงลำพัง และประการที่สี่ การประเมินใช้ผู้ใช้ 56 คนและผู้เชี่ยวชาญ 5 คน ซึ่งแม้เครื่องมือจะมีความเชื่อมั่นสูง แต่ควรขยายกลุ่มผู้ประเมินและทดสอบในบริบทจังหวัดอื่นในงานต่อไป

9. ข้อเสนอแนะงานวิจัย (Recommendation)

1) ข้อเสนอแนะในการนำไปใช้: จากผลการประเมินที่ด้านความเร็วในการประมวลผลได้คะแนนต่ำสุด ควรปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงเทคนิคอย่างเป็นรูปธรรม เช่น การเพิ่มชั้นแคช (Cache Layer) สำหรับข้อมูลที่เรียกดูบ่อย การปรับปรุงการจัดการ API และการปรับแต่งฐานข้อมูล (Query/Index Optimization) นอกจากนี้ควรสถาปนาแพลตฟอร์มนี้เป็นโครงสร้างพื้นฐานข้อมูลถาวรของจังหวัด พร้อมวางธรรมาภิบาลข้อมูลและการคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคลตาม PDPA ให้ชัดเจน ทั้งนี้การขยายผลไปยังจังหวัดอื่นควรมีเงื่อนไขความพร้อมก่อน ได้แก่ มาตรฐานข้อมูลที่สอดคล้องกัน ความร่วมมือระหว่างหน่วยงาน โครงสร้างพื้นฐานทางเทคนิค และบุคลากรผู้ดูแลระบบ มิใช่การขยายผลโดยทันที

2) ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป: ควรออกแบบการวัดผลก่อน-หลังเชิงปริมาณที่มีกลุ่มเปรียบเทียบ เพื่อวัดประสิทธิภาพการชี้เป้า อัตรา Inclusion/Exclusion Error และระยะเวลาเข้าถึงข้อมูลอย่างเป็นระบบ เพิ่มจำนวนและความหลากหลายของผู้ใช้ในการประเมิน ประเมินคุณภาพระบบด้วยเครื่องมือมาตรฐาน (เช่น System Usability Scale) และติดตามผลระยะยาวถึงผลเชิงสาเหตุของการใช้ DSS ต่อการชี้เป้าและการช่วยเหลือครัวเรือนยากจน

10. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการ “การพัฒนาและยกระดับแพลตฟอร์มเพื่อการแก้ไขปัญหาความยากจนจังหวัดนครราชสีมา” (สัญญาเลขที่ A11F670139) สนับสนุนโดยหน่วยบริหารและจัดการทุนด้านการพัฒนาระดับพื้นที่ (บพท.) และกองทุนส่งเสริม ววน.

11. การเปิดเผยการใช้ปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ (Declaration of Generative AI)

ผู้เขียนใช้เครื่องมือปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ช่วยเรียบเรียงและขัดเกลาภาษาของต้นฉบับเท่านั้น มิได้ใช้ในการออกแบบระบบ การวิเคราะห์ หรือการสรุปผล ซึ่งทั้งหมดเป็นของผู้เขียน ผู้เขียนได้ตรวจทานเนื้อหาที่ผ่านการขัดเกลาภาษาอีกครั้ง ตรวจสอบความถูกต้องของข้อเท็จจริงและรายการอ้างอิงทั้งหมด และรับผิดชอบความถูกต้องของเนื้อหา ทั้งนี้เป็นไปตามนโยบายการใช้ปัญญาประดิษฐ์ของวารสาร

12. การแสดงบทบาทผู้เขียน (CRediT Author Statement)

Chutrapee Popitikul: Conceptualization, Methodology, Software, Validation, Formal Analysis, Investigation, Resources, Data Curation, Writing – Original Draft, Writing – Review & Editing, Visualization, Supervision, Project Administration, and Funding Acquisition

The author read and approved the final manuscript.

13. เอกสารอ้างอิง (References)

Arnott, D., & Pervan, G. (2008). Eight Key Issues for the Decision Support Systems Discipline. *Decision Support Systems*, *44*(3), 657-672. https://doi.org/10.1016/j.dss.2007.09.003

Best, J. W. (1977). *Research in Education* (3rd ed.). Prentice-Hall.

Coady, D., Grosh, M., & Hoddinott, J. (2004). *Targeting of Transfers in Developing Countries: Review of Lessons and Experience*. World Bank. https://doi.org/10.1596/0-8213-5769-7

Davis, F. D. (1989). Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology. *MIS Quarterly*, *13*(3), 319–340. https://doi.org/10.2307/249008

DeLone, W. H., & McLean, E. R. (2003). The DeLone and McLean Model of Information Systems Success: A Ten-Year Update. *Journal of Management Information Systems, 19*(4), 9–30. https://doi.org/10.1080/07421222.2003.11045748

Digitalization of Public Administration and Services Act B.E. 2562. (2019, May 22). *Royal Thai Government Gazette*. Book No. 136 Chapter 67 Kor, 57-66. (In Thai)

Iamsiriwong, O. (2011). *Management Information Systems*. SE-Education. (In Thai)

Janssen, M., Charalabidis, Y., & Zuiderwijk, A. (2012). Benefits, Adoption Barriers and Myths of Open Data and Open Government. *Information Systems Management, 29*(4), 258–268. https://doi.org/10.1080/10580530.2012.716740

Kiattikomol, P., & Kechareananta, N. (2008). *Decision Support Information Systems*. SE-Education. (In Thai)

Layne, K., & Lee, J. (2001). Developing Fully Functional E-Government: A Four Stage Model. *Government Information Quarterly, 18*(2), 122–136. https://doi.org/10.1016/S0740-624X(01)00066-1

Nielsen, J. (1993). *Usability Engineering*. Academic Press.

Popitikul, C., & Chimplee, K. (2026). Requirements Analysis of a Poverty Household Information System for Government Agency Officers in Nakhon Ratchasima Province. *Journal of Applied Science and Innovation*, *1*(1), 26102. (In Thai)

Power, D. J. (2002). *Decision Support Systems: Concepts and Resources for Managers*. Bloomsbury Academic.

Program Management Unit for Area-Based Development [PMU A], & Nakhon Ratchasima Rajabhat University. (2025). Development and Upgrading of an Integrated Area-Based Platform for Poverty Alleviation in Nakhon Ratchasima Province (Contract No. A11F670139). *Research Report*. Nakhon Ratchasima Rajabhat University. (In Thai)

Putri, S. R., Wijayanto, A. W., & Sakti, A. D. (2022). Developing Relative Spatial Poverty Index Using Integrated Remote Sensing and Geospatial Big Data Approach: A Case Study of East Java, Indonesia. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, *11*(5), 275. https://doi.org/10.3390/ijgi11050275

Ran, J., & Nedovic-Budic, Z. (2024). Online Decision Support Infrastructures for Integrating Spatial Planning and Flood Risk Management Policies. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, *13*(2), 53. https://doi.org/10.3390/ijgi13020053

Scholl, H. J., & Klischewski, R. (2007). E-Government Integration and Interoperability: Framing the Research Agenda. *International Journal of Public Administration, 30*(8–9), 889–920. https://doi.org/10.1080/01900690701402668

Scott Morton, M. S. (1971). *Management Decision Systems: Computer-Based Support for Decision Making*. Harvard University.

Sharda, R., Delen, D., & Turban, E. (2014). *Business Intelligence and Analytics: Systems for Decision Support* (10th ed.). Pearson.

Shim, J. P., Warkentin, M., Courtney, J. F., Power, D. J., Sharda, R., & Carlsson, C. (2002). Past, Present, and Future of Decision Support Technology. *Decision Support Systems*, *33*(2), 111–126. https://doi.org/10.1016/S0167-9236(01)00139-7

Sommerville, I. (2016). Software Engineering (10th ed.). Pearson.

Sprague, R. H. (1980). A Framework for the Development of Decision Support Systems. *MIS Quarterly*, *4*(4), 1–26. https://doi.org/10.2307/248957

Thai People Map and Analytics Platform. (2022). *Overview of Target Poor People in 2022 Thailand*. https://www.tpmap.in.th/2565 (In Thai)

Wahyuni, H., Mutiarin, D., Pribadi, U., Ismail, N. S. A., Priyo Purnomo, E., & Kumorotomo, W. (2024). Maturity of Data Interoperability Cross-Organizations in Supporting the Concept of One Employment Data at the Ministry and Regional Government Levels. *Cogent Social Sciences*, *10*(1), 2407936. https://doi.org/10.1080/23311886.2024.2407936

May-August 2026, 4(2), e4324
DOI: 10.65205/jcct.2026.e4324
Journal of Computer and Creative Technology
วารสารคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสร้างสรรค์
ISSN 2985-1580 (Print)
ISSN 2985-1599 (Online)

(Research Article)

Using Generative Artificial Intelligence with Reflective Activities to Enhance Critical Thinking among Undergraduate Students

Wachira Morachat[1] and Narach Chaichana[2,*]

[1,2]Program in Digital Technology for Education, Faculty of Education, Ubon Ratchathani Rajabhat University, UbonRatchathani 34000, Thailand; Email: [1]wachira.m@ubru.ac.th, [2]narach.ch@ubru.ac.th

[*]*Corresponding author:* Narach Chaichana (narach.ch@ubru.ac.th)

Received: 23 July 2026; **Revised:** 27 August 2026; **Accepted:** 29 August 2026; **Published:** 29 August 2026

Abstract

This research aimed to (1) to compare students' critical thinking before and after the intervention within each group; (2) to compare critical thinking between the experimental group and the control group after the intervention; (3) to examine the effectiveness of the learning activities; and (4) to examine students' satisfaction with the learning activities in the experimental group. The sample comprised 42 undergraduate students obtained through two-stage cluster random sampling. In the first stage, eight academic programs each offering two parallel class sections were identified; in the second stage, one program was randomly selected, and its two intact sections were randomly assigned as the experimental group (n = 22) and the control group (n = 20). The research instruments consisted of lesson plans, a critical thinking test, and a reflective thinking assessment form. Data were analyzed using mean, standard deviation, t-test, and the effectiveness index (E.I.). The findings revealed that (1) the posttest critical thinking scores of the experimental group ($\bar{x}$ = 26.32, SD = 1.36) were significantly higher than their pretest scores ($\bar{x}$ = 12.59, SD = 1.44) at the .05 level (t = 31.04, df = 21, p < .05); (2) the posttest critical thinking scores of the experimental group ($\bar{x}$ = 26.32, SD = 1.36) were significantly higher than those of the control group taught through conventional instruction ($\bar{x}$ = 17.65, SD = 2.28) at the .05 level (t = 15.14, df = 40, p < .05); (3) the learning activities implemented with the experimental group yielded an effectiveness index of 0.5008, higher than that of the control group (0.1722), indicating that GenAI combined with reflective thinking activities effectively promotes students' critical thinking; and (4) students in the experimental group reported overall satisfaction with the learning activities at the highest level ($\bar{x}$ = 4.60, SD = 0.62). These results demonstrate that applying Generative AI together with reflective thinking activities, as a tool supporting reflection, can enhance the quality of learning and constitutes an appropriate approach to instructional design in higher education in the digital era.

Keywords: Generative Artificial Intelligence, Reflective Activities, Critical Thinking, Higher Education

Copyright © 2026 Journal of Computer and Creative Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC-ND).

Citation:
Morachat, W., & Chaichana, N. (2026). Using Generative Artificial Intelligence with Reflective Activities to Enhance Critical Thinking among Undergraduate Students. *Journal of Computer and Creative Technology, 4*(2), e4324. https://doi.org/10.65205/jcct.2026.e4324

ISSN 2985-1580 (Print)
ISSN 2985-1599 (Online)

(Research Article)

การใช้ปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ร่วมกับกิจกรรมสะท้อนคิดเพื่อส่งเสริมการคิดเชิงวิพากษ์ของนักศึกษาระดับปริญญาตรี

วชิระ โมราชาติ[1] และ ณรัช ไชยชนะ[2,*]

[1,2]สาขาวิชาเทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อการศึกษา คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี 34000 ประเทศไทย; Email: [1]wachira.m@ubru.ac.th, [2]narach.ch@ubru.ac.th

[*]*ผู้ประพันธ์บรรณกิจ:* ณรัช ไชยชนะ (narach.ch@ubru.ac.th)

รับบทความ: 23 กรกฎาคม 2569; **แก้ไขบทความ:** 27 สิงหาคม 2569; **ตอบรับบทความ:** 29 สิงหาคม 2569;
เผยแพร่บทความ: 29 สิงหาคม 2569

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) เพื่อเปรียบเทียบการคิดเชิงวิพากษ์ของนักศึกษาก่อนและหลังภายในของแต่ละกลุ่ม (2) เปรียบเทียบการคิดเชิงวิพากษ์ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมหลังการทดลอง (3) ศึกษาประสิทธิผลของการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ และ (4) ศึกษาความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ของกลุ่มทดลอง กลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษาระดับปริญญาตรี จำนวน 42 คน การสุ่มตัวอย่างเป็นการสุ่มแบบแบ่งกลุ่มสองขั้นตอน โดยแบ่งเป็นสาขาวิชาที่มี 2 หมู่เรียน ได้จำนวน 8 สาขา แล้วเลือกสุ่ม 1 สาขาวิชา เพื่อเป็นกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ได้กลุ่มทดลอง จำนวน 22 คน และกลุ่มควบคุม จำนวน 20 คน เครื่องมือวิจัยประกอบด้วย แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ แบบวัดการคิดเชิงวิพากษ์ และแบบประเมินการสะท้อนคิด วิเคราะห์ข้อมูลด้วยค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน การทดสอบค่าที และดัชนีประสิทธิผล ผลการวิจัยพบว่า (1) นักศึกษากลุ่มทดลองมีคะแนนการคิดเชิงวิพากษ์หลังเรียน ($\bar{x}$ = 26.32, S.D. = 1.36) สูงกว่าก่อนเรียน ($\bar{x}$ = 12.59, S.D. = 1.44) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (t = 31.04, df = 21, p < .05 (2) การคิดเชิงวิพากษ์หลังเรียนของกลุ่มทดลองเฉลี่ย ($\bar{x}$ = 26.32, S.D. = 1.36) สูงกว่านักศึกษากลุ่มควบคุมที่เรียนด้วยวิธีปกติ ($\bar{x}$ = 17.65, S.D. = 2.28) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (t = 15.14, df = 40, p < .05) และ (3) การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ของกลุ่มทดลองมีค่าดัชนีประสิทธิผลเท่ากับ 0.5008 สูงกว่ากลุ่มควบคุมที่มีค่าดัชนีประสิทธิผล 0.1722 แสดงให้เห็นว่าการใช้ปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ร่วมกับกิจกรรมสะท้อนคิดสามารถส่งเสริมการคิดเชิงวิพากษ์ของนักศึกษาได้อย่างมีประสิทธิผล (4) นักศึกษากลุ่มทดลองมีความพึงพอใจต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.60, S.D. = 0.62) ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้ Generative AI ร่วมกับกิจกรรมสะท้อนคิดในฐานะเครื่องมือสนับสนุนการสะท้อนคิดสามารถช่วยยกระดับคุณภาพการเรียนรู้ และเป็นแนวทางที่เหมาะสมสำหรับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ในระดับอุดมศึกษายุคดิจิทัล

คำสำคัญ: ปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์, กิจกรรมสะท้อนคิด, การคิดเชิงวิพากษ์, การเรียนรู้ในระดับอุดมศึกษา

Copyright © 2026 Journal of Computer and Creative Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC-ND).

การอ้างอิง:
วชิระ โมราชาติ, และ ณรัช ไชยชนะ. (2569). การใช้ปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ร่วมกับกิจกรรมสะท้อนคิดเพื่อส่งเสริมการคิดเชิงวิพากษ์ของนักศึกษาระดับปริญญาตรี. *วารสารคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสร้างสรรค์, 4*(2), e4324. https://doi.org/10.65205/jcct.2026.e4324

(Research Article)

1. บทนำ (Introduction)

การพัฒนาผู้เรียนให้มีความสามารถในการคิดเชิงวิพากษ์ (Critical Thinking) ถือเป็นเป้าหมายสำคัญของการศึกษาระดับอุดมศึกษาในศตวรรษที่ 21 เนื่องจากเป็นทักษะที่ช่วยให้ผู้เรียนสามารถวิเคราะห์ข้อมูล ประเมินหลักฐาน ตัดสินใจอย่างมีเหตุผล และแก้ปัญหาที่ซับซ้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ Saengngam & Veepion (2026) อธิบายว่าการคิดเชิงวิพากษ์ประกอบด้วยทักษะสำคัญ ได้แก่ การวิเคราะห์ การประเมิน การสรุป การตีความ การสะท้อนความคิด ความยืดหยุ่น การตัดสินใจที่มีเหตุผล และการสื่อสาร Boonsouykhwan et al. (2026) กล่าวถึงการคิดเชิงวิพากษ์ประกอบด้วย การกำหนดปัญหา การตั้งสมมติฐาน การรวบรวมและประมวลข้อมูลการใช้เหตุผล การวิเคราะห์และประเมินผล การสะท้อนคิด การตัดสินใจและการแก้ปัญหา ตลอดจนลักษณะนิสัยส่วนบุคคล การส่งเสริมทักษะการคิดเชิงวิพากษ์ให้มีประสิทธิภาพและเกิดประสิทธิผล จำเป็นต้องพัฒนากระบวนการคิดอย่างเป็นระบบ แม้การคิดเชิงวิพากษ์จะถูกกำหนดเป็นผลลัพธ์การเรียนรู้หลักของหลักสูตรระดับอุดมศึกษาผู้เรียนจำนวนมากยังพัฒนาไปไม่ถึงระดับที่คาดหวัง โดยเฉพาะในขั้นตอนปลายของกระบวนการคิดซึ่ง Nasr et al. (2025) วิเคราะห์บทสนทนาจริงระหว่างนักศึกษากับ ChatGPT พบว่าผู้เรียนครึ่งหนึ่งแสดงร่องรอยการคิดเชิงวิพากษ์เพียงระดับต่ำ กล่าวคือหยุดอยู่ที่การตั้งคำถามเบื้องต้นและยอมรับคำตอบโดยไม่ตรวจสอบ ขณะที่อีกครึ่งหนึ่งก้าวหน้าได้เพียงถึงขั้นบูรณาการ และไม่มีผู้เรียนคนใดเลยที่สามารถดำเนินไปครบทั้ง 4 ขั้นจนถึงขั้นการแก้ปัญหาและประยุกต์ใช้ได้ด้วยตนเอง ปัญหานี้จำแนกได้เป็น 3 ลักษณะ ประการแรกคือการยอมรับสารสนเทศโดยปราศจากการประเมินความน่าเชื่อถือ ประการที่สองคือการไม่สามารถเชื่อมโยงข้อมูลใหม่เข้ากับความรู้เดิมเพื่อสังเคราะห์ข้อสรุปของตนเอง และประการที่สามคือการไม่สามารถนำข้อสรุปไปประยุกต์ใช้ในสถานการณ์จริง ปัญหาดังกล่าวทวีความรุนแรงขึ้นในยุคที่ผู้เรียนเข้าถึงคำตอบสำเร็จรูปได้ทันที

การสะท้อนคิด (Reflective Learning) คือการพิจารณาความเชื่อหรือองค์ความรู้อย่างตั้งใจ ต่อเนื่อง และรอบคอบบนพื้นฐานของหลักฐานและผลที่ตามมา Kanthong (2021) กล่าวถึงการสะท้อนคิดช่วยพัฒนาทักษะการคิดขั้นสูง ทักษะทางปัญญา ปรับเปลี่ยนทัศนคติ ช่วยในการตัดสินใจอย่างมีวิจารณญาณ และส่งเสริมการวางแผนพัฒนาตนเองอย่างต่อเนื่อง ขั้นตอนของการสะท้อนคิด ได้แก่ การรับรู้และบอกเล่าเหตุการณ์ การสำรวจความรู้สึกและความคิด การประเมินและการวิเคราะห์ การสรุปบทเรียนและสิ่งที่ได้เรียนรู้ และการวางแผนปฏิบัติและปรับปรุงในอนาคต การจัดการเรียนการสอนที่เปิดโอกาสให้นักศึกษาเขียนบันทึกสะท้อนคิด ช่วยให้ระดับพฤติกรรมสะท้อนคิดของนักศึกษาครูเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับก่อนเรียน นอกจากนี้งานวิจัยของ Phumkeaw (2019) ได้พัฒนาโครงสร้างรูปแบบ S4CL มาใช้ในการเรียนการสอนที่เน้นการเปลี่ยนจากการเรียนรู้แบบรับฟังฝ่ายเดียว (Passive Learning) ไปสู่กระบวนการที่ผู้เรียนมีบทบาทร่วมและสะท้อนคิดอย่างเป็นระบบ การเชื่อมโยงการประเมินตนเองร่วมกับผู้อื่น (Co-Evaluation) และการลงมือเขียนบันทึกสะท้อนความคิด (Reflective Writing) ช่วยกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดการตระหนักรู้และตกผลึกองค์ความรู้ด้วยตนเอง ผลลัพธ์นี้สอดคล้องกับข้อค้นพบว่าด้วยเงื่อนไขที่ทำให้การสะท้อนคิดเกิดขึ้นได้จริงในบริบทการเรียนรู้ที่มีปัญญาประดิษฐ์เป็นสื่อกลาง

ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา ปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ (Generative Artificial Intelligence: Generative AI) ได้เปลี่ยนแปลงรูปแบบการเรียนรู้ในระดับอุดมศึกษาอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะเครื่องมือประเภทแบบจำลองภาษาขนาดใหญ่ (Large Language Models: LLMs) เช่น ChatGPT และ Gemini ซึ่งสามารถสร้างข้อความ วิเคราะห์ข้อมูล สรุปสาระสำคัญ และสนทนาโต้ตอบกับผู้เรียนได้อย่างเป็นธรรมชาติ สำหรับบริบทของประเทศไทย Mingsiritham (2023); Busabong (2025) ได้เสนอแนวทางการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีดังกล่าวในการจัดการเรียนการสอนระดับอุดมศึกษาไว้แล้ว อย่างไรก็ตาม ข้อค้นพบที่สอดคล้องกันของงานวิจัยต่างประเทศชี้ว่า ประสิทธิผลของ Generative AI ขึ้นอยู่กับการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้มากกว่าตัวเทคโนโลยีเอง Nasr et al. (2025) วิเคราะห์บทสนทนาจริงระหว่างนักศึกษากับ ChatGPT และพบว่าผลลัพธ์ไม่ได้กำหนดโดยเครื่องมือ แต่กำหนดโดยคุณภาพของปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์กับ AI โดยผู้เรียนที่ใช้เครื่องมือแบบรับข้อมูลฝ่ายเดียวจะหยุดอยู่เพียงขั้นตั้งคำถามและยอมรับคำตอบโดยไม่ตรวจสอบ ขณะที่ผู้เรียนซึ่งได้รับกรอบชี้แนะอย่างเป็นระบบสามารถดำเนินไปครบทุกขั้นของกระบวนการสืบสอบ ตั้งแต่การเผชิญประเด็นที่กระตุ้นความสงสัย การสำรวจ การบูรณาการ จนถึงการนำไปประยุกต์ใช้ ข้อค้นพบนี้สอดคล้องกับข้อสรุปของ Guo (2022) โดยระบุว่าการออกแบบกิจกรรมเป็นตัวกำหนดประสิทธิผล มิใช่การมีกิจกรรมสะท้อนคิดเพียงเท่านั้น และ Zhai et al. (2023) พบว่าปัจจัยที่กำหนดประสิทธิผลได้แก่ รูปแบบการเรียนรู้ ระยะเวลาของกิจกรรม และการมีการเขียนสะท้อนคิด

(Research Article)

เป็นองค์ประกอบหลัก ข้อค้นพบนี้ให้เหตุผลรองรับการออกแบบกิจกรรมสะท้อนคิดในการวิจัยครั้งนี้ที่ใช้การเขียนเป็นแกนกลาง มิใช่การสะท้อนคิดด้วยวาจาหรือการอภิปรายเพียงอย่างเดียว

การบูรณาการ Generative AI เข้ากับกิจกรรมสะท้อนคิดมี 3 ลักษณะ ลักษณะแรกคือการใช้ AI เป็นผู้สร้างข้อมูลย้อนกลับเฉพาะบุคคลเพื่อเป็นวัตถุดิบของการสะท้อนคิด ซึ่ง Lee et al. (2025) ใช้แบบแผนกึ่งทดลองกับนักศึกษา 79 คน ในรายวิชาการเขียนโปรแกรมภาษาไพทอน โดยกลุ่มทดลองได้รับรายงานสะท้อนคิดที่ ChatGPT สร้างขึ้นจากการวิเคราะห์ข้อผิดพลาดในโค้ดของผู้เรียนแต่ละคน ขณะที่กลุ่มควบคุมใช้การสะท้อนคิดแบบชี้แนะตามปกติ ลักษณะที่สองคือการใช้ AI เป็นคู่เปรียบเทียบเพื่อกระตุ้นการประเมินเชิงวิพากษ์ โดย Al-Fattal (2025) ได้ออกแบบภาระงานตามหลักการ “ผู้เรียนลงมือทำเอง–ให้ AI ทำ–เปรียบเทียบและเขียนสะท้อนคิด” ซึ่งบังคับให้ผู้เรียนต้องระบุความแตกต่างระหว่างเหตุผลของตนกับผลผลิตของเครื่องจักร อันนำไปสู่บทสนทนาเชิงสะท้อนคิดและการตัดสินใจตามบริบท และลักษณะที่สามคือการใช้กรอบกระบวนการสืบสอบกำกับลำดับการปฏิสัมพันธ์ Nasr et al. (2025) พบว่าเมื่อผู้เรียนได้รับกรอบชี้แนะให้ดำเนินการตามลำดับขั้นอย่างเป็นระบบ ผู้เรียนสามารถก้าวข้ามขั้นบูรณาการไปสู่ขั้นการประยุกต์ใช้ได้ และเปลี่ยนมุมมองต่อ AI จาก “ทางลัดหาคำตอบ” ไปสู่ “คู่คิด” ที่กระตุ้นให้ตนตั้งคำถามที่ดีขึ้น ทั้ง 3 ลักษณะมีหลักการร่วมกันคือ AI ไม่ได้ทำหน้าที่ให้คำตอบ แต่ทำหน้าที่สร้างวัตถุดิบทางปัญญาที่ผู้เรียนต้องนำไปประมวลผลต่อด้วยตนเอง แม้ว่างานวิจัยเกี่ยวกับ Generative AI ทางการศึกษาจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่ส่วนใหญ่ยังมุ่งศึกษาผลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน การยอมรับเทคโนโลยี ประสบการณ์การเรียนรู้ หรือประสิทธิภาพของระบบ AI การวิจัยครั้งนี้มุ่งศึกษาผลของการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ร่วมกับกิจกรรมสะท้อนคิดต่อการพัฒนาการคิดเชิงวิพากษ์ของนักศึกษาระดับปริญญาตรี เพื่อนำเสนอแนวทางเชิงปฏิบัติสำหรับการบูรณาการ AI ในการจัดการเรียนการสอนระดับอุดมศึกษาอย่างมีประสิทธิภาพ

2. วัตถุประสงค์งานวิจัย (Research Objectives)

1. เพื่อเปรียบเทียบการคิดเชิงวิพากษ์ของนักศึกษาก่อนและหลังภายในของแต่ละกลุ่ม
2. เพื่อเปรียบเทียบการคิดเชิงวิพากษ์ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมหลังการทดลอง
3. เพื่อศึกษาประสิทธิผลของการจัดกิจกรรมการเรียนรู้
4. เพื่อศึกษาความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ของกลุ่มทดลอง

3. การทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)

3.1 ปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ (Generative Artificial Intelligence: Generative AI)

ปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ (Generative Artificial Intelligence: Generative AI หรือ GenAI) เป็นสาขาย่อยของปัญญาประดิษฐ์ที่มุ่งเน้นการใช้แบบจำลองเชิงสร้าง (Generative Models) เพื่อสร้างข้อมูลใหม่ เช่น ข้อความ ภาพ วิดีโอ เสียง หรือโค้ดคอมพิวเตอร์ โดยอาศัยรูปแบบ (Patterns) และโครงสร้างที่เรียนรู้จากชุดข้อมูลขนาดใหญ่ แทนที่จะจำกัดอยู่แค่การจำแนกหรือทำนายผลลัพธ์จากข้อมูลที่มีอยู่เท่านั้น Tredashe (2025) กล่าวถึงการทำงานของโมเดล AI แบบดั้งเดิมซึ่งมักออกแบบเพื่อภารกิจเฉพาะ เช่น การจำแนก (Classification) หรือการถดถอย (Regression) ที่ให้เพียงผลลัพธ์เชิงคาดการณ์ ไม่ใช่การ “สร้าง” เนื้อหาใหม่ ตัวอย่างเชิงประจักษ์ของ GenAI ในระดับผู้ใช้ทั่วไป ได้แก่ ระบบสนทนาอัจฉริยะ (เช่น ChatGPT) เครื่องมือสร้างภาพจากข้อความ (เช่น DALL·E หรือ Midjourney) และตัวช่วยสร้างโค้ดโปรแกรมอัตโนมัติ ซึ่งกำลังถูกนำไปใช้ทั้งในแวดวงการศึกษา อุตสาหกรรมสร้างสรรค์ และงานวิจัยอย่างกว้างขวาง ขณะเดียวกัน Xu et al. (2025) กล่าวถึงการสนับสนุนเชิงอภิปัญญาในสภาพแวดล้อม Generative AI สามารถช่วยพัฒนาการกำกับการเรียนรู้ด้วยตนเองและยกระดับประสบการณ์การเรียนรู้ได้ อย่างไรก็ตาม Generative AI มีข้อจำกัดสำคัญ ได้แก่ ความคลาดเคลื่อนของข้อมูล อคติของแบบจำลอง การขาดความเข้าใจบริบทอย่างแท้จริง ประเด็นลิขสิทธิ์และความเป็นส่วนตัว ตลอดจนความเสี่ยงจากการพึ่งพา AI มากเกินไป หากผู้เรียนยอมรับคำตอบของ AI โดยไม่ตรวจสอบ อาจทำให้ความพยายามในการคิดวิเคราะห์และความเป็นอิสระทางปัญญาลดลง Darwin et al. (2024) อธิบายถึงการนำ Generative AI มาใช้ในการศึกษาจึงควรกำหนดให้ AI ทำหน้าที่สนับสนุนมากกว่าทำงานแทนผู้เรียน โดยออกแบบกิจกรรมให้ผู้เรียนตั้งคำถาม ตรวจสอบหลักฐาน เปรียบเทียบข้อมูล ประเมินความน่าเชื่อถือ และตัดสินใจด้วยตนเอง นอกจากนี้ผู้เรียนจำเป็นต้องมีความฉลาดรู้ด้าน AI โดยเฉพาะความสามารถในการตรวจสอบข้อมูลและใช้ AI อย่างมีจริยธรรมและรับผิดชอบ

3.2 การคิดเชิงวิพากษ์ (Critical Thinking)

การคิดเชิงวิพากษ์มีรากฐานจากแนวคิดการคิดไตร่ตรอง Dewey (1933) ซึ่งอธิบายว่า การคิดที่มีคุณภาพเกิดจากการพิจารณาความเชื่อหรือความรู้อย่างจริงจัง ต่อเนื่อง และรอบคอบ โดยคำนึงถึงหลักฐานและผลที่อาจเกิดขึ้น แนวคิดดังกล่าวเน้นว่าผู้เรียนไม่ควรยอมรับข้อมูลหรือข้อสรุปโดยทันที แต่ควรตั้งคำถาม สืบสอบหลักฐาน และพิจารณาทางเลือกก่อนตัดสินใจ ต่อมา Facione (1990) ให้นิยามการคิดเชิงวิพากษ์ว่าเป็นการตัดสินอย่างมีจุดมุ่งหมายและมีการกำกับตนเอง ซึ่งนำไปสู่การตีความ การวิเคราะห์ การประเมิน การอนุมาน และการอธิบายเหตุผลบนพื้นฐานของข้อมูลและหลักฐานที่เหมาะสม จำแนกทักษะการคิดเชิงวิพากษ์ออกเป็น 6 ด้าน ได้แก่ การตีความ (Interpretation) การวิเคราะห์ (Analysis) การประเมิน (Evaluation) การอนุมาน (Inference) การอธิบาย (Explanation) และการกำกับตนเอง (Self-Regulation) ขณะที่ Paul & Elder (2021) อธิบายว่า การคิดเชิงวิพากษ์เป็นกระบวนการวิเคราะห์และประเมินการคิดเพื่อปรับปรุงคุณภาพการคิด โดยใช้มาตรฐานทางปัญญา เช่น ความชัดเจน ความถูกต้อง ความเกี่ยวข้อง ความลึก ความกว้าง และความสมเหตุสมผล การคิดเชิงวิพากษ์จึงไม่ได้ประกอบด้วยทักษะทางปัญญาเท่านั้น แต่ยังเกี่ยวข้องกับความใฝ่รู้ การเปิดใจกว้าง การยอมรับมุมมองที่แตกต่าง และความพร้อมที่จะปรับเปลี่ยนข้อสรุปเมื่อพบหลักฐานที่น่าเชื่อถือกว่า Suriano et al. (2025) กล่าวถึงการที่ผู้เรียนใช้ AI เพื่อสร้างคำตอบสำเร็จรูปโดยไม่วิเคราะห์หรือไตร่ตรอง อาจทำให้การมีส่วนร่วมทางปัญญาลดลง สอดคล้องกับ Darwin et al. (2024) กล่าวถึงปัจจัยสำคัญจึงอยู่ที่การออกแบบกิจกรรมให้ผู้เรียนใช้ AI เพื่อสำรวจทางเลือก โต้แย้ง ตรวจสอบหลักฐาน และพัฒนาข้อสรุปด้วยตนเอง จากการสังเคราะห์พบว่า การคิดเชิงวิพากษ์มีองค์ประกอบร่วม 3 ระดับ คือ ประการแรก “กระบวนการ” ได้แก่ การตั้งคำถาม สืบค้น และพิจารณาก่อนตัดสินใจ ซึ่งสอดคล้องกับ Dewey (1933) ประการที่สอง “ทักษะทางปัญญา” ได้แก่ วิเคราะห์ ประเมิน อนุมาน และอธิบาย ซึ่งสอดคล้องกับ Facione (1990) และประการที่สาม “คุณภาพของการใช้เหตุผล” ได้แก่ การตรวจสอบความถูกต้อง ความเกี่ยวข้อง ความสมเหตุสมผล และการเปิดรับมุมมองอื่น ซึ่งสอดคล้องกับ Paul & Elder (2021) งานวิจัยนี้ไม่ได้เลือกใช้กรอบการคิดเชิงวิพากษ์ของนักวิชาการคนใดคนหนึ่งโดยตรง แต่ใช้การสังเคราะห์แนวคิด โดยใช้กรอบของ Facione (1990) เป็นฐานหลักด้านทักษะการคิดเชิงวิพากษ์ ร่วมกับแนวคิดของ Dewey (1933) และ Paul & Elder (2021) โดยปรับองค์ประกอบให้เหมาะกับบริบทการเรียนรู้โดยใช้ Generative AI ร่วมกับกิจกรรมสะท้อนคิด จนได้องค์ประกอบเชิงปฏิบัติการ 4 ด้าน ได้แก่ การตั้งคำถาม การวิเคราะห์เชิงลึก การโต้แย้งหรือเปรียบเทียบ และการประยุกต์ใช้ความรู้

3.3 การสะท้อนคิด (Reflective Learning)

การสะท้อนคิด (Reflective Learning) เป็นกระบวนการที่ผู้เรียนทบทวน วิเคราะห์ และประเมินประสบการณ์ ความคิด ความรู้สึก และการกระทำของตนเองอย่างมีจุดมุ่งหมาย เพื่อสร้างความเข้าใจใหม่และวางแผนปรับปรุงการเรียนรู้ในอนาคต Dewey (1933) อธิบายว่า การเรียนรู้ไม่ได้เกิดจากการมีประสบการณ์เพียงอย่างเดียว แต่เกิดจากการพิจารณาประสบการณ์อย่างรอบคอบบนพื้นฐานของหลักฐาน Schön (1992) ขยายแนวคิดดังกล่าวเป็นการสะท้อนคิดขณะปฏิบัติ (Reflection-in-action) ซึ่งเกิดขึ้นระหว่างการทำกิจกรรม และการสะท้อนคิดหลังการปฏิบัติ (Reflection-on-Action) ซึ่งเป็นการทบทวนสิ่งที่เกิดขึ้นภายหลังเสร็จสิ้นกิจกรรม ขณะที่ Mezirow (1991) เสนอว่า การสะท้อนคิดเชิงวิพากษ์ช่วยให้ผู้เรียนตรวจสอบข้อสันนิษฐานเดิม พิจารณามุมมองทางเลือก และปรับเปลี่ยนกรอบความคิดของตนเอง กิจกรรมสะท้อนคิดสามารถจัดได้หลายรูปแบบ เช่น การเขียนบันทึกสะท้อนคิด การอภิปรายร่วมกับเพื่อน การประเมินตนเอง การใช้คำถามชี้นำ และการสนทนาสะท้อนคิด เมื่อบูรณาการ Generative AI เข้ากับกิจกรรมสะท้อนคิด AI สามารถทำหน้าที่เป็นผู้ตั้งคำถามสะท้อนคิด ผู้ให้ข้อมูลย้อนกลับ ผู้เสนอมุมมองทางเลือก และวัตถุที่ผู้เรียนต้องตรวจสอบหรือวิพากษ์ การสนทนาโต้ตอบหลายรอบช่วยให้ผู้เรียนขยายคำตอบ อธิบายเหตุผล ตรวจสอบข้อสันนิษฐาน และปรับปรุงความคิดอย่างต่อเนื่อง ผลการศึกษาพบว่า การใช้ Generative AI ร่วมกับการสะท้อนคิดสามารถส่งเสริมการคิดเชิงวิพากษ์ การกำกับการเรียนรู้ด้วยตนเอง และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนได้ เมื่อกิจกรรมมีคำถามชี้นำ ภาระงานที่ชัดเจน และการกำกับของผู้สอน (Sangnarin et al., 2025; Suriano et al., 2025; Xu et al., 2025) สำหรับการวิจัยครั้งนี้ใช้แนวคิดการสะท้อนคิดของ Dewey (1933) เป็นฐานแนวคิดหลัก ซึ่งมองว่าการเรียนรู้เกิดขึ้นจากการพิจารณาประสบการณ์อย่างตั้งใจ ต่อเนื่อง และรอบคอบบนพื้นฐานของหลักฐาน ร่วมกับแนวคิดของ Schön (1992) ที่อธิบายการสะท้อนคิดระหว่างการปฏิบัติ (Reflection-in-Action) และหลังการปฏิบัติ (Reflection-on-Action) และแนวคิดของ Mezirow (1991) ที่เน้นการสะท้อนคิดเชิงวิพากษ์ผ่านการตรวจสอบข้อสันนิษฐานเดิม การพิจารณามุมมองทางเลือก และการปรับเปลี่ยนกรอบ

ความคิด จากการสังเคราะห์แนวคิดดังกล่าว จึงได้ออกแบบกระบวนการสะท้อนคิดให้เหมาะสมกับบริบทการเรียนรู้ร่วมกับ Generative AI โดยให้ผู้เรียนตอบคำถามสะท้อนคิด วิเคราะห์และตรวจสอบข้อมูลย้อนกลับจาก AI เปรียบเทียบข้อมูลกับหลักฐานจากแหล่งอื่น เขียนบันทึกสะท้อนคิด สรุปสิ่งที่ได้เรียนรู้ และกำหนดแนวทางปรับปรุงการเรียนรู้ของตนเอง ทั้งนี้ Generative AI ทำหน้าที่เป็นเครื่องมือกระตุ้นการตั้งคำถามและเสนอข้อมูลหรือมุมมองสำหรับการพิจารณา มิใช่ทำหน้าที่คิดหรือตัดสินใจแทนผู้เรียน

4. กรอบแนวคิดงานวิจัย (Conceptual Framework)

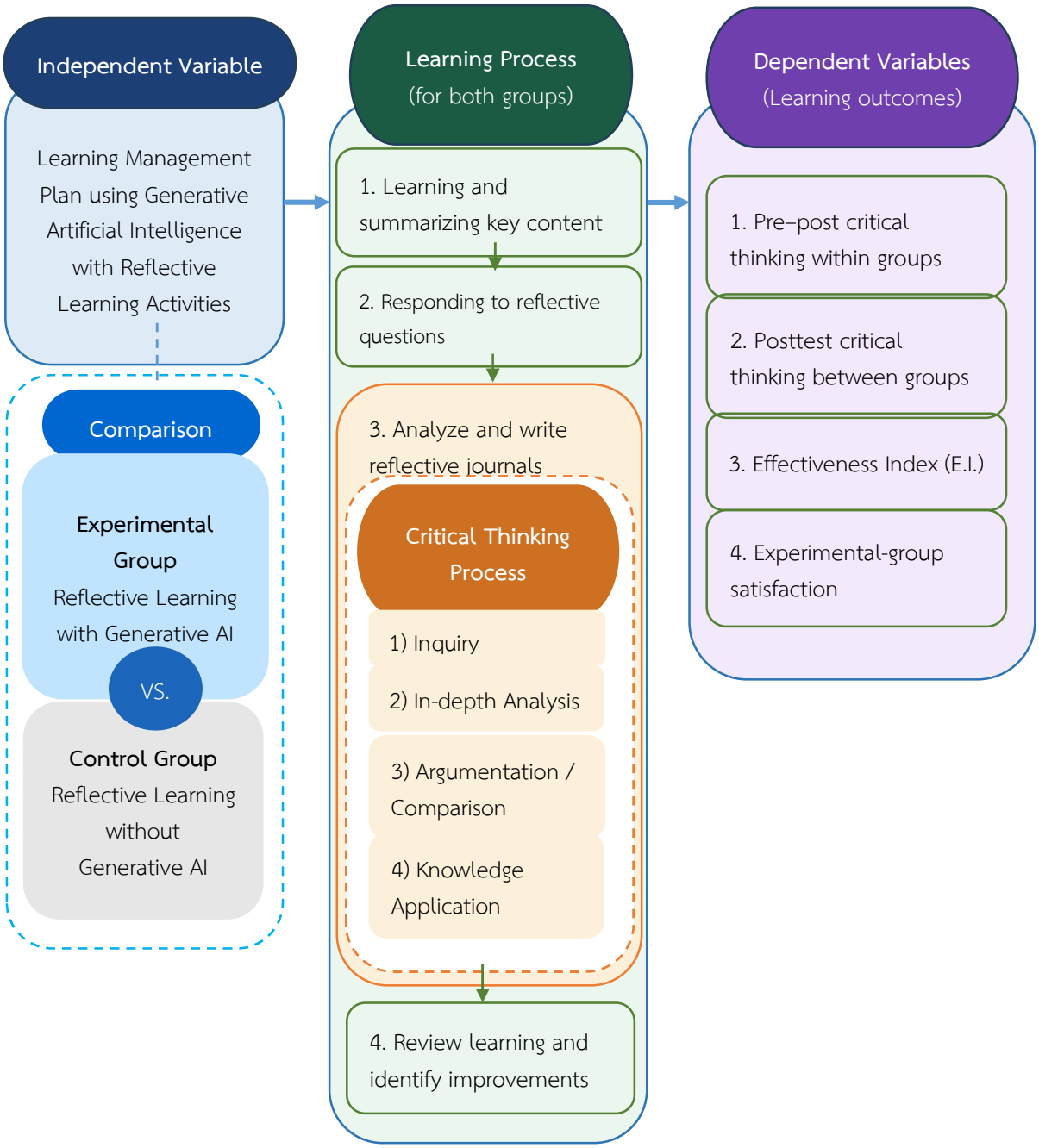


Figure 1. Generative AI-Assisted Reflective Learning to Promote Critical Thinking

จากภาพ Figure 1. กรอบแนวคิดการวิจัยนี้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระคือแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ร่วมกับกิจกรรมสะท้อนคิด และตัวแปรตามคือผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ประกอบด้วย 4 ประการ ได้แก่ (1) เปรียบเทียบการคิดเชิงวิพากษ์ของนักศึกษากลุ่มทดลองก่อนและหลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ร่วมกับกิจกรรมสะท้อนคิด (2) เปรียบเทียบการคิดเชิงวิพากษ์ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมหลังการทดลอง (3) ศึกษาประสิทธิผลของการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ และ (4) ศึกษาความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ โดยกลุ่มทดลองได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ผ่านกิจกรรมสะท้อนคิด ส่วนกลุ่มควบคุมได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ในชั้นเรียนแบบปกติ กระบวนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ของทั้งสองกลุ่ม ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ได้แก่ (1) การเรียนรู้และสรุปเนื้อหาสำคัญ (2) การตอบคำถามสะท้อนคิด (3) การวิเคราะห์และเขียนบันทึกสะท้อนคิด และ (4) การทบทวนประสบการณ์ ความรู้สึก และแนวทางปรับปรุงการเรียนรู้ ในขั้นการวิเคราะห์และเขียนบันทึกสะท้อนคิด ผู้เรียนได้รับการส่งเสริมให้ใช้กระบวนการคิดเชิงวิพากษ์ 4 ด้าน ได้แก่ การตั้งคำถาม การวิเคราะห์เชิงลึก การโต้แย้งหรือเปรียบเทียบ และการประยุกต์ใช้ความรู้

5. วิธีดำเนินงานวิจัย (Research Methodology)

5.1 รูปแบบการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยกึ่งทดลอง (Quasi-Experimental Research) โดยใช้แบบแผนการวิจัย Pretest–Posttest Control Group Design เพื่อศึกษาการใช้ปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ร่วมกับกิจกรรมสะท้อนคิดเพื่อส่งเสริมการคิดเชิงวิพากษ์ของนักศึกษาระดับปริญญาตรี กลุ่มตัวอย่างแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มทดลอง ซึ่งได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ Generative AI ร่วมกับกิจกรรมสะท้อนคิด และกลุ่มควบคุม ซึ่งได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปกติ ทั้ง 2 กลุ่มเรียนในเนื้อหาเดียวกัน ใช้ระยะเวลาในการเรียนรู้เท่ากัน และประเมินผลด้วยเครื่องมือชุดเดียวกัน

5.2 ประชากรและตัวอย่าง

1. ประชากรในการวิจัย คือ นักศึกษาระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 1 มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี ที่ลงทะเบียนเรียนวิชานวัตกรรมและเทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อการศึกษา ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2568 จำนวน 15 หมู่เรียน 418 คน

2. กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ คือ นักศึกษาระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 1 มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี ที่ลงทะเบียนเรียนวิชานวัตกรรมและเทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อการศึกษา ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2568 ได้แก่ นักศึกษาสาขาวิชาภาษาอังกฤษและบรรณารักษ์ศึกษา จำนวน 42 คน แบ่งเป็นกลุ่มทดลอง จำนวน 22 คน และกลุ่มควบคุม จำนวน 20 คน โดยการสุ่มแบบแบ่งกลุ่มสองขั้นตอน 1) แบ่งเป็นสาขาวิชาที่มี 2 หมู่เรียน ได้จำนวน 8 สาขา 2) แล้วเลือกสุ่ม 1 สาขาวิชา 2 หมู่เรียน เพื่อเป็นกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ก่อนดำเนินการทดลอง งานวิจัยนี้ได้ตรวจสอบความเท่าเทียมกันของกลุ่มตัวอย่างโดยเปรียบเทียบคะแนนการคิดเชิงวิพากษ์ก่อนเรียน ผลการวิเคราะห์พบว่าทั้งสองกลุ่มไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แสดงให้เห็นว่าทั้งสองกลุ่มมีพื้นฐานการเรียนรู้ใกล้เคียงกันและสามารถนำมาเปรียบเทียบผลหลังการทดลองได้

5.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ จำนวน 3 แผน แผนละ 4 คาบ รวมเป็น 12 คาบ คาบละ 50 นาที หน่วยการเรียน ได้แก่ หน่วยที่ 2 แหล่งเรียนรู้และเทคโนโลยีอุบัติใหม่เพื่อการเรียนรู้ หน่วยที่ 3 การรู้เท่าทันสื่อและสารสนเทศ และหน่วยที่ 4 กฎหมายที่เกี่ยวข้องและจริยธรรมในการใช้เทคโนโลยีดิจิทัล โดยตรวจสอบคุณภาพแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ผ่านการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน โดยประเมินความเหมาะสมใน 6 ด้าน ได้แก่ วัตถุประสงค์การเรียนรู้ เนื้อหาและสาระการเรียนรู้ กระบวนการจัดกิจกรรม การใช้ Generative AI การส่งเสริมการคิดเชิงวิพากษ์ และการวัดและประเมินผล ผลการประเมินพบว่าแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้มีความเหมาะสมโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.66, S.D. = 0.33) และมีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) อยู่ระหว่าง 0.67–1.00 ซึ่งผ่านเกณฑ์ที่กำหนด

2. แบบประเมินการสะท้อนคิด ใช้ประเมินคุณภาพของการสะท้อนคิดของผู้เรียนในระหว่างการจัดกิจกรรม โดยประเมินจากความลึกของการสะท้อนคิด การใช้หลักฐานประกอบเหตุผล การตั้งคำถาม การสังเคราะห์ความรู้ และการประเมินตนเอง เครื่องมือได้รับการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาโดยผู้ทรงคุณวุฒิและจัดทำเป็น Rubric แบบวิเคราะห์

(Analytic Rubric) ค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับวัตถุประสงค์ (IOC) มากกว่า 0.80 ทุกข้อ ค่าความสอดคล้องระหว่างผู้ประเมิน 2 คน (Pearson's r) เท่ากับ 0.87

3. แบบวัดการคิดเชิงวิพากษ์ แบบวัดการคิดเชิงวิพากษ์พัฒนาขึ้น ซึ่งครอบคลุมองค์ประกอบ 4 ด้าน ได้แก่ การตั้งคำถาม (Inquiry), การวิเคราะห์เชิงลึก (Analysis), การโต้แย้ง/เปรียบเทียบ (Argumentation) และการประยุกต์ใช้ความรู้ (Application) เครื่องมือผ่านการตรวจสอบคุณภาพด้านความตรง ความยากง่าย อำนาจจำแนก และมีค่าความเชื่อมั่นอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ และมีค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับวัตถุประสงค์ (IOC) มากกว่า 0.80 ทุกข้อ ค่าความเชื่อมั่นทั้งฉบับ (KR-20) เท่ากับ 0.82

4. แบบสอบถามความพึงพอใจ ผ่านการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน และมีค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับวัตถุประสงค์ (IOC) มากกว่า 0.80 ทุกข้อ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค เท่ากับ 0.91

5.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอน ดังนี้

1. ก่อนการทดลอง

ดำเนินการชี้แจงวัตถุประสงค์การวิจัย ขั้นตอนการดำเนินการ และแนวทางการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ให้แก่นักศึกษาทั้งกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม จากนั้นให้นักศึกษาทั้งสองกลุ่มทำแบบวัดการคิดเชิงวิพากษ์ก่อนเรียน (Pretest) เพื่อประเมินระดับการคิดเชิงวิพากษ์ก่อนการทดลอง โดยใช้แบบวัดชุดเดียวกัน ซึ่งครอบคลุมองค์ประกอบการคิดเชิงวิพากษ์ 4 ด้าน ได้แก่ (1) การตั้งคำถาม (Inquiry) (2) การวิเคราะห์เชิงลึก (In-Depth Analysis) (3) การโต้แย้งหรือเปรียบเทียบ (Argumentation/Comparison) และ (4) การประยุกต์ใช้ความรู้ (Knowledge Application)

สำหรับกลุ่มทดลอง ได้ชี้แจงแนวทางการใช้ ChatGPT ในการเรียนรู้ โดยกำหนดให้ใช้เป็นเครื่องมือสนับสนุนการตั้งคำถาม การเสนอข้อมูลหรือมุมมองทางเลือก การให้เหตุผล และการให้ข้อมูลย้อนกลับ เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์และสะท้อนคิด ทั้งนี้ ผู้เรียนต้องตรวจสอบ วิเคราะห์ และตัดสินใจด้วยเหตุผลของตนเอง โดยไม่ใช้ ChatGPT เพื่อสร้างคำตอบหรือผลงานสำเร็จรูปแทนผู้เรียน

2. ระหว่างการทดลอง

ดำเนินการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้จำนวน 3 แผน แผนละ 4 คาบ รวม 12 คาบ คาบละ 50 นาที โดยนักศึกษากลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมเรียนเนื้อหาเดียวกัน ใช้ระยะเวลาในการเรียนเท่ากัน และได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยผู้สอนคนเดียวกัน เพื่อควบคุมความแตกต่างด้านเนื้อหา ระยะเวลา และผู้สอน อย่างไรก็ตาม ทั้งสองกลุ่มแตกต่างกันในส่วนของการใช้ ChatGPT เป็นเครื่องมือสนับสนุนกิจกรรมสะท้อนคิด

กลุ่มทดลอง ได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ ChatGPT ร่วมกับกิจกรรมสะท้อนคิด โดยนักศึกษาทุกคนใช้ ChatGPT เป็นเครื่องมือ Generative AI เช่นเดียวกัน และได้รับคำถามสะท้อนคิด (Reflective Prompts) และภาระงานตามกรอบกิจกรรมเดียวกัน เพื่อควบคุมเงื่อนไขของการทดลอง อย่างไรก็ตาม ลักษณะการสนทนาและคำถามต่อเนื่องกับ ChatGPT สามารถแตกต่างกันตามประเด็น คำตอบ และข้อสงสัยของนักศึกษาแต่ละคน

กลุ่มควบคุม ได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ในเนื้อหาเดียวกัน ใช้เวลาเรียนจำนวน 12 คาบ คาบละ 50 นาที และสอนโดยผู้สอนคนเดียวกับกลุ่มทดลอง โดยจัดการเรียนรู้ด้วยวิธีปกติ ประกอบด้วยการนำเข้าสู่บทเรียน การอธิบายเนื้อหา การใช้สื่อและเอกสารประกอบการเรียน การถาม–ตอบ การอภิปราย การทำแบบฝึกหัดหรือภาระงาน และการให้ข้อมูลย้อนกลับจากผู้สอน

นอกจากนี้กลุ่มควบคุมได้รับกิจกรรมสะท้อนคิดเช่นเดียวกันในด้านโครงสร้างหลักของกิจกรรม ได้แก่ การตอบคำถามสะท้อนคิด การวิเคราะห์ประสบการณ์หรือประเด็นการเรียนรู้ การเขียนบันทึกสะท้อนคิด และการทบทวนสิ่งที่ได้เรียนรู้ อย่างไรก็ตาม กลุ่มควบคุมไม่ได้ใช้ ChatGPT หรือ Generative AI ในทุกขั้นตอนของกิจกรรม การตั้งคำถาม การวิเคราะห์ การเปรียบเทียบข้อมูล และการเขียนสะท้อนคิดดำเนินการโดยอาศัยเนื้อหาที่เรียน เอกสารประกอบ แหล่งข้อมูลที่ผู้สอนกำหนด การอภิปรายกับเพื่อน และข้อมูลย้อนกลับจากผู้สอน

การกำหนดให้ทั้งสองกลุ่มมีกิจกรรมสะท้อนคิด แต่แตกต่างกันที่การใช้ ChatGPT ทำให้สามารถพิจารณาผลของการนำ Generative AI มาใช้เป็นเครื่องมือสนับสนุนกระบวนการสะท้อนคิดและการคิดเชิงวิพากษ์ได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ภายใต้เงื่อนไขที่เนื้อหา ระยะเวลา ผู้สอน และกิจกรรมหลักมีความใกล้เคียงกัน

3. การเก็บข้อมูลระหว่างการเรียนรู้ ระหว่างดำเนินกิจกรรม

ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลจากแบบประเมินการสะท้อนคิดและบันทึกการเรียนรู้ของนักศึกษา โดยพิจารณาคุณภาพของการสะท้อนคิดในด้านความลึกของการสะท้อนคิด การใช้หลักฐานประกอบเหตุผล การตั้งคำถาม การสังเคราะห์ความรู้ และการประเมินตนเอง เพื่อใช้ประกอบการวิเคราะห์กระบวนการเรียนรู้และพัฒนาการด้านการคิดเชิงวิพากษ์ของผู้เรียน

สำหรับกลุ่มทดลอง การประเมินให้ความสำคัญกับการที่ผู้เรียนสามารถนำข้อมูลหรือข้อเสนอแนะจาก ChatGPT มาตรวจสอบ วิเคราะห์ เปรียบเทียบ และสร้างข้อสรุปด้วยเหตุผลของตนเอง มากกว่าการยอมรับคำตอบจาก ChatGPT โดยตรง

4. หลังการทดลอง

ภายหลังสิ้นสุดการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ครบ 12 คาบ นักศึกษาทั้งกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมทำแบบวัดการคิดเชิงวิพากษ์หลังเรียน (Posttest) ด้วยแบบวัดชุดเดียวกับก่อนเรียน เพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของการคิดเชิงวิพากษ์ภายในแต่ละกลุ่ม และเปรียบเทียบผลการคิดเชิงวิพากษ์ระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม สำหรับนักศึกษากลุ่มทดลอง ดำเนินการเก็บข้อมูลความพึงพอใจที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ ChatGPT ร่วมกับกิจกรรมสะท้อนคิดภายหลังสิ้นสุดการทดลอง

5. การจัดเตรียมข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์

ดำเนินการตรวจสอบความครบถ้วนของข้อมูลจากแบบวัดการคิดเชิงวิพากษ์ แบบประเมินการสะท้อนคิด บันทึกการเรียนรู้ และแบบสอบถามความพึงพอใจ จากนั้นจัดเตรียมข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย

5.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลเชิงปริมาณวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) เพื่ออธิบายลักษณะของข้อมูล และใช้สถิติอ้างอิงเพื่อตอบวัตถุประสงค์การวิจัย ดังนี้

1. เปรียบเทียบคะแนนการคิดเชิงวิพากษ์ก่อนและหลังเรียนภายในของแต่ละกลุ่มด้วย Paired Samples t-test
2. เปรียบเทียบคะแนนการคิดเชิงวิพากษ์หลังเรียนระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมด้วย Independent Samples t-test
3. วิเคราะห์ค่าดัชนีประสิทธิผล (Effectiveness Index: EI) เพื่อประเมินความก้าวหน้าทางการเรียนรู้ของผู้เรียน
4. วิเคราะห์ความพึงพอใจของนักศึกษากลุ่มทดลองที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ โดยใช้ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) และแปลผลตามเกณฑ์มาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย 4.51–5.00 หมายถึง มากที่สุด, 3.51–4.50 หมายถึง มาก, 2.51–3.50 หมายถึง ปานกลาง, 1.51–2.50 หมายถึง น้อย และ 1.00–1.50 หมายถึง น้อยที่สุด
5. กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติสำหรับการทดสอบสมมติฐานที่ .05

6. ผลการวิจัย (Results)

ผลการวิจัยนำเสนอตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย ประกอบด้วย 1) เปรียบเทียบการคิดเชิงวิพากษ์ของนักศึกษาก่อนและหลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ร่วมกับกิจกรรมสะท้อนคิด 2) เปรียบเทียบการคิดเชิงวิพากษ์ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมหลังการทดลอง 3) ประสิทธิผลของการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ 4) ความพึงพอใจของนักศึกษากลุ่มทดลองที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้

6.1 ผลการเปรียบเทียบการคิดเชิงวิพากษ์ของนักศึกษาก่อนและหลังภายในของแต่ละกลุ่ม

ผลการเปรียบเทียบการคิดเชิงวิพากษ์ของนักศึกษาภายในกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม โดยนำเสนอค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ก่อนเรียน–หลังเรียน ตลอดจนผลการทดสอบค่าทีแบบกลุ่มตัวอย่างสัมพันธ์กัน ดังแสดงใน Table 1.

ISSN 2985-1580 (Print)
ISSN 2985-1599 (Online)
(Research Article)

Table 1. Comparison of Critical Thinking Development within the Experimental and Control Groups (Paired Samples t-test)

Group	Testing	n	$\bar{x}$	S.D.	t	df	p
Experimental	Pretest	22	12.59	1.44	31.04*	21	.000
	Posttest	22	26.32	1.36			
Control	Pretest	20	13.00	0.92	10.95*	19	.000
	Posttest	20	17.65	2.28			

Statistically significant at the .05 level.

เมื่อพิจารณาพบว่า นักศึกษากลุ่มทดลอง จำนวน 22 คน มีคะแนนเฉลี่ยการคิดเชิงวิพากษ์ก่อนเรียนเท่ากับ 12.59 (S.D. = 1.44) และหลังเรียนเท่ากับ 26.32 (S.D. = 1.36) โดยมีคะแนนเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 13.73 คะแนน ผลการทดสอบพบว่าคะแนนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ($t = 31.04$, $df = 21$, $p < .001$) สำหรับนักศึกษากลุ่มควบคุม จำนวน 20 คน มีคะแนนเฉลี่ยการคิดเชิงวิพากษ์ก่อนเรียนเท่ากับ 13.00 (S.D. = 0.92) และหลังเรียนเท่ากับ 17.65 (S.D. = 2.28) โดยมีคะแนนเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 4.65 คะแนน ผลการทดสอบพบว่าคะแนนหลังเรียนของทั้งสองกลุ่มสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ($t = 10.95$, $df = 19$, $p < .001$)

6.2 ผลการเปรียบเทียบการคิดเชิงวิพากษ์ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมหลังการทดลอง

ผลเปรียบเทียบการคิดเชิงวิพากษ์ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมหลังการทดลอง ดังแสดงใน Table 2

Table 2. Comparison of Posttest Critical Thinking Scores Between the Experimental and Control Groups (Independent Samples t-Test)

Group	n	$\bar{x}$	S.D.	t	df	p
Experimental Group	22	26.32	1.36	15.14*	40	<.001
Control Group	20	17.65	2.28			

Statistically significant at the .05 level.

จาก Table 2 นักศึกษากลุ่มทดลอง จำนวน 22 คน มีคะแนนเฉลี่ยการคิดเชิงวิพากษ์หลังเรียนเท่ากับ 26.32 (S.D. = 1.36) ขณะที่นักศึกษากลุ่มควบคุม จำนวน 20 คน มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 17.65 (S.D. = 2.28) เมื่อเปรียบเทียบกัน พบว่ากลุ่มทดลองมีคะแนนเฉลี่ยสูงกว่ากลุ่มควบคุม 8.67 คะแนน ผลการทดสอบทางสถิติพบว่า คะแนนการคิดเชิงวิพากษ์หลังการทดลองของกลุ่มทดลองสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ($t = 15.14$, $df = 40$, $p < .001$) แสดงให้เห็นว่า ภายหลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ นักศึกษากลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ ChatGPT ร่วมกับกิจกรรมสะท้อนคิดมีระดับการคิดเชิงวิพากษ์สูงกว่านักศึกษากลุ่มควบคุมที่ได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปกติร่วมกับกิจกรรมสะท้อนคิดโดยไม่ใช้ ChatGPT

6.3 ประสิทธิผลของการจัดกิจกรรมการเรียนรู้

ดำเนินการหาค่าดัชนีประสิทธิผลของการจัดกิจกรรมการเรียนรู้เพื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลรวมคะแนนการคิดเชิงวิพากษ์ก่อนเรียนและหลังเรียนกับคะแนนเต็ม ดังแสดงใน Table 3 พบว่า การจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ผ่านกิจกรรมสะท้อนคิด (กลุ่มทดลอง) มีค่าดัชนีประสิทธิผลเท่ากับ 0.5008 หรือคิดเป็นความก้าวหน้าทางการเรียนรู้ร้อยละ 50.08 ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน 0.50 แสดงว่านักศึกษากลุ่มทดลองมีความก้าวหน้าทางการเรียนรู้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ขณะที่การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปกติ (กลุ่มควบคุม) มีค่าดัชนีประสิทธิผลเท่ากับ 0.1722 หรือคิดเป็นความก้าวหน้าทางการเรียนรู้ร้อยละ 17.22 ซึ่งยังไม่ถึงเกณฑ์ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสองกลุ่ม จะเห็นได้ว่ากลุ่มทดลองมีความก้าวหน้าทางการเรียนรู้สูงกว่ากลุ่มควบคุมเกือบ 3 เท่า สะท้อนว่าการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ร่วมกับกิจกรรมสะท้อนคิดมีประสิทธิผลในการส่งเสริมการคิดเชิงวิพากษ์ของนักศึกษาได้จริง

Table 3. Effectiveness Index of the Learning Management Approaches by Group

Group	Sum of Pretest Scores	Sum of Posttest Scores	Maximum Possible Score (Full Score × n)	E.I.	Learning Progress (%)
Experimental Group	277	579	880	0.5008	50.08
Control Group	260	353	800	0.1722	17.22

6.4 ความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ของกลุ่มทดลอง

ดำเนินการศึกษาความพึงพอใจของนักศึกษากลุ่มทดลอง จำนวน 22 คน ที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ผ่านกิจกรรมสะท้อนคิด ด้วยแบบสอบถามมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ จำนวน 20 ข้อ 4 ด้าน พบว่า นักศึกษามีความพึงพอใจต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ผ่านกิจกรรมสะท้อนคิดโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.60, S.D. = 0.62) เมื่อพิจารณารายด้าน พบว่าทุกด้านอยู่ในระดับมากที่สุด โดยด้านที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดคือ ด้านที่ 1 กิจกรรมการเรียนรู้ ($\bar{x}$ = 4.65) รองลงมาคือ ด้านที่ 2 การใช้ปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ ($\bar{x}$ = 4.62) และด้านที่ 4 ประโยชน์ที่ได้รับ ($\bar{x}$ = 4.61) ส่วนด้านที่มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดคือ ด้านที่ 3 การส่งเสริมการคิดเชิงวิพากษ์ ($\bar{x}$ = 4.55) ดังแสดงใน Table 4

Table 4. Means and Standard Deviations of the Experimental Group's Satisfaction by Dimension

Assessment Dimension	$\bar{x}$	S.D.	Interpretation
Learning Activities	4.65	0.53	Highest
Use of Generative AI	4.62	0.53	Highest
Promotion of Critical Thinking	4.55	0.66	Highest
Perceived Benefits	4.61	0.63	Highest
Overall	**4.60**	**0.62**	**Highest**

7. สรุปผลการวิจัย (Conclusion)

การใช้ปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ร่วมกับกิจกรรมสะท้อนคิดเพื่อส่งเสริมการคิดเชิงวิพากษ์ของนักศึกษาระดับปริญญาตรี ผลการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ผลการเปรียบเทียบการคิดเชิงวิพากษ์ก่อนและหลังเรียนภายในแต่ละกลุ่ม พบว่า นักศึกษากลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ร่วมกับกิจกรรมสะท้อนคิด มีคะแนนเฉลี่ยการคิดเชิงวิพากษ์หลังเรียน ($\bar{x}$ = 26.32, S.D. = 1.36) สูงกว่าก่อนเรียน ($\bar{x}$ = 12.59, S.D. = 1.44) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (t = 31.04, p < .001) โดยมีคะแนนเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 13.73 คะแนน ส่วนกลุ่มควบคุมมีคะแนนเฉลี่ยหลังเรียน ($\bar{x}$ = 17.65, S.D. = 2.28) สูงกว่าก่อนเรียน ($\bar{x}$ = 13.00, S.D. = 0.92) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (t = 10.95, p < .001) โดยมีคะแนนเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 4.65 คะแนน แสดงให้เห็นว่าทั้งสองกลุ่มมีพัฒนาการด้านการคิดเชิงวิพากษ์ แต่กลุ่มทดลองมีพัฒนาการสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างชัดเจน

2. ผลการเปรียบเทียบการคิดเชิงวิพากษ์หลังเรียนระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม พบว่า นักศึกษากลุ่มทดลองมีคะแนนเฉลี่ยการคิดเชิงวิพากษ์หลังเรียน ($\bar{x}$ = 26.32, S.D. = 1.36) สูงกว่านักศึกษากลุ่มควบคุม ($\bar{x}$ = 17.65, S.D. = 2.28) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (t = 15.14, p < .001) สะท้อนให้เห็นว่าการใช้ปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ร่วมกับกิจกรรมสะท้อนคิดสามารถส่งเสริมการตั้งคำถาม การวิเคราะห์เชิงลึก การโต้แย้งหรือเปรียบเทียบ และการประยุกต์ใช้ความรู้ของนักศึกษาได้มากกว่าการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปกติ

3. ผลการศึกษาประสิทธิผลของการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ พบว่า การจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ร่วมกับกิจกรรมสะท้อนคิดมีค่าดัชนีประสิทธิผลเท่ากับ 0.5008 หรือคิดเป็นความก้าวหน้า

ISSN 2985-1580 (Print)
ISSN 2985-1599 (Online)
(Research Article)

ทางการเรียนรู้ร้อยละ 50.08 ซึ่งผ่านเกณฑ์ที่กำหนดไว้ที่ 0.50 และสูงกว่าการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปกติของกลุ่มควบคุม ซึ่งมีค่าดัชนีประสิทธิผลเท่ากับ 0.1722 หรือคิดเป็นความก้าวหน้าร้อยละ 17.22 แสดงว่าการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิผลในการส่งเสริมการเรียนรู้และการคิดเชิงวิพากษ์ของนักศึกษา

4. ผลการศึกษาความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ พบว่า นักศึกษากลุ่มทดลองมีความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.60, S.D. = 0.62) และมีความพึงพอใจทุกด้านอยู่ในระดับมากที่สุด โดยด้านกิจกรรมการเรียนรู้มีค่าเฉลี่ยสูงสุด ($\bar{x}$ = 4.65) รองลงมาคือด้านการใช้ปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ ($\bar{x}$ = 4.62) ด้านประโยชน์ที่ได้รับ ($\bar{x}$ = 4.61) และด้านการส่งเสริมการคิดเชิงวิพากษ์ ($\bar{x}$ = 4.55) ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่านักศึกษายอมรับและมีทัศนคติเชิงบวกต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้รูปแบบดังกล่าว

8. อภิปรายผลการวิจัย (Discussion)

8.1 ผลการเปรียบเทียบการคิดเชิงวิพากษ์ของนักศึกษาก่อนและหลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ภายในแต่ละกลุ่ม

ผลการวิจัยพบว่านักศึกษากลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ ร่วมกับกิจกรรมสะท้อนคิดมีคะแนนการคิดเชิงวิพากษ์หลังเรียน ($\bar{x}$ = 26.32, S.D. = 1.36) สูงกว่าก่อนเรียน ($\bar{x}$ = 12.59, S.D. = 1.44) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (t = 31.04, p < .001) โดยมีคะแนนเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 13.73 คะแนน ขณะเดียวกัน นักศึกษากลุ่มควบคุมซึ่งได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปกติร่วมกับกิจกรรมสะท้อนคิดโดยไม่ใช้ปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์มีคะแนนหลังเรียน ($\bar{x}$ = 17.65, S.D. = 2.28) สูงกว่าก่อนเรียน ($\bar{x}$ = 13.00, S.D. = 0.92) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (t = 10.95, p < .001) โดยมีคะแนนเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 4.65 คะแนน แสดงให้เห็นว่ากิจกรรมการเรียนรู้ของทั้งสองกลุ่มสามารถส่งเสริมพัฒนาการด้านการคิดเชิงวิพากษ์ได้ ผลที่ทั้งสองกลุ่มมีคะแนนสูงขึ้นสามารถอธิบายได้จากการที่นักศึกษาได้รับกิจกรรมสะท้อนคิดอย่างเป็นระบบ ซึ่งเปิดโอกาสให้ผู้เรียนตอบคำถามสะท้อนคิด วิเคราะห์ประสบการณ์ เขียนบันทึกสะท้อนคิด และทบทวนสิ่งที่ได้เรียนรู้ กระบวนการดังกล่าวทำให้ผู้เรียนไม่ได้รับข้อมูลเพียงอย่างเดียว แต่ต้องพิจารณาประสบการณ์ ความคิด และเหตุผลของตนเองอย่างรอบคอบ สอดคล้องกับแนวคิดของ Dewey (1933) ที่อธิบายว่าการเรียนรู้เกิดขึ้นจากการพิจารณาประสบการณ์อย่างตั้งใจ ต่อเนื่อง และอยู่บนพื้นฐานของหลักฐาน รวมทั้งแนวคิดของ Schön (1992) เกี่ยวกับการสะท้อนคิดระหว่างการปฏิบัติ (Reflection-in-Action) และหลังการปฏิบัติ (Reflection-on-Action) ซึ่งช่วยให้ผู้เรียนสามารถทบทวนและปรับปรุงกระบวนการคิดของตนเองได้ อย่างไรก็ตาม กลุ่มทดลองมีคะแนนเพิ่มขึ้นในเชิงพรรณนามากกว่ากลุ่มควบคุม ซึ่งอาจอธิบายได้ว่า ChatGPT เป็นเครื่องมือเพิ่มเติมที่ช่วยสร้างสถานการณ์ให้ผู้เรียนต้องตั้งคำถาม ตรวจสอบคำตอบ วิเคราะห์ข้อมูล เปรียบเทียบมุมมอง และปรับปรุงข้อสรุปของตนเองอย่างต่อเนื่อง โดยกิจกรรมในการวิจัยไม่ได้กำหนดให้ผู้เรียนยอมรับคำตอบจาก ChatGPT โดยตรง แต่ให้ใช้คำตอบดังกล่าวเป็นข้อมูลสำหรับการตรวจสอบและสะท้อนคิด กระบวนการนี้สัมพันธ์กับองค์ประกอบของการคิดเชิงวิพากษ์ ได้แก่ การตั้งคำถาม การวิเคราะห์ การประเมินเหตุผล การเปรียบเทียบ และการสร้างข้อสรุปบนพื้นฐานของหลักฐาน ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ Facione (1990) และแนวคิดการสะท้อนคิดเชิงวิพากษ์ของ Mezirow (1991)

8.2 ผลการเปรียบเทียบการคิดเชิงวิพากษ์ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมหลังการทดลอง

ภายหลังการทดลองนักศึกษากลุ่มทดลองมีคะแนนเฉลี่ยการคิดเชิงวิพากษ์ ($\bar{x}$ = 26.32, S.D. = 1.36) สูงกว่านักศึกษากลุ่มควบคุม ($\bar{x}$ = 17.65, S.D. = 2.28) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (t = 15.14, p < .001) โดยมีคะแนนเฉลี่ยสูงกว่ากลุ่มควบคุม 8.67 คะแนน ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ภายใต้เงื่อนไขที่ทั้งสองกลุ่มได้รับกิจกรรมสะท้อนคิดเช่นเดียวกัน การเพิ่ม ChatGPT เข้าไปเป็นเครื่องมือสนับสนุนกระบวนการสะท้อนคิดสัมพันธ์กับระดับการคิดเชิงวิพากษ์หลังเรียนที่สูงขึ้นของกลุ่มทดลอง ข้อค้นพบนี้อาจอธิบายได้จากบทบาทของ ChatGPT ในฐานะ “คู่คิดทางปัญญา” มากกว่าการเป็นแหล่งคำตอบสำเร็จรูป ผู้เรียนสามารถสนทนาโต้ตอบหลายรอบ ตั้งคำถามต่อคำตอบ ขอคำอธิบายเพิ่มเติม เปรียบเทียบมุมมอง และตรวจสอบเหตุผลที่ AI นำเสนอ ก่อนตัดสินใจสร้างข้อสรุปด้วยตนเอง กระบวนการดังกล่าวทำให้ผู้เรียนได้รับตัวอย่างทางความคิดที่หลากหลายกว่าการสะท้อนคิดจากเนื้อหา เอกสาร การอภิปราย และข้อมูลย้อนกลับจากผู้สอนเพียงอย่างเดียว โดยเฉพาะในขั้นการวิเคราะห์และเขียนบันทึกสะท้อนคิด ซึ่งการวิจัยกำหนดให้ผู้เรียนใช้กระบวนการคิดเชิงวิพากษ์ 4 ด้าน ได้แก่ การตั้งคำถาม (Inquiry) การวิเคราะห์เชิงลึก (In-Depth Analysis) การโต้แย้งหรือเปรียบเทียบ (Argumentation/Comparison) และการประยุกต์ใช้ความรู้ (Knowledge Application) ผลดังกล่าวสอดคล้องกับ Nasr et al.

(2025) ที่ชี้ให้เห็นว่าผู้เรียนที่มีปฏิสัมพันธ์กับ ChatGPT ภายใต้กรอบคำถามและการชี้นำอย่างเป็นระบบสามารถพัฒนากระบวนการสืบสอบจากการตั้งคำถามไปสู่การบูรณาการและการประยุกต์ใช้ความรู้ได้ ขณะที่ Al-Fattal (2025) ใช้หลักการให้ผู้เรียนสร้างคำตอบของตนเอง เปรียบเทียบกับผลผลิตของ AI และเขียนสะท้อนคิด ซึ่งช่วยกระตุ้นให้ผู้เรียนพิจารณาความแตกต่างของเหตุผลและตัดสินใจตามบริบท นอกจากนี้ Suriano et al. (2025) ยังชี้ว่าการใช้ Generative AI จะเกิดผลเชิงบวกต่อการเรียนรู้เมื่อผู้เรียนต้องวิพากษ์ ตรวจสอบ และประเมินผลลัพธ์จาก AI แทนการรับคำตอบไปใช้โดยตรง ดังนั้น ความแตกต่างระหว่างสองกลุ่มจึงไม่ได้หมายความว่า ChatGPT ทำหน้าที่คิดแทนผู้เรียน แต่สะท้อนถึงประโยชน์ของการออกแบบให้ ChatGPT เป็นตัวกระตุ้นกระบวนการคิด โดยผู้เรียนยังคงเป็นผู้ตรวจสอบหลักฐาน วิเคราะห์ความน่าเชื่อถือ เปรียบเทียบทางเลือก และตัดสินใจด้วยเหตุผลของตนเอง

8.3 ผลการศึกษาประสิทธิผลของการจัดกิจกรรมการเรียนรู้

การจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ ChatGPT ร่วมกับกิจกรรมสะท้อนคิดของกลุ่มทดลองมีค่าดัชนีประสิทธิผล (Effectiveness Index: E.I.) เท่ากับ 0.5008 หรือคิดเป็นความก้าวหน้าทางการเรียนรู้ร้อยละ 50.08 ซึ่งผ่านเกณฑ์ที่กำหนดไว้ที่ 0.50 ขณะที่กลุ่มควบคุมมีค่าดัชนีประสิทธิผลเท่ากับ 0.1722 หรือคิดเป็นความก้าวหน้าร้อยละ 17.22 ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่บูรณาการ ChatGPT เข้ากับกระบวนการสะท้อนคิดมีประสิทธิผลในการส่งเสริมความก้าวหน้าด้านการคิดเชิงวิพากษ์ของผู้เรียน ประสิทธิผลดังกล่าวอาจเกิดจากการจัดกิจกรรมที่ไม่ได้ใช้ ChatGPT เป็นเพียงเครื่องมือค้นหาหรือสร้างคำตอบ แต่กำหนดบทบาทของ AI ให้สนับสนุนกระบวนการคิดอย่างเป็นลำดับ ตั้งแต่การตั้งคำถาม การพิจารณาคำตอบ การตรวจสอบข้อมูล การเปรียบเทียบหลักฐาน การเขียนบันทึกสะท้อนคิด จนถึงการประยุกต์ใช้ความรู้ในสถานการณ์ใหม่ จึงทำให้การใช้ AI เชื่อมโยงกับกระบวนการคิดของผู้เรียนอย่างต่อเนื่อง ผลการวิจัยสอดคล้องกับ Sangnarin et al. (2025) ซึ่งพบว่าการเรียนรู้โดยใช้ความท้าทายเป็นฐานร่วมกับ Generative AI สามารถพัฒนาความสามารถในการคิดอย่างมีวิจารณญาณของผู้เรียนได้ และสอดคล้องกับ Suriano et al. (2025) ที่พบว่าการบูรณาการ Generative AI ร่วมกับการสะท้อนคิดมีประสิทธิผลมากขึ้นเมื่อใช้ร่วมกับแบบบันทึกสะท้อนคิด ภาระงานที่มีโครงสร้าง และการประเมินผลอย่างเป็นระบบ นอกจากนี้ Xu et al. (2025) ยังอธิบายว่าการสนับสนุนเชิงอภิปัญญาอย่างเป็นระบบในสภาพแวดล้อม Generative AI สามารถส่งเสริมการกำกับการเรียนรู้ด้วยตนเองและเพิ่มคุณภาพของประสบการณ์การเรียนรู้ได้ ผลดังกล่าวจึงสนับสนุนแนวคิดว่า ประสิทธิผลของ Generative AI ทางการศึกษาไม่ได้เกิดจากความสามารถของเทคโนโลยีเพียงลำพัง แต่ขึ้นอยู่กับการออกแบบภาระงาน คำถามสะท้อนคิด วิธีการตรวจสอบผลลัพธ์จาก AI และการกำกับของผู้สอนที่ทำให้ผู้เรียนยังคงมีบทบาทในการคิด วิเคราะห์ และตัดสินใจด้วยตนเอง

8.4 ผลการศึกษาความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ของกลุ่มทดลอง

ผลการวิจัยพบว่า นักศึกษากลุ่มทดลองมีความพึงพอใจต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ ChatGPT ร่วมกับกิจกรรมสะท้อนคิดโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.60, S.D. = 0.62) และเมื่อพิจารณารายด้านพบว่าทุกด้านอยู่ในระดับมากที่สุด โดยด้านกิจกรรมการเรียนรู้มีค่าเฉลี่ยสูงสุด ($\bar{x}$ = 4.65) รองลงมาคือด้านการใช้ปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ ($\bar{x}$ = 4.62) ด้านประโยชน์ที่ได้รับ ($\bar{x}$ = 4.61) และด้านการส่งเสริมการคิดเชิงวิพากษ์ ($\bar{x}$ = 4.55) ตามลำดับ สะท้อนให้เห็นว่าผู้เรียนยอมรับและมีทัศนคติเชิงบวกต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ดังกล่าว อาจเป็นผลจากลักษณะของกิจกรรมที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนมีปฏิสัมพันธ์กับ ChatGPT ได้อย่างต่อเนื่อง สามารถตั้งคำถามและได้รับข้อมูลย้อนกลับในทันที รวมทั้งได้รับมุมมองหรือแนวทางที่หลากหลายเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์และเขียนสะท้อนคิด ทำให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมกับกิจกรรมและสามารถเรียนรู้ตามประเด็นหรือข้อสงสัยของตนเองได้มากขึ้น อย่างไรก็ตาม การที่ด้านการส่งเสริมการคิดเชิงวิพากษ์ อาจสะท้อนว่าผู้เรียนรับรู้กระบวนการคิดเชิงวิพากษ์ว่าเป็นกิจกรรมที่ต้องใช้ความพยายามทางความคิดมากกว่าการรับรู้ความสะดวกหรือความน่าสนใจจากการใช้ AI โดยตรง ผลดังกล่าวสอดคล้องกับ Suriano et al. (2025) ที่รายงานว่าผู้เรียนมีความพึงพอใจในระดับสูงเมื่อปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ถูกบูรณาการร่วมกับการสะท้อนคิด และสอดคล้องกับ Nakbure & Leknoi (2025) ที่พบว่าการบูรณาการ AI ในกิจกรรมการเรียนรู้ระดับปริญญาตรีสัมพันธ์กับความพึงพอใจและการสะท้อนคิดเชิงบวกของผู้เรียน นอกจากนี้ Xu et al. (2025) ยังชี้ให้เห็นว่าปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ สามารถเพิ่มคุณภาพของประสบการณ์การเรียนรู้ได้เมื่อมีการสนับสนุนเชิงอภิปัญญาและการกำกับการใช้งานอย่างเหมาะสม ดังนั้น การสร้างความพึงพอใจในการเรียนรู้ด้วยปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ไม่ควรมุ่งเพียงความสะดวกหรือความรวดเร็วในการได้รับคำตอบ แต่ควรออกแบบให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการตั้งคำถาม ตรวจสอบข้อมูล เปรียบเทียบ

(Research Article)

มุมมอง สะท้อนคิด และสร้างข้อสรุปด้วยตนเอง โดยผู้สอนยังคงมีบทบาทสำคัญในการกำหนดเป้าหมาย กำกับกระบวนการและประเมินคุณภาพของการเรียนรู้

9. ข้อเสนอแนะงานวิจัย (Recommendation)

9.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1. ควรส่งเสริมการพัฒนาศักยภาพของอาจารย์ผู้สอนด้านการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ร่วมกับ ปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ รวมทั้งการใช้เทคนิค Prompt Engineering และการประเมินคุณภาพของผลลัพธ์ เพื่อให้สามารถใช้เทคโนโลยีดังกล่าวเป็นเครื่องมือสนับสนุนการเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีความรับผิดชอบ

2. ผู้สอนในระดับอุดมศึกษาควรประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ร่วมกับกิจกรรมสะท้อนคิดในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ โดยออกแบบกิจกรรมที่ส่งเสริมให้ผู้เรียนตั้งคำถาม วิเคราะห์ข้อมูล ประเมินความน่าเชื่อถือของคำตอบและสะท้อนคิดจากข้อมูลย้อนกลับของปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์มากกว่าการใช้เพื่อสร้างคำตอบเพียงอย่างเดียว

9.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรศึกษาผลของการใช้ปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ร่วมกับกิจกรรมสะท้อนคิดในระยะยาว เพื่อประเมินความคงทนของการพัฒนาการคิดเชิงวิพากษ์ รวมทั้งผลต่อการกำกับการเรียนรู้ด้วยตนเอง การคิดเชิงอภิปัญญา และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

2. ควรเปรียบเทียบประสิทธิผลของเครื่องมือปัญญาประดิษฐ์ที่แตกต่างกัน เช่น ChatGPT, Gemini, Claude, Microsoft Copilot หรือ AI Tutor และศึกษาลักษณะของการโต้ตอบกับ AI ที่ส่งผลต่อการพัฒนาการคิดเชิงวิพากษ์มากที่สุด

3. ควรศึกษาการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ร่วมกับรูปแบบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้อื่น เช่น การเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐาน (Problem-Based Learning: PBL) การเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐาน (Project-Based Learning: PjBL) ห้องเรียนกลับด้าน (Flipped Classroom) หรือการเรียนรู้แบบร่วมมือ (Collaborative Learning) เพื่อเปรียบเทียบผลต่อการพัฒนาการคิดเชิงวิพากษ์และสมรรถนะสำคัญของผู้เรียน

10. การเปิดเผยการใช้ปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ (Declaration of Generative AI)

งานวิจัยนี้ได้นำปัญญาประดิษฐ์โดยใช้โปรแกรม AI: ChatGPT ช่วยในการแปลบทคัดย่อจากภาษาไทยเป็นภาษาอังกฤษซึ่งช่วยลดความผิดพลาดจากการแปลด้วยตนเอง มีการใช้คำสั่งในการสร้างภาพประกอบจากข้อมูลที่ผ่านการวิเคราะห์ผล ทั้งนี้ปัญญาประดิษฐ์ไม่มีส่วนในการวิเคราะห์ตัวเลขที่ได้จากการทดลอง เนื้อหาทั้งหมดได้รับการตรวจสอบโดยคณะผู้วิจัย

11. การแสดงบทบาทผู้เขียน (CRediT Author Statement)

Wachira Morachat: Conceptualization, Methodology, Resources, Data Curation, Project Administration, Funding Acquisition, Investigation

Narach Chaichana: Validation, Formal Analysis, Writing-Original Draft, Writing-Review & Editing, Visualization, Supervision

12. เอกสารอ้างอิง (References)

Al-Fattal, A. (2026). You Do It, AI Does It, You Compare and Reflect: Exploring Reflective Learning With Generative AI in Principles of Marketing. *Journal of Marketing Education, 48*(2), 201–217. https://doi.org/10.1177/02734753251356691

Boonsouykhwan, S., Suthasinobon, K., & Wansudon, S. (2026). The Development of Critical Thinking in the Digital Age. *Patanasilpa Journal, 10*(1), 1-18. (In Thai)

Busabong, C. (2025). A Study of Artificial Intelligence (AI) Usage Behavior for Learning Among Graduate Students at Sisaket Rajabhat University. *Journal of Association of Professional Development of Educational Administration of Thailand, 7*(4), 91–105. (In Thai)

Darwin, Rusdin, D., Mukminatien, N., Suryati, N., Laksmi, E. D., & Marzuki. (2024). Critical Thinking in the AI Era: An Exploration of EFL Students' Perceptions, Benefits, and Limitations. *Cogent Education, 11*(1), 2290342. https://doi.org/10.1080/2331186X.2023.2290342

Dewey, J. (1933). *How We Think: A Restatement of the Relation of Reflective Thinking to the Educative Process*. D. C. Heath.

Facione, P. A. (1990). *Critical Thinking: A Statement of Expert Consensus for Purposes of Educational Assessment and Instruction*. American Philosophical Association.

Guo, L. (2022). How Should Reflection be Supported in Higher Education? - A Meta-Analysis of Reflection Interventions. *Reflective Practice*, *23*(1), 118–146. https://doi.org/10.1080/14623943.2021.1995856

Kanthong, S. (2021). Development of Learning Management for Enhancing Reflective Thinking of Student Teachers in Peace Education for Teachers Course, Princess of Naradhiwas University. *Princess of Naradhiwas University Journal of Humanities and Social Sciences, 8*(2), 180–197. (In Thai)

Lee, H.-Y., Chen, P.-H., Lin, C.-J., Huang, Y.-M., & Wu, T.-T. (2025). Leveraging ChatGPT for Personalized Reflective Learning in Programming Education: Effects on Self-Efficacy, Higher-Order Thinking, and Project Implementation Skills. *Education and Information Technologies, 30*(17), 24815–24854. https://doi.org/10.1007/s10639-025-13733-z

Mezirow, J. (1991). *Transformative Dimensions of Adult Learning*. Jossey-Bass.

Mingsiritham, K. (2023). ChatGPT and Education in the Digital Age. *Silpakorn Educational Research Journal, 15*(2), 1-10. (In Thai)

Nakbure, N., & Leknoi, U. (2025). Ethical Use of Generative AI in Research and Academic Writing for Publication of Graduate Students in Bangkok based on AI Literacy Concept *The Journal of Research and Academics, 8*(5), 319–340. (In Thai)

Nasr, N. R., Tu, C.-H., Werner, J., Bauer, T., Yen, C.-J., & Sujo-Montes, L. (2025). Exploring the Impact of Generative AI ChatGPT on Critical Thinking in Higher Education: Passive AI-Directed Use or Human–AI Supported Collaboration? *Education Sciences, 15*(9), 1198. https://doi.org/10.3390/educsci15091198

Paul, R., & Elder, L. (2021). *Critical Thinking: Tools for Taking Charge of Your Learning and Your Life (4th ed.)*. Rowman & Littlefield.

Phumkeaw, P. (2019). Development of a Model of Organizing for Learning For Enhancement of Reflective Thinking Ability of Student Teachers. *Journal of Educational Measurement Mahasarakham University, 25*(1), 188-205. (In Thai)

Saengngam, J., & Veepion, S. (2026). A Study of the Relationship between the Use of Peer Assessment and Critical Thinking Skills among Undergraduate Students in the Faculty of Education. *Nakkhabut Paritat Journal, 18*(1), 89-100. (In Thai)

Sangnarin, T., Diteeyont, W., & Chaivisit, S. (2025). A Study on the Effects of Integrating Generative AI with Reflective Thinking to Enhance Advanced Essay Writing Achievement of Grade 8 Students. *Journal of Educational Technology and Communications Faculty of Education Mahasarakham University, 8*(26), 141–151. (In Thai)

Schön, D. A. (1992). *The Reflective Practitioner: How Professionals Think in Action*. Routledge. https://doi.org/10.4324/9781315237473

Suriano, R., Plebe, A., Acciai, A., & Fabio, R. A. (2025). Student Interaction with ChatGPT Can Promote Complex Critical Thinking Skills. *Learning and Instruction, 95*, 102011. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2024.102011

Tredashe, I. (2025). Using Artificial Intelligence Technology to Develop Office Technology Skills of Pre-Service Teachers: A Classroom Action Research. Journal of Learning Innovation and Technology, 5(2), 159-169. (In Thai)

Xu, X., Qiao, L., Cheng, N., Liu, H., & Zhao, W. (2025). Enhancing Self‐Regulated Learning and Learning Experience in Generative AI Environments: The Critical Role of Metacognitive Support. *British Journal of Educational Technology, 56*(5), 1842–1863. https://doi.org/10.1111/bjet.13599

Zhai, N., Huang, Y., Ma, X., & Chen, J. (2023). Can Reflective Interventions Improve Students' Academic Achievement? A Meta-Analysis. *Thinking Skills and Creativity, 49*, 101373. https://doi.org/10.1016/j.tsc.2023.101373