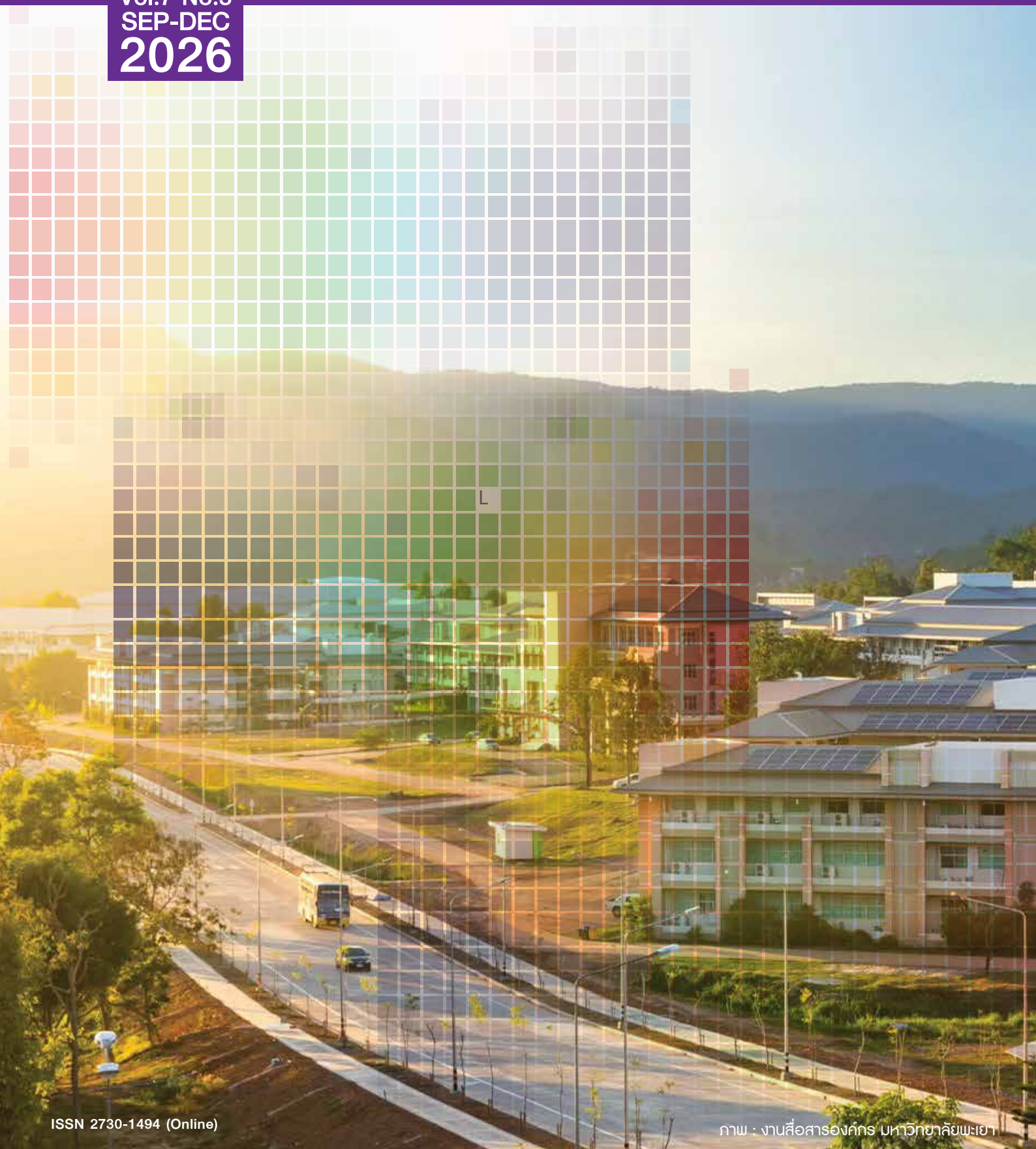
JSID
The Journal of Spatial Innovation Development

ปีที่ 7 ฉบับที่ 3
ก.ย.-ธ.ค. 2569
Vol.7 No.3
SEP-DEC
2026

วารสารวิชาการเพื่อการพัฒนานวัตกรรมเชิงพื้นที่

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา



ISSN 2730-1494 (Online)

ภาพ : งานสื่อสารองค์กร มหาวิทยาลัยพะเยา

วารสารวิชาการเพื่อการพัฒนานวัตกรรมเชิงพื้นที่

The Journal of Spatial Innovation Development (JSID)

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา

ปีที่ 7 ฉบับที่ 3 กันยายน – ธันวาคม พ.ศ. 2569

Vol. 7 No.3 September–December 2026

ISSN: 2730–1494 (Online)

1. ที่ปรึกษา

ศาสตราจารย์ ดร.มนัส สุวรรณ	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
ศาสตราจารย์ ดร.เสมอ ถาน้อย	มหาวิทยาลัยพะเยา
รองศาสตราจารย์ ดร.ฐิติรัตน์ เชี่ยวสุวรรณ	มหาวิทยาลัยพะเยา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรเทพ โรจนวสุ	มหาวิทยาลัยพะเยา

2. คณะทำงานวารสารวิชาการเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา

2.1 บรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นครินทร์ ชัยแก้ว	มหาวิทยาลัยพะเยา

2.2 รองบรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิติ เอี่ยมชื่น	มหาวิทยาลัยพะเยา

2.3 กองบรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร. สุพัตรา พุฒิเนาวรัตน์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
รองศาสตราจารย์ ดร.ภาติยะ พัฒนาศักดิ์	มหาวิทยาลัยรามคำแหง
รองศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล จี้ฟู	มหาวิทยาลัยพะเยา
รองศาสตราจารย์ ดร.คมศักดิ์ พินธะ	มหาวิทยาลัยพะเยา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริวัฒน์ บุญชัยศรี	มหาวิทยาลัยพะเยา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภพ แพงวังทอง	มหาวิทยาลัยพะเยา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรัชญา นวนแก้ว	มหาวิทยาลัยพะเยา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญศิริ สุขพร้อมสรรพ์	มหาวิทยาลัยพะเยา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บวรศักดิ์ ศรีสังสิทธิสันติ	มหาวิทยาลัยพะเยา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธิดาภัทร อนุชาญ	มหาวิทยาลัยพะเยา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาสพงษ์ รู้ทำนอง	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สาธิต แสงประดิษฐ์	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิทธิศักดิ์ หมูคำหล้า	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ เกตุอ๊อต	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประสาร อินทเจริญ	มหาวิทยาลัยบูรพา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปกรณ์ จันทร์อินทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธวัชระพงษ์ วงศ์สกุล	มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ เพ็ชรประยูร	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพล แก้วทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชูเดช โลศิริ	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษณ์วรา รัตนโอภาส	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ดร.สวรินทร์ ฤกษ์อยู่สุข	มหาวิทยาลัยพะเยา
ดร.จิราพร กุลสุนทรรัตน์	มหาวิทยาลัยพะเยา
ดร.พันธิการ์ วัฒนกุล	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
ดร.นัฐพงษ์ พวงแก้ว	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ดร.ติณณ์ ถิรกุลโตมร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วรุตม์ นาฑี	มหาวิทยาลัยทักษิณ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ใบชา วงศ์ตุ้ย	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นคเรศ ชัยแก้ว	มหาวิทยาลัยพะเยา
อาจารย์ชัชพงศ์ ภาชนะพรรณ์	มหาวิทยาลัยพะเยา
อาจารย์ภูมิพัฒน์ อุ่นบ้าน	มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

2.4 เลขานุการ

นางสาวประนอม เครือวัลย์

นางนุชรารัตน์ ถาวะดี

เจ้าของ: สาขาวิชาภูมิสารสนเทศศาสตร์ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร
มหาวิทยาลัยพะเยา 19 หมู่ 2 ตำบลแม่กา อำเภอเมืองพะเยา จังหวัดพะเยา 56000
โทรศัพท์ : 054-466666 ต่อ 2314

กำหนดออก: ปีละ 3 ฉบับ

วัตถุประสงค์: 1) เพื่อเผยแพร่บทความวิจัยและบทความวิชาการด้านเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศและการประยุกต์ใช้ ตลอดจนสาขาอื่นที่เกี่ยวข้องกับศาสตร์เชิงพื้นที่และการพัฒนานวัตกรรมเชิงพื้นที่
2) เพื่อส่งเสริมให้นักวิจัย นักวิชาการและบุคคลทั่วไป มีโอกาสเผยแพร่ผลงานวิชาการด้านเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศและการประยุกต์ใช้ และการพัฒนานวัตกรรมเชิงพื้นที่
3) เพื่อเป็นสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนความรู้ระหว่างบุคลากรทางการศึกษาและผู้ที่สนใจด้านเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศและการประยุกต์ใช้ และการพัฒนานวัตกรรมเชิงพื้นที่

เว็บไซต์ : http://rusid.ict.up.ac.th/index.php/rusidjournal/index

อีเมล์ : rusid@up.ac.th

➢ บทความวิจัยและบทความวิชาการทุกเรื่องได้รับการพิจารณากลั่นกรองโดยผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer review) จากทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย

➢ บทความ ข้อความ ภาพประกอบ และตาราง ที่ตีพิมพ์ลงวารสาร เป็นความคิดเห็นส่วนตัวของผู้เขียนเอง กองบรรณาธิการไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป และไม่มีส่วนรับผิดชอบใดๆ ถือว่าเป็นความรับผิดชอบของผู้เขียนแต่เพียงผู้เดียว

➢ บทความใดที่ผู้อ่านเห็นว่าได้มีการลอกเลียนหรือแอบอ้าง โดยปราศจากการอ้างอิงหรือทำให้เข้าใจผิดว่าเป็นผลงานของผู้เขียน กรุณาแจ้งให้ทางกองบรรณาธิการวารสารทราบ จะเป็นพระคุณยิ่ง

รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาประเมินบทความ
วารสารวิชาการเพื่อการพัฒนานวัตกรรมเชิงพื้นที่ (JSID)
ประจำปีที่ 7 ฉบับที่ 3 กันยายน – ธันวาคม พ.ศ. 2569
(Vol. 7 No.3 September–December 2026)

รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิ	สังกัดมหาวิทยาลัย
รองศาสตราจารย์ ดร.สุพัตรา พุฒิเนาวรัตน์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี
รองศาสตราจารย์ ดร.พัชนา ใจดี	มหาวิทยาลัยบูรพา
ผู้ช่วยศาตราจารย์ ดร.กฤษณ์วรา รัตนโอภาส	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผู้ช่วยศาตราจารย์ ดร.กฤติกา กันทวงค์	มหาวิทยาลัยพะเยา
ผู้ช่วยศาตราจารย์ ดร.จตุรงค์ สมอาจ	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิราพร กุลสุนทรรัตน์	มหาวิทยาลัยพะเยา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุลทรรศน์ คีรีแลง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา น่าน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เมษ์ธาวิน พลโยธี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คัมภีร์ ธีระเวช	มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิมพ์อมร โปร่งมณี	มหาวิทยาลัยศิลปากร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธิดาภัทร อนุชาญ	มหาวิทยาลัยพะเยา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปกรณ์ จันทร์อินทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา น่าน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปารณีย์ บุญไชย	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภพ แพงวังทอง	มหาวิทยาลัยพะเยา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิลาวัณย์ ประสมทรัพย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสน่ห์ แสงเงิน	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมคิด จูหว้า	มหาวิทยาลัยพะเยา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมบูรณ์ คำเตจา	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอนก ศรีสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์เพ็ชรสวัสดิ์ กันคำ	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วรวิทย์ ศุภวิมุติ	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ณัฐพล รังสฤษฎ์วรการ	มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิ	สังกัดมหาวิทยาลัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ทบทอง ชั้นเจริญ	มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สารภี จุลแก้ว	มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์มณีรัตน์ รัตนพันธ์	มหาวิทยาลัยหาดใหญ่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ใบชา วงศ์ตุ้ย	มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศราวุธ พงษ์ลี้รัตน์	มหาวิทยาลัยฟาร์อีสเทอร์น
ดร.สิริวรรณ รวมแก้ว	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต
ดร.รวี รัตนาคม	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต
ดร.วารุณี ประดิษฐ์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ดร.สิปปกานต์ กลัดสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ดร.เฌอริสา นันทา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.พรสวรรค์ ชัยมีแรง	มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
ดร.สุวลี ชูวาณิชย์	มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
ดร.ปรัชญา นวนแก้ว	มหาวิทยาลัยพะเยา
ดร.ชูศักดิ์ ยาทองไชย	มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์
อาจารย์ภูมิพัฒน์ อุ่นบ้าน	มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

บทบรรณาธิการ

วารสาร JSID นำเสนอผลงานทางวิชาการและงานวิจัยที่มุ่งเน้นการบูรณาการเทคโนโลยีสารสนเทศ นวัตกรรมดิจิทัล และการจัดการเชิงพื้นที่เพื่อตอบโจทย์การพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน โดยในฉบับนี้ประกอบด้วยบทความวิจัยและบทความวิชาการจำนวนทั้งสิ้น 14 เรื่อง ซึ่งจัดแบ่งตามกลุ่มประเด็นทางวิชาการได้ดังนี้

กลุ่มที่ 1 ด้านปัญญาประดิษฐ์และเทคโนโลยีสารสนเทศประยุกต์ "*การทำนายมะเร็งปอดจากภาพ CT scan โดยใช้ Convolutional Neural Network*" "*การออกแบบและพัฒนาระบบนำทางผู้พิการทางสายตาด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง*" "*การพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อตรวจนับจำนวนเมล็ดพืชจากภาพถ่ายโดยอัตโนมัติ*" และ "*การพัฒนาซอฟต์แวร์ตรวจจับวัตถุเคลื่อนที่และบันทึกภาพอัจฉริยะด้วยกล้อง webcam เพื่อการประยุกต์ใช้ในความปลอดภัยขององค์กรธุรกิจ*"

กลุ่มที่ 2 ด้านการพัฒนาระบบและการบริหารจัดการองค์กร "*การวิเคราะห์ปัจจัยความต้องการของผู้ใช้บริการงานไปรษณีย์กองกลาง มหาวิทยาลัยพะเยา*" "*การพัฒนาระบบการจัดเตรียมอุปกรณ์และวัสดุวิทยาศาสตร์ผ่านระบบออนไลน์ สำหรับการเรียนการสอนปฏิบัติการ สาขาจุลชีววิทยาและปรสิตวิทยา คณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ มหาวิทยาลัยพะเยา*" "*การพัฒนาแชทบอทแบบ Rule-Based เพื่อควบคุมมาตรฐานการจัดทำรายงานโครงการวิจัยของนักศึกษา*" และ "การพัฒนาและประเมินประสิทธิผลของรูปแบบการดูแลผู้ป่วยโรคไม่ติดต่อเรื้อรังด้วยการแพทย์ทางไกล แบบบูรณาการชุมชน โดยคณะกรรมการพัฒนาคุณภาพชีวิตระดับอำเภอคลองเขื่อน จังหวัดฉะเชิงเทรา"

กลุ่มที่ 3 ด้านภูมิสารสนเทศและสิ่งแวดล้อม "*การพัฒนาแบบจำลองการจำแนกพื้นที่ปลูกอ้อยด้วยภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-1 และ Sentinel-2*" **"***การประเมินความสัมพันธ์เชิงสถิติและการวิเคราะห์ความแปรผันเชิงช่วงเวลาของค่าความขุ่นด้วยข้อมูลดาวเทียมแบบอนุกรมเวลา บริเวณแม่น้ำกก จังหวัดเชียงราย*" และ "*การประเมินความหลากหลายและการกระจายตัวของสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกในพื้นที่อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่*"

กลุ่มที่ 4 ด้านการจัดการชุมชน การท่องเที่ยว และความยั่งยืน "*การจัดการขยะมูลฝอยแบบมีส่วนร่วมโดยใช้เทคโนโลยีและการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมเศรษฐกิจหมุนเวียนในเทศบาลเมืองกาญจนบุรี*" "*การประยุกต์ใช้การเรียนรู้เชิงลึกและการประมาณค่าความหนาแน่นแบบเคอร์เนลเพื่อระบุพื้นที่วิกฤต: กรณีศึกษาการจัดการการท่องเที่ยวอย่างยั่งยืนในภาคเหนือ*"

และบทความวิชาการเรื่อง "*การท่องเที่ยวเชิงอายุยืน: การสังเคราะห์วรรณกรรมอย่างเป็นระบบและทิศทางการวิจัยในบริบทประเทศไทย*" กองบรรณาธิการขอขอบพระคุณผู้นิพนธ์ทุกท่านที่ร่วมเผยแพร่ผลงาน และขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ได้ตรวจประเมินบทความเพื่อรักษามาตรฐานทางวิชาการ หวังเป็นอย่างยิ่งว่าองค์ความรู้ในฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาค้นคว้าและการต่อยอดทางวิชาการสืบไป

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นครินทร์ ชัยแก้ว

บรรณาธิการ

สารบัญ

บทความวิจัย

การวิเคราะห์ปัจจัยความต้องการของผู้ใช้บริการงานไปรษณีย์กองกลาง มหาวิทยาลัยพะเยา 1
กฤษณะ ทุ่งหลวง, สาวิตรี นะงอลา, อุณาโลม อนุพันธ์, กรรณาภรณ์ อินทชัย และ ฟ้า เชื้อหงษ์ทอง

การทำนายมะเร็งปอดจากภาพ CT scan โดยใช้ Convolutional Neural Network 20
จิรายุ ทองคำ, ชุตินันท์ สวยสม และ เสถียร หันตา

การออกแบบและพัฒนาระบบนำทางผู้พิการทางสายตาด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง 39
วิรัญชนา อวนศรี, ปกป้อง อุปทะ และเสถียร หันตา

การพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อตรวจนับจำนวนเมล็ดพืชจากภาพถ่ายโดยอัตโนมัติ 54
วิทยา บุญสุข

การพัฒนาระบบการจัดเตรียมอุปกรณ์และวัสดุวิทยาศาสตร์ผ่านระบบออนไลน์ 64
สำหรับการเรียนการสอนปฏิบัติการ สาขาจุลชีววิทยาและปรสิตวิทยา
คณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ มหาวิทยาลัยพะเยา
วาสนา เมืองวงค์

การพัฒนาแชทบอทแบบ Rule-Based เพื่อควบคุมมาตรฐานการจัดทำรายงาน 81
โครงการวิจัยของนักศึกษา
ทิพย์วรรณ ฟูเฟื่อง, สาธิต สุวรรณเวช และ ขนิษฐา สิทธิเทียมจันทร์

การประยุกต์ใช้การเรียนรู้เชิงลึกและการประมาณค่าความหนาแน่นแบบเคอร์เนล 95
เพื่อระบุพื้นที่วิกฤต: กรณีศึกษาการจัดการการท่องเที่ยวอย่างยั่งยืนในภาคเหนือ
ทบทอง ชั้นเจริญ, สุวิชยะ รัตตะรมย์, ทวีศักดิ์ สัมมา และ ภูมิพัฒน์ อุ่นบ้าน

การพัฒนาซอฟต์แวร์ตรวจจับวัตถุเคลื่อนที่และบันทึกภาพอัจฉริยะด้วยกล้อง webcam 109
เพื่อการประยุกต์ใช้ในความปลอดภัยขององค์กรธุรกิจ
วิทยา บุญสุข, จิ่ม ยืนนาน และ วัฒนา ศรีวรมย์

สารบัญ

บทความวิจัย

การประเมินความสัมพันธ์เชิงสถิติและการวิเคราะห์ความแปรผันเชิงช่วงเวลาของ 122
ค่าความขุ่นด้วยข้อมูลดาวเทียมแบบอนุกรมเวลา บริเวณแม่น้ำกก จังหวัดเชียงราย
ภูมิพัฒน์ อุ่นบ้าน, อพิชญา กันเกิด, คัมภีร์ ธีระเวช และ นิทัศน์ นิลฉวี

การประเมินความหลากหลายและการกระจายตัวของสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก 145
ในพื้นที่อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่
พิชชาภรณ์ อธิษฐ์โภคินโชค, เกรียงไกร สีตะพันธุ์, อาทิตยา วงศ์วุฒิ,
ปริญญา ภวังคนันทน์ และ ฉัตรมงคล สุวรรณภูมิ

การจัดการขยะมูลฝอยแบบมีส่วนร่วมโดยใช้เทคโนโลยีและการเรียนรู้ 159
เพื่อส่งเสริมเศรษฐกิจหมุนเวียนในเทศบาลเมืองกาญจนบุรี
ณรงค์ศักดิ์ เถื่อนใย, สร้อยเพชร ลิสนิ และ พจนีย์ สุขชาวนา

การพัฒนาแบบจำลองการจำแนกพื้นที่ปลูกอ้อยด้วยภาพถ่ายจากดาวเทียม 173
Sentinel-1 และ Sentinel-2
อาเขต สุขสมนึก, อสมาภรณ์ สิทธิ และ ชูเดช โลศิริ

การพัฒนาและประเมินประสิทธิผลของรูปแบบการดูแลผู้ป่วยโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง 195
ด้วยการแพทย์ทางไกล แบบบูรณาการชุมชน โดยคณะกรรมการพัฒนาคุณภาพชีวิต
ระดับอำเภอคลองเขื่อน จังหวัดฉะเชิงเทรา
วิพัชรินทร์ ทรงเดชาพิพัฒน์

บทความวิชาการ

การท่องเที่ยวเชิงอายุยืน: การสังเคราะห์วรรณกรรมอย่างเป็นระบบและ 210
ทิศทางการวิจัยในบริบทประเทศไทย
วารัชต์ มัธยมบุรุษ, กิตติพิชญ์ กิตติพรไพบูลย์ และ ธนาภรณ์ ภู่พฤกษชาติ

คำแนะนำสำหรับผู้นิพนธ์ 225

Table of Contents

Research Article

An Analysis of User Needs Factors for Postal Services at Division of General Affairs, University of Phayao 1

Krisana Thungluang, Sawitree Nangola, Unalom Anuphan, Kannaporn Intachai and Fah Chueahongthong

Lung Cancer Prediction from CT Scan Images Using Convolutional Neural Network 20

Jirayu Thongkam, Chutinun Suaysom and Sathien Hunta

Design and Development of a Navigation System for the Visually Impaired Using the Internet of Things 39

Wirunchana Aounsri, Pokpong Aupata and Sathien Hunta

Applying of Software for Automatic Seed Counting from Photographic Images 54

Witthaya Boonsuk

Development of Online System for Preparation of Instrument and Equipment for Laboratory Teaching at Division of Microbiology and Parasitology, School of Medical Sciences, University of Phayao 64

Wasana Muangwong

Development of a Rule–Based Chatbot for Standardizing Undergraduate Research Project Report Preparation 81

Thipwan Fufaung, Sathit Suwannawach and Khanittha Sittitiamjan

Deep Learning and Kernel Density Estimation for Critical Area Identification: A Sustainable Tourism Management Case Study in Northern Thailand 95

Tobthong Chancharoen, Suwitchaya Rattarom, Taweesak Samma and Phummipat Oonban

Table of Contents

Research Article

Development of Intelligent Motion–Detection and Image–Recording Software Using a Webcam for Application in Business Organization Security 109

Witthaya Boonsuk, Jim Yuennan and Watthana Sriwarom

Statistical Relationship Assessment and Temporal Variability Analysis of Water Turbidity Using Satellite Time–Series Data in the Kok River, Chiang Rai Province 122

Phummipat Oonban, Apichaya Kangerd, Kumpee Teeravech and Nitat Ninchawee

Assessment of Amphibian Diversity and Distribution in Doi Saket District, Chiang Mai Province, Thailand 145

Pitchaphon Athitphokinchok, Kriengkrai Seetapan, Athitaya Wongwut, Parinya Pawangkhanant and Chatmongkon Suwannapoom

Participatory Solid Waste Management Using Technology and Learning Approaches to Promote a Circular Economy in Kanchanaburi Municipality, Thailand 159

Narongsak Theanyai, Sroypet Lissani and Photjanee Sukchaona

Development of a Sugarcane Plantation Classification Model Using Sentinel–1 and Sentinel–2 Satellite Imagery 173

Arket Sooksomnuek, Asamaporn Sitthi and Chudech Losiri

Development and Effectiveness Evaluation of a Community–Integrated Telemedicine Care Model for Patients with Noncommunicable Diseases through 195

Wipatcharin Songdechapipat

Academic Article

Longevity Tourism: A Systematic Literature Synthesis and Research Directions in the Thai Context 210

Warach Madhyamapurush, Kittipit Kittipornpaiboon and Tanaporn Poopruekssachat

Instruction for Author 225

การวิเคราะห์ปัจจัยความต้องการของผู้ใช้บริการงานไปรษณีย์กองกลาง มหาวิทยาลัยพะเยา

กฤษณะ ทุ่งหลวง[1], สาวิตรี นะงอลา[2*], อุณาโลม อนุพันธ์[1], กรรณาภรณ์ อินทชัย[2] และ ฟ้า เชื้อหงษ์ทอง[2]

An Analysis of User Needs Factors for Postal Services at Division of General Affairs, University of Phayao

Krisana Thungluang[1], Sawitree Nangola[2*], Unalom Anuphan[1], Kannaporn Intachai[2] and Fah Chueahongthong[2]

[1] Postal Service at Division of General Affairs, University of Phayao, Phayao, 56000

[2] School of Allied Health Sciences, University of Phayao, Phayao, 56000

*Corresponding author: sawitree.na@up.ac.th

Received: 8 July 2025; Revised: 6 October 2025; Accepted: 21 October 2025

บทคัดย่อ

งานไปรษณีย์กองกลาง มหาวิทยาลัยพะเยา มีหน้าที่ในการรับส่งเอกสารและไปรษณีย์ภัณฑ์ของหน่วยงานต่าง ๆ ภายในมหาวิทยาลัย โดยมีเจ้าหน้าที่ให้บริการร่วมกับระบบ UP Postal ซึ่งพบว่ายังไม่เคยมีการสำรวจและวิเคราะห์ความต้องการของผู้ใช้บริการมาก่อน ทำให้การพัฒนางานไม่ตอบสนองต่อความต้องการของผู้รับบริการ การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยความต้องการของผู้รับบริการ และวิเคราะห์เปรียบเทียบการให้ความสำคัญต่อปัจจัยแต่ละด้าน ทำการเก็บข้อมูลโดยใช้แบบสอบถามจำนวน 73 คน ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติ พบว่าผู้ใช้บริการให้ความสำคัญกับทุกปัจจัยในระดับมาก ในด้านการใช้ระบบ UP Postal และผลการให้บริการ ปัจจัยที่สำคัญที่สุด คือ ความง่ายและความรวดเร็วในการเข้าใช้งานระบบ UP postal และความประทับใจที่ได้รับจากการบริการ ผลการเปรียบเทียบตามช่วงอายุพบว่า กลุ่มอายุ 35 ปีขึ้นไปให้ความสำคัญต่อการใช้งานระบบ UP Postal และสิ่งอำนวยความสะดวกมากกว่ากลุ่มอายุ 18–24 ปี ($p<0.05$) ผลการเปรียบเทียบตามอาชีพพบว่า เจ้าหน้าที่สายสนับสนุนให้ความสำคัญกับระบบการค้นหาไปรษณีย์และสิ่งอำนวยความสะดวกมากกว่านักเรียน/นิสิต ($p<0.05$) ผลการเปรียบเทียบตามลักษณะการใช้บริการพบว่า กลุ่มที่ทั้งรับและส่งไปรษณีย์ให้ความสำคัญกับทุกปัจจัยมากกว่ากลุ่มที่รับเพียงอย่างเดียว ($p<0.05$) ผลการวิจัยนี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงและพัฒนาระบบบริการงานไปรษณีย์กองกลาง ให้ตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้บริการแต่ละกลุ่มอย่างเหมาะสม

คำสำคัญ: งานไปรษณีย์กองกลาง, มหาวิทยาลัยพะเยา, ความต้องการของผู้ใช้บริการ, ปัจจัยในการใช้บริการ

---

[1] งานไปรษณีย์กองกลาง มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

[2] คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

Abstract

Postal Services at Division of General Affairs, University of Phayao responsible for the delivery and receipt of documents and parcels across various departments. The service is supported by personnel and the "UP Postal" system. Previously, user needs had never been systematically surveyed or analyzed resulting in a lack of targeted improvements to meet their expectations. This research aimed to investigate the factors influencing user needs and to compare the importance placed on various service aspects by different user groups. In this study, the data was collected from 73 service users *via* questionnaires and evaluated using descriptive and non–parametric statistics. The findings revealed that users considered all factors to be of high importance, especially the use of the UP Postal system and service outcomes. The most critical factor in the system aspect was its user–friendliness and efficiency, while in the service outcome aspect, it was the overall positive impression of the service. Age–based comparisons revealed that users aged 35 and above placed significantly greater importance on the UP Postal system and service facilities than those aged 18–24 ($p<0.05$). Support staff considered the search function and facilities significantly more important than students ($p<0.05$). Therefore, users who both sent and received mail rated all service aspects significantly higher than those who only received mail ($p<0.05$). These findings can be applied to improve and develop the postal services in alignment with the specific needs of different user groups.

Keywords: The Postal Service of General Affairs, University of Phayao, User Needs, Factors Related to Service Usage

Introduction

การบริหารจัดการระบบสารสนเทศและการบริการด้านไปรษณีย์ภายในองค์กรถือเป็นกลไกสำคัญที่ช่วยสนับสนุนภารกิจหลักของหน่วยงาน ทั้งในด้านการบริหารงาน การติดต่อสื่อสาร และการส่งต่อเอกสารหรือพัสดุระหว่างบุคลากรและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง (สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา, 2563) งานไปรษณีย์กองกลาง มหาวิทยาลัยพะเยา เป็นหน่วยงานที่มีหน้าที่ให้บริการรับส่งเอกสารและไปรษณียภัณฑ์ระหว่างหน่วยงานทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย โดยมีการนำระบบสารสนเทศภายในมหาวิทยาลัย คือ ระบบ UP Postal (https://doga.up.ac.th/postal/Main/DefaultPage/default.aspx) เข้ามาช่วยสนับสนุนการดำเนินงานในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์ ในการจัดการข้อมูล การบันทึกข้อมูล การค้นหาไปรษณีย์ และการติดตามสถานะการจัดส่งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการให้บริการ

เนื่องจากที่ผ่านมาไม่มีการสำรวจและวิเคราะห์ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับปัจจัยความต้องการและความสำคัญของแต่ละองค์ประกอบในการให้บริการ ทำให้การพัฒนาการบริการในบางด้านยังไม่ตอบโจทย์ต่อความต้องการผู้ใช้งานอย่างแท้จริง จากงานวิจัยด้านคุณภาพการบริการพบว่า ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความพึงพอใจของผู้ใช้บริการประกอบด้วยหลายปัจจัย ได้แก่ ความสะดวกในการเข้าถึง ความรวดเร็วในการให้บริการ ความเป็นมิตรของบุคลากร และความครบถ้วนของอุปกรณ์อำนวยความสะดวก (Oliver, 1997; ปวีณา และคณะ, 2564) นอกจากนี้งานวิจัยในระดับมหาวิทยาลัยหลายแห่ง เช่น มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ พบว่าความสะดวกในการเข้าถึงระบบ ความรวดเร็วในการบริการ การมีอุปกรณ์สนับสนุนที่ครบถ้วน ตลอดจนทัศนคติและความเป็นมืออาชีพของเจ้าหน้าที่ให้บริการ เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของงานให้บริการภายในองค์กร (ปวีณา และ คณะ, 2564; Thanaporn & Surapol, 2022) ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดที่อธิบายถึงคุณภาพการให้บริการ (Service Quality) ขึ้นอยู่กับความคาดหวังและประสบการณ์ที่ได้รับของผู้ใช้บริการ (Parasuraman et al., 1988) เช่นเดียวกับแนวคิดเรื่องการพัฒนา

องค์กรภาครัฐแนวใหม่ที่เน้นย้ำถึงความจำเป็นในการรับฟังเสียงของผู้รับบริการ เพื่อออกแบบระบบบริการที่มีความสอดคล้องกับความคาดหวังของผู้ใช้งานอย่างแท้จริง (Denhardt & Denhardt, 2003) การศึกษาความต้องการของผู้ใช้บริการในแต่ละองค์กรจึงเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อการพัฒนาระบบการให้บริการที่มีประสิทธิภาพและตอบสนองต่อความคาดหวังของผู้ใช้บริการได้อย่างเหมาะสม

อย่างไรก็ตาม งานศึกษาที่มุ่งเน้นวิเคราะห์ “ปัจจัยความต้องการของผู้ใช้บริการ” ในบริบทของหน่วยงานไปรษณีย์ภายในสถาบันอุดมศึกษายังมีจำนวนน้อย และไม่พบข้อมูลเชิงสถิติที่แสดงให้เห็นความแตกต่างของความต้องการระหว่างกลุ่มผู้ใช้บริการในด้านต่าง ๆ เช่น อายุ อาชีพ หรือรูปแบบการใช้บริการ แม้ว่างานไปรษณีย์กองกลางจะมีโครงสร้างระบบการทำงาน เจ้าหน้าที่ประจำงานไปรษณีย์ และเครื่องมือที่พร้อมใช้งาน แต่การพัฒนาและปรับปรุงการให้บริการกลับขาดข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับความต้องการที่แท้จริงของผู้รับบริการ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยความต้องการของผู้รับบริการที่มีต่อการใช้บริการงานไปรษณีย์กองกลาง มหาวิทยาลัยพะเยา โดยวิเคราะห์ใน 5 ด้านหลัก ได้แก่ (1) การใช้ระบบ UP Postal (2) กระบวนการให้บริการ (3) การให้บริการของเจ้าหน้าที่ (4) สิ่งอำนวยความสะดวก และ (5) ผลการให้บริการ พร้อมทั้งวิเคราะห์เปรียบเทียบปัจจัยที่มีผลต่อความต้องการโดยพิจารณาตามกลุ่มอายุ อาชีพ และลักษณะการรับบริการงานไปรษณีย์ ซึ่งผลการศึกษานี้จะเป็นแนวทางสำคัญในการพัฒนาระบบงานไปรษณีย์ภายในมหาวิทยาลัยให้ตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้บริการในทุกกลุ่มอย่างมีประสิทธิภาพและตรงเป้าหมายมากยิ่งขึ้น

Objectives

1. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ปัจจัยความต้องการของผู้ใช้บริการงานไปรษณีย์กองกลาง มหาวิทยาลัยพะเยาในภาพรวมด้านระบบการให้บริการ ได้แก่ กระบวนการให้บริการ สิ่งอำนวยความสะดวก และผลการให้บริการ ระบบ UP postal และการให้บริการของเจ้าหน้าที่

2. เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบความต้องการของผู้ใช้บริการงานไปรษณีย์กองกลาง มหาวิทยาลัยพะเยา แต่ละกลุ่มได้แก่ อายุ อาชีพ และลักษณะการใช้บริการงานไปรษณีย์

Conceptual framework

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความต้องการของผู้ใช้บริการงานไปรษณีย์กองกลาง มหาวิทยาลัยพะเยา โดยการเก็บข้อมูลโดยใช้แบบสอบถามออนไลน์ และนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์และเปรียบเทียบเพื่อให้ทราบถึงความต้องการของผู้ใช้บริการในปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการให้บริการด้านต่าง ๆ เพื่อนำไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาและปรับปรุงการให้บริการงานไปรษณีย์ให้เหมาะสมกับผู้ใช้บริการแต่ละกลุ่ม รวมทั้งยังเป็นแนวทางในการนำไปพัฒนาระบบหรือนวัตกรรมในการให้บริการงานไปรษณีย์ให้ดียิ่งขึ้น

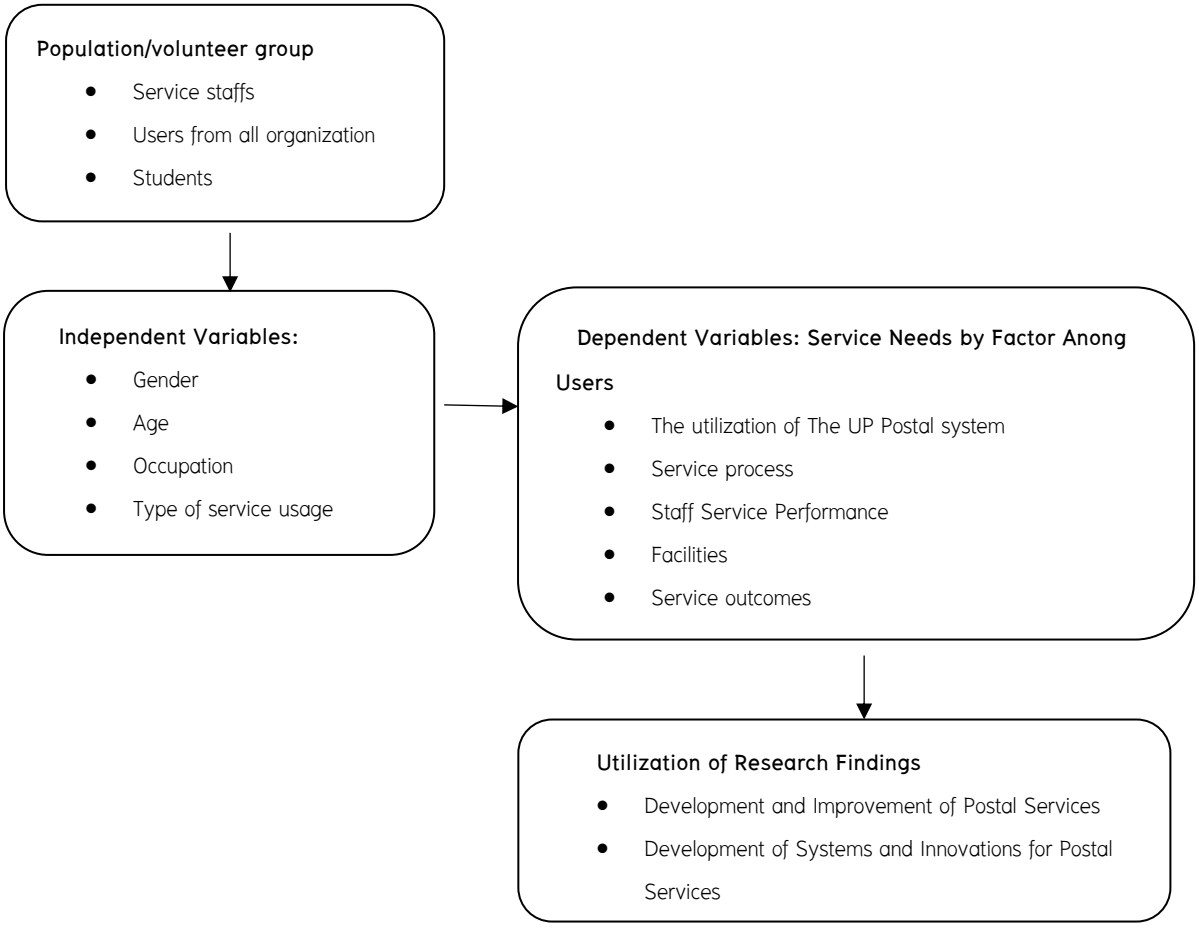


Figure 1 Conceptual framework

Methodology

1. รูปแบบการวิจัย

Cross-sectional descriptive study ศึกษาเกี่ยวกับความต้องการของผู้ใช้บริการงานไปรษณีย์กองกลาง มหาวิทยาลัยพะเยา โดยใช้แบบสอบถามออนไลน์ ซึ่งทำการเก็บข้อมูลช่วงระหว่างวันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2568 ถึง วันที่ 28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2568 ณ ห้องไปรษณีย์กองกลาง ดังแสดงรูปสถานที่ให้บริการ และตัวอย่างหน้าจอระบบ UP Postal (https://doga.up.ac.th/postal/Main/DefaultPage/default.aspx) ใน Figure 2

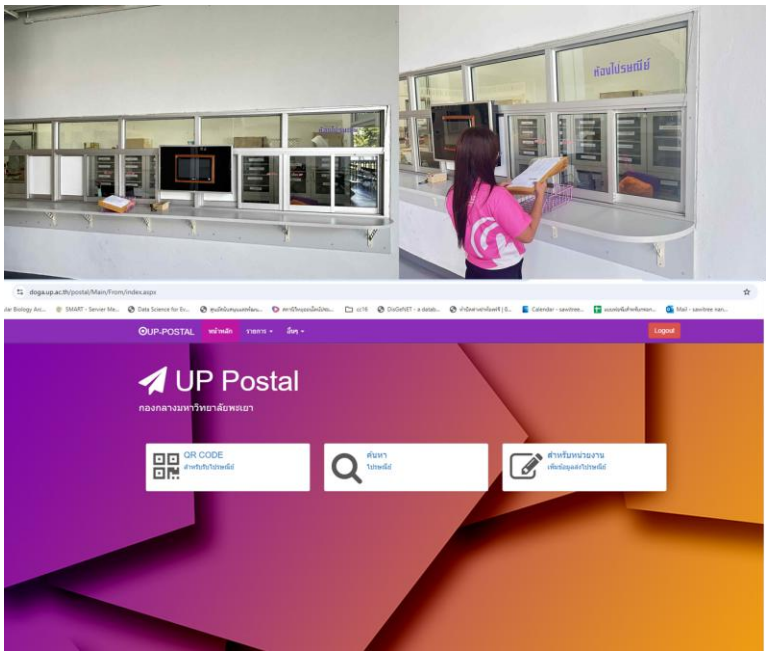


Figure 2 The postal service facility at Division of General Affairs, University of Phayao

Upper figures – Service area

Lower figure – Webpage of UP Postal system

2. ประชากรและกลุ่มตัวอย่างในการศึกษา

ประชากร บุคลากรมหาวิทยาลัยพะเยา นิสิต และนักเรียนโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยพะเยา

กลุ่มตัวอย่าง การเลือกแบบเฉพาะเจาะจง จากผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในการใช้บริการงานไปรษณีย์กองกลาง มหาวิทยาลัยพะเยา ประกอบด้วย เจ้าหน้าที่ผู้ให้บริการ เจ้าหน้าที่จากหน่วยงานต่าง ๆ นิสิต และนักเรียนจาก โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยพะเยา จากสถิติการใช้งานย้อนหลัง พบว่ามีจำนวนผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทั้งหมด 85 คน และ เมื่อคำนวณจำนวนอาสาสมัครตามตารางของ Krejcie และ Morgan (1970) จะทำให้ได้จำนวนตัวแทนของอาสาสมัคร 73 คน ดังแสดงใน Table 1

Table 1 Number of users of the postal service at Division of General Affairs and Number of Research Volunteers

Population		Number of users	Number of volunteers
Personnel from various faculties		27	23
Personnel from various divisions within the university		38	32
Lecturers and students (average number per month)		20	17
	Total	**85**	**73**

3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นแบบสอบถาม (Questionnaire) ในรูปแบบออนไลน์เพื่อเก็บข้อมูล แบ่งเป็น 2 ตอน คือ

ตอนที่ 1 ข้อมูลพื้นฐานผู้ให้ข้อมูล ได้แก่ อายุ เพศ อาชีพ และการใช้บริการงานไปรษณีย์

ตอนที่ 2 ความต้องการของผู้ใช้บริการงานไปรษณีย์ มีทั้งหมด 29 ข้อ เป็นการตอบแบบสอบถามแบบมาตราส่วน (Rating scale) 5 ระดับ โดยแต่ละคะแนนแสดงถึงการมีความต้องการหรือให้ความสำคัญที่ระดับแตกต่างกัน ดังนี้

คะแนน	ระดับ
5	มากที่สุด
4	มาก
3	ปานกลาง
2	น้อย
1	น้อยที่สุด

4. ขั้นตอนการสร้างแบบสอบถาม

การสร้างเครื่องมือเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยมีขั้นตอนในการดำเนินงานดังต่อไปนี้

4.1 ศึกษาเอกสารแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการให้บริการงานไปรษณีย์ เพื่อนำประเด็นที่เกี่ยวข้องมาปรับปรุงและใช้เป็นแนวทางในการสร้างแบบสอบถาม (กฤษกร ชั้นแสงทอง, 2559 และ พรรณี มูลบุตร, 2562)

4.2 สร้างแบบสอบถามโดยให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ กรอบแนวคิดของงานวิจัยนี้ ประเมินคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน และแก้ไขตามคำแนะนำ

4.3 สร้างแบบสอบถามในรูปแบบออนไลน์ และประชาสัมพันธ์โครงการโดยใช้โปสเตอร์ที่มี QR code สำหรับการให้ความยินยอมเข้าร่วมการวิจัยและการเข้าตอบแบบสอบถาม โดยไม่มีการระบุตัวตนผู้ตอบแบบสอบถาม

5. การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติ

5.1 ข้อมูลพื้นฐานได้แก่ อายุ เพศ อาชีพ และลักษณะการรับบริการงานไปรษณีย์ ใช้สถิติพรรณนาวิเคราะห์หาค่าความถี่ และค่าร้อยละ

5.2 ข้อมูลความต้องการของผู้ใช้บริการแต่ละปัจจัยในภาพรวม วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ค่าเฉลี่ย (Mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และแบ่งค่าเฉลี่ยเป็น 5 ระดับความสำคัญของการให้บริการ โดยใช้เกณฑ์ประมาณค่าของ Best (1978) โดยแปลความหมายเป็นระดับความสำคัญของปัจจัยของการให้บริการดังนี้

ค่าคะแนนเฉลี่ย	ความหมาย
4.50–5.00	มากที่สุด
3.50–4.49	มาก
2.50–3.49	ปานกลาง
1.50–2.49	น้อย
1.00–1.49	น้อยที่สุด

5.3 การเปรียบเทียบความต้องการแต่ละปัจจัย ของผู้ใช้บริการแต่ละกลุ่ม จำแนกตาม อายุ อาชีพ และลักษณะการรับบริการงานไปรษณีย์ เนื่องจากข้อมูลมีการกระจายตัวไม่ปกติ การวิเคราะห์ข้อมูลใช้ค่ามัธยฐาน (Median) และการวิเคราะห์เปรียบเทียบความต้องการแต่ละปัจจัยแต่ละกลุ่มใช้การเปรียบเทียบค่า mean rank โดยใช้สถิติ Mann–Whitney U test และ Kruskal–Wallis test

6. จริยธรรมการวิจัย

งานวิจัยนี้ผ่านการประเมินจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยพะเยา (HREC–UP–HSS 2.2/075/67)

Results

ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ข้อมูลพื้นฐานของผู้ตอบแบบสอบถามทั้งหมดมีจำนวน 73 คน จำแนกตามเพศ อายุ อาชีพ ลักษณะการรับบริการงานไปรษณีย์พบว่า ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง จำนวน 53 คน คิดเป็นร้อยละ 72.6 และเพศชาย จำนวน 20 คน คิดเป็นร้อยละ 27.4 เมื่อจำแนกกลุ่มตามอายุ กลุ่มที่มีอายุมากกว่า 35 ปีขึ้นไปมากที่สุด จำนวน 48 คน คิดเป็นร้อยละ 65.8 รองลงมาคือช่วงอายุ 25–34 ปี จำนวน 16 คน คิดเป็นร้อยละ 21.9 ช่วงอายุ 18–24 ปี จำนวน 7 คน คิดเป็นร้อยละ 9.6 และช่วงอายุต่ำกว่า 18 ปี จำนวน 2 คน คิดเป็นร้อยละ 2.7 เมื่อจำแนกกลุ่มตามอาชีพ พบว่าเป็นเจ้าหน้าที่สายสนับสนุน จำนวน 55 คน คิดเป็นร้อยละ 75.3 อาจารย์ จำนวน 8 คน คิดเป็นร้อยละ 11 นักเรียน/นิสิต 9 คน คิดเป็นร้อยละ 12.3 และพนักงานรัฐวิสาหกิจ จำนวน 1 คน คิดเป็นร้อยละ 1.4 เมื่อจำแนกตามลักษณะการรับบริการงานไปรษณีย์ พบว่า เป็นทั้งผู้รับและส่งไปรษณีย์/พัสดุ จำนวน 47 คน คิดเป็นร้อยละ 64.4 ผู้รับไปรษณีย์/พัสดุ จำนวน 24 คน คิดเป็นร้อยละ 32.9 และผู้ส่งไปรษณีย์/พัสดุ จำนวน 2 คน คิดเป็นร้อยละ 2.7 ดังแสดงใน Table 2

Table 2 Demographic information of the volunteers

Group		Number	%
Gender			
1) Male		20	27.4
2) Female		53	72.6
	Total	73	100
Age			
1) < 18 years old		2	2.7
2) 18–24 years old		7	9.6
3) 25–34 years old		16	21.9
4) > 35 years old		48	65.8
	Total	73	100
Occupation			
1) Student		9	12.3
2) Administrative staff		55	75.3
3) Lecturer / Acacemic staff		8	11.0

Group		Number	%
4) State enterprise employee		1	1.4
	Total	73	100
Type of postal service usage			
1) Mail/Parcel Recipient		24	32.9
2) Mail/Parce Sender		2	2.7
3) Both Mail/Parcel Sender and Recipient		47	64.4
	Total	73	100

ความต้องการในแต่ละปัจจัยของผู้ใช้บริการงานไปรษณีย์กองกลาง มหาวิทยาลัยพะเยา

จากแบบสอบถาม ข้อมูลถูกจัดแบ่งออกเป็น 5 ปัจจัยหลัก คือ 1) การใช้ระบบสารสนเทศไปรษณีย์ของมหาวิทยาลัยพะเยา (UP Postal) 2) กระบวนการให้บริการ 3) การให้บริการของเจ้าหน้าที่ไปรษณีย์กองกลาง 4) สิ่งอำนวยความสะดวก 5) ผลการให้บริการ ซึ่งมีข้อมูลค่าเฉลี่ย และระดับความต้องการหรือความสำคัญของการให้บริการดังแสดงใน Table 3 ทั้งนี้พบว่า ในด้านการใช้ระบบไปรษณีย์ของมหาวิทยาลัยพะเยา (UP Postal) มีค่าคะแนนเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก (Mean = 4.07, SD = 0.797) โดยปัจจัยที่ผู้รับบริการให้ความสำคัญมากที่สุดของการใช้ระบบ UP Postal มี 2 ปัจจัย คือ การเข้าใช้งานระบบไปรษณีย์ทำได้ง่าย รวดเร็ว ไม่ซับซ้อน และ มีระบบที่สามารถค้นหาไปรษณีย์ที่ต้องการได้ เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลในด้านกระบวนการให้บริการ พบว่ามีค่าคะแนนเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก (Mean = 4.16, SD = 0.667) โดยปัจจัยที่สำคัญมากที่สุดของด้านกระบวนการให้บริการ คือ มีการให้บริการได้อย่างเป็นระบบ รองลงมาคือมีการให้บริการเป็นไปตามลำดับก่อน-หลัง เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลในด้านการให้บริการของเจ้าหน้าที่ไปรษณีย์กองกลาง พบว่ามีค่าคะแนนเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก (Mean = 4.05, SD = 0.819) โดยปัจจัยที่สำคัญมากที่สุดของด้านการให้บริการของเจ้าหน้าที่ไปรษณีย์กองกลาง คือ เจ้าหน้าที่บริการด้วยความเท่าเทียม เป็นธรรม และไม่เลือกปฏิบัติ รองลงมาคือ สามารถตรวจสอบและติดตามสิ่งของที่ส่งไปรษณีย์ได้ จากการวิเคราะห์ข้อมูลด้านสิ่งอำนวยความสะดวก พบว่ามีค่าคะแนนเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก (Mean = 3.94, SD = 1.00) โดยปัจจัยที่สำคัญมากที่สุดของการอำนวยความสะดวก คือ มีอุปกรณ์พร้อมให้บริการครบถ้วน รองลงมาคือ มีสถานที่ให้บริการที่เหมาะสม และเมื่อวิเคราะห์ข้อมูลในด้านผลการให้บริการ พบว่า มีค่าคะแนนเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก (Mean = 4.07, SD = 0.848) โดยปัจจัยที่สำคัญมากที่สุดคือ การให้บริการที่ประทับใจ รองลงมาคือ การให้บริการที่ตรงกับความต้องการ

Table 3 Service needs by factor anong users of the postal service at Division of General Affairs

The utilization of The UP Postal system	Mean	S.D.	Interpretation
1. The system is easy, fast, and uncomplicated to access.	4.15	0.770	High
2. The menu is simple and easy to use.	4.12	0.798	High
3. The system provides a search function for postal items.	4.15	0.758	High
4. The system provides notifications for postal arrivals	3.99	0.905	High
5. The system displays information appropriately and completely.	4.01	0.773	High

The utilization of The UP Postal system	Mean	S.D.	Interpretation
6. The system is designed for user–friendly access with simple menus.	4.08	0.777	High
7. The system can analyze and report overall operations.	3.97	0.799	High
Overall	4.07	0.797	High
Service process	**Mean**	**S.D.**	**Interpretation**
1. The service process is systematic.	4.16	0.667	High
2. Services are provided on a first–come, first–served basis.	4.14	0.805	High
3. The service steps are appropriate.	4.04	0.807	High
4. The procedures are not complicated.	4.07	0.805	High
5. The service process is fast.	4.01	0.790	High
6. Guidance and problem–solving procedures are appropriate.	4.07	0.788	High
Overall	4.08	0.777	High
Staff Service Performance	**Mean**	**S.D.**	**Interpretation**
1. Staff can promptly resolve system–related issues.	3.96	0.824	High
2. Staff are enthusiastic in providing service.	3.99	0.842	High
3. Staff provide clear guidance and answers to inquiries.	4.07	0.855	High
4. Staff are willing to serve.	4.04	0.857	High
5. Staff are consistent in their service.	4.10	0.853	High
6. Staff are polite and professionally dressed.	4.07	0.839	High
7. Staff can track and monitor postal items.	4.12	0.725	High
8. Staff provide fair and non–discriminatory service.	4.15	0.758	High
9. Services can be completed at a single service point (One Stop).	4.03	0.781	High
10. Staff have the ability to deal with unexpected problems.	4.01	0.858	High
Overall	4.05	0.819	High
Facilities	**Mean**	**S.D.**	**Interpretation**
1. All necessary equipment is available.	4.05	0.896	High
2. Chart explaining service steps are available.	3.74	1.155	High
3. Service forms are available.	3.93	1.058	High
4. The service area is appropriate.	4.04	0.889	High
Overall	3.94	1.000	High
Service outcomes	**Mean**	**S.D.**	**Interpretation**
1. The service is impressive.	4.11	0.859	High
2. The service meets user demand.	4.10	0.869	High

Service outcomes	Mean	S.D.	Interpretation
3. The service is beneficial.	4.03	0.799	High
3. The service is beneficial.	4.03	0.799	High
4. The service is provided promptly.	4.03	0.866	High
Overall	4.07	0.848	High

การเปรียบเทียบความต้องการในการใช้บริการงานไปรษณีย์กองกลาง มหาวิทยาลัยพะเยาจำแนกตามช่วงอายุ

เมื่อทำการเปรียบเทียบความต้องการในการใช้บริการงานไปรษณีย์กองกลาง มหาวิทยาลัยพะเยา โดยแบ่งตามกลุ่มอายุผู้มารับบริการงานไปรษณีย์ เป็น 4 กลุ่ม คือ กลุ่มอายุต่ำกว่า 18 ปี จำนวน 2 คน กลุ่มอายุระหว่าง 18–24 ปี จำนวน 7 คน กลุ่มอายุระหว่าง 25–34 ปี จำนวน 16 คน และกลุ่มอายุตั้งแต่ 35 ปีขึ้นไป จำนวน 48 คน เนื่องจากกลุ่มอายุต่ำกว่า 18 ปี มีจำนวนน้อยเกินกว่าจะนำมาวิเคราะห์ทางสถิติ ในงานวิจัยนี้จึงทำการวิเคราะห์ข้อมูลเปรียบเทียบกลุ่มตัวอย่างเพียง 3 กลุ่ม คือ อายุระหว่าง 18–24 ปี กลุ่มอายุระหว่าง 25–34 ปี และกลุ่มอายุตั้งแต่ 35 ปีขึ้นไป โดยใช้สถิติ Kruskal–Wallis test จากผลการวิเคราะห์พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อความต้องการในการใช้บริการงานไปรษณีย์ระหว่างกลุ่มอายุผู้รับบริการ ที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยแบ่งเป็น 2 ด้าน ดังนี้ 1. ด้านการใช้ระบบ UP Postal พบว่า กลุ่มอายุ 35 ปีขึ้นไป ให้ความสำคัญในหัวข้อดังนี้ การเข้าใช้งานระบบทำได้ง่าย รวดเร็ว ไม่ซับซ้อน มีเมนูการใช้งานง่าย ไม่ซับซ้อน และมีระบบที่สามารถค้นหาไปรษณีย์ที่ต้องการได้ มากกว่ากลุ่มอายุ 18–24 ปี อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) 2. ด้านสิ่งอำนวยความสะดวก กลุ่มอายุ 35 ปีขึ้นไป และกลุ่มอายุระหว่าง 25–34 ปี ให้ความสำคัญกับการมีอุปกรณ์พร้อมให้บริการครบถ้วน มากกว่า กลุ่มอายุ 18–24 ปีขึ้นไป อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และกลุ่มอายุ 35 ปีขึ้นไป ให้ความสำคัญกับการมีสถานที่ให้บริการที่เหมาะสม มากกว่ากลุ่มอายุ 18–24 ปี อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังแสดงใน Table 4

Table 4 Comparison of service usage needs for the postal service at Division of General Affairs, University of Phayao by age group (18–24, 25–34, and 35 and above) using the Kruskal–Wallis Test

Service factors	Age						*H*	*p*–value
	18–24 years (n=7)		25–34 years (n=16)		>35 years (n=48)			
	Median	Mean Rank	Median	Mean Rank	Median	Mean Rank		
The utilization of The UP Postal system								
1. The system is easy, fast, and uncomplicated to access.	3.0	17.93	4.0	30.63	4.0	**40.43**[a]	9.977	**0.007**
2. The menu is simple and easy to use.	3.0	18.93	4.0	32.22	4.0	**39.75**[a]	7.868	**0.020**
3. The system provides a search function for postal items.	3.0	14.93	4.0	**36.78**[a]	4.0	**38.81**[a]	9.421	**0.009**
4. The system provides notifications for postal arrivals	3.0	25.21	4.0	30.97	4.0	39.25	4.574	0.102
5. The system displays information appropriately and completely.	3.0	21.21	4.0	34.19	4.0	38.76	5.258	0.072
6. The system is designed for user–friendly access with simple menus.	3.0	16.71	4.0	31.03	4.0	**40.47**[a]	10.543	**0.005**

Service factors	Age						*H*	*p*–value
	18–24 years (n=7)		25–34 years (n=16)		>35 years (n=48)			
	Median	Mean Rank	Median	Mean Rank	Median	Mean Rank		
7. The system can analyze and report overall operations.	3.0	19.14	4.0	29.13	4.0	**40.75**[a]	10.168	**0.006**
Service process								
1. The service process is systematic.	4.0	30.43	4.0	36.03	4.0	36.80	0.719	0.698
2. Services are provided on a first–come, first–served basis.	4.0	27.21	4.0	29.31	4.0	39.51	5.082	0.079
3. The service steps are appropriate.	4.0	29.57	4.0	31.72	4.0	38.36	2.384	0.304
4. The procedures are not complicated.	4.0	33.14	4.0	31.25	4.0	38.00	1.673	0.433
5. The service process is fast.	4.0	30.29	4.0	30.69	4.0	38.60	2.873	0.238
6. Guidance and problem–solving procedures are appropriate.	4.0	29.29	4.0	32.66	4.0	38.09	1.928	0.381
Staff Service Performance								
1. Staff can promptly resolve system–related issues.	4.0	31.29	4.0	34.44	4.0	37.21	0.773	0.676
2. Staff are enthusiastic in providing service.	4.0	30.93	4.0	35.94	4.0	36.76	0.574	0.751
3. Staff provide clear guidance and answers to inquiries.	4.0	35.71	4.0	36.53	4.0	35.86	0.017	0.992
4. Staff are willing to serve.	4.0	25.79	4.0	34.03	4.0	38.15	2.841	0.242
5. Staff are consistent in their service.	4.0	42.36	4.0	34.91	4.0	35.44	0.898	0.638
6. Staff are polite and professionally dressed.	4.0	35.79	4.0	31.91	4.0	37.40	1.042	0.594
7. Staff can track and monitor postal items.	4.0	30.57	4.0	34.84	4.0	37.18	0.901	0.637
8. Staff provide fair and non–discriminatory service.	5.0	42.93	5.0	37.44	4.0	34.51	1.339	0.512
9. Services can be completed at a single service point (One Stop).	4.0	37.43	4.0	35.53	4.0	35.95	0.053	0.974
10. Staff have the ability to deal with unexpected problems.	4.0	29.86	4.0	33.63	4.0	37.69	1.372	0.504
Facilities								
1. All necessary equipment is available.	3.0	14.07	4.0	**37.47**[a]	4.0	**38.71**[a]	10.034	**0.007**
2. Chart explaining service steps are available.	3.0	26.43	3.5	27.41	4.0	40.26	6.927	**0.031**
3. Service forms are available.	4.0	25.71	4.0	30.16	4.0	39.45	4.892	**0.087**
4. The service area is appropriate.	3.0	17.21	4.0	32.63	4.0	**39.86**[a]	9.028	**0.011**
Service outcomes								
1. The service is impressive.	4.0	31.86	4.0	28.06	4.0	39.25	4.415	0.110
2. The service meets user demand.	4.0	32.21	4.0	33.72	4.0	37.31	0.715	0.699
3. The service is beneficial.	3.0	23.64	4.0	35.22	4.0	38.06	3.472	0.176
4. The service is provided promptly.	4.0	26.93	4.0	38.28	4.0	36.56	1.800	0.407

[a] *p<0.05* comparring with 18–25 years' group

การเปรียบเทียบความต้องการในการใช้บริการงานไปรษณีย์กองกลาง มหาวิทยาลัยพะเยา จำแนกตามอาชีพ

จากข้อมูลสามารถแบ่งกลุ่มอาชีพผู้มารับบริการงานไปรษณีย์ได้เป็น 4 กลุ่ม คือ เจ้าหน้าที่สายสนับสนุน จำนวน 55 คน อาจารย์ จำนวน 8 คน นักเรียน/นิสิต จำนวน 9 คน และพนักงานรัฐวิสาหกิจ จำนวน 1 คน และทำการวิเคราะห์ข้อมูลเปรียบเทียบกลุ่มจากตัวอย่าง 3 กลุ่ม คือ เจ้าหน้าที่สายสนับสนุน อาจารย์ และนักเรียน/นิสิต ซึ่งมีข้อมูลเพียงพอสำหรับการวิเคราะห์สถิติ โดยใช้สถิติ Kruskal–Wallis test จากผลการวิเคราะห์พบว่า ปัจจัย

ความต้องการที่สำคัญต่อการใช้บริการงานไปรษณีย์ของกลุ่มเจ้าหน้าที่สายสนับสนุนที่ให้ความสำคัญมากกว่ากลุ่มนักเรียน/นิสิต อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) มี 2 ด้าน คือ 1. ด้านการใช้ระบบ UP Postal โดยให้ความสำคัญกับการมีระบบที่สามารถค้นหาไปรษณีย์ที่ต้องการได้ 2. ด้านสิ่งอำนวยความสะดวก ให้ความสำคัญเกี่ยวกับการมีอุปกรณ์ พร้อมให้บริการครบถ้วน และมีสถานที่ให้บริการที่เหมาะสม ดังแสดงใน Table 5

Table 5 Comparison of service usage needs for the postal service at Division of General Affairs, University of Phayao by occupation (administrative staff, lecturers, and students) using the Kruskal–Wallis Test

Service factors	Occupation						*H*	*p*-value
	Administrative staff (n=55)		Lecturer / Acacemic staff (n=8)		Student (n=9)			
	Median	Mean Rank	Median	Mean Rank	Median	Mean Rank		
The utilization of The UP Postal system								
1. The system is easy, fast, and uncomplicated to access.	4.0	38.16	4.5	39.25	4.0	23.89	4.326	0.115
2. The menu is simple and easy to use.	4.0	39.36	3.5	30.50	4.0	24.33	5.417	0.067
3. The system provides a search function for postal items.	4.0	39.95	4.0	29.56	3.0	**21.61**[a]	7.949	**0.019**
4. The system provides notifications for postal arrivals	4.0	36.36	4.5	44.81	4.0	29.94	2.435	0.296
5. The system displays information appropriately and completely.	4.0	38.71	4.0	32.13	4.0	26.89	3.303	0.192
6. The system is designed for user–friendly access with simple menus.	4.0	39.10	4.0	33.88	3.0	22.94	5.415	0.067
7. The system can analyze and report overall operations.	4.0	38.30	4.0	36.56	3.0	25.44	3.303	0.191
Service process								
1. The service process is systematic.	4.0	38.58	4.0	31.25	4.0	28.44	2.914	0.233
2. Services are provided on a first–come, first–served basis.	4.0	39.60	4.0	28.06	4.0	25.06	6.100	0.057
3. The service steps are appropriate.	4.0	38.76	4.0	30.94	4.0	27.61	3.354	0.187
4. The procedures are not complicated.	4.0	38.42	4.0	30.63	4.0	30.00	2.293	0.318
5. The service process is fast.	4.0	39.47	3.5	25.31	4.0	28.28	5.773	0.056
6. Guidance and problem–solving procedures are appropriate.	4.0	38.97	4.0	30.19	4.0	27.00	3.912	0.141
Staff Service Performance								
1. Staff can promptly resolve system–related issues.	4.0	37.74	4.0	36.25	4.0	29.17	1.599	0.450
2. Staff are enthusiastic in providing service.	4.0	37.89	4.0	35.81	4.0	28.61	1.805	0.406
3. Staff provide clear guidance and answers to inquiries.	4.0	38.20	4.0	30.06	4.0	31.83	1.887	0.389
4. Staff are willing to serve.	4.0	38.82	4.0	34.00	4.0	24.56	4.409	0.110
5. Staff are consistent in their service.	4.0	36.02	4.0	39.00	4.0	37.22	0.184	0.912
6. Staff are polite and professionally dressed.	4.0	36.71	4.0	39.88	4.0	32.22	0.716	0.699
7. Staff can track and monitor postal items.	4.0	36.88	4.5	43.25	4.0	28.17	2.934	0.231
8. Staff provide fair and non–discriminatory service.	4.0	36.03	4.0	38.44	4.0	37.67	0.148	0.929
9. Services can be completed at a single service point (One Stop).	4.0	37.84	4.0	30.25	4.0	33.89	1.334	0.513

Service factors	Occupation						*H*	*p*–value
	Administrative staff (n=55)		Lecturer / Acacemic staff (n=8)		Student (n=9)			
	Median	Mean Rank	Median	Mean Rank	Median	Mean Rank		
10. Staff have the ability to deal with unexpected problems.	4.0	37.65	4.0	38.31	4.0	27.83	2.091	0.351
Facilities								
1. All necessary equipment is available.	4.0	40.36	4.0	33.56	3.0	**15.50[a]**	12.567	**0.002**
2. Chart explaining service steps are available.	4.0	38.87	4.0	32.19	3.0	25.83	3.693	0.158
3. Service forms are available.	4.0	39.34	4.0	30.63	4.0	24.39	5.229	0.073
4. The service area is appropriate.	4.0	39.91	4.0	33.88	3.0	**18.00[a]**	9.782	**0.008**
Service outcomes								
1. The service is impressive.	4.0	37.65	4.5	36.94	4.0	29.11	1.475	0.478
2. The service meets user demand.	4.0	38.15	4.0	33.44	4.0	29.11	1.871	0.392
3. The service is beneficial.	4.0	39.30	4.0	32.25	3.0	23.17	5.691	0.058
4. The service is provided promptly.	4.0	39.55	4.0	28.25	4.0	25.22	5.707	0.058

[a]*p<0.05* conparring with administrative staff group

การเปรียบเทียบความต้องการในการใช้บริการงานไปรษณีย์กองกลาง มหาวิทยาลัยพะเยาจำแนกตามลักษณะการรับบริการงานไปรษณีย์

เมื่อเปรียบเทียบความต้องการในการใช้บริการงานไปรษณีย์กองกลาง มหาวิทยาลัยพะเยา โดยแบ่งตามลักษณะการมารับบริการงานไปรษณีย์ ได้แก่ ผู้ที่รับและส่งไปรษณีย์ จำนวน 47 คน ผู้ส่งไปรษณีย์ จำนวน 2 คน และผู้รับไปรษณีย์ จำนวน 24 คน โดยทำการวิเคราะห์ข้อมูลเปรียบเทียบ 2 กลุ่ม คือ ผู้รับไปรษณีย์อย่างเดียว และผู้ที่ทั้งรับและส่งไปรษณีย์ ซึ่งมีจำนวนเพียงพอต่อการวิเคราะห์ทางสถิติ โดยใช้สถิติ Mann–Whitney U test พบว่าผู้ที่ทั้งรับและส่งไปรษณีย์ให้ความสำคัญกับปัจจัยการให้บริการที่มากกว่ากลุ่มผู้รับไปรษณีย์อย่างเดียว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (*p<0.05*) ทั้งหมด 5 ด้าน ดังนี้ 1) ด้านการใช้ระบบ UP Postal พบว่า ผู้รับบริการที่ทั้งรับและส่งไปรษณีย์ให้ความสำคัญเกี่ยวกับการเข้าใช้งานระบบทำได้ง่ายรวดเร็วไม่ซับซ้อน มีเมนูการใช้งานง่ายไม่ซับซ้อน มีระบบที่สามารถค้นหาไปรษณีย์ที่ต้องการได้ ระบบแสดงข้อมูลได้อย่างเหมาะสมครบถ้วน การออกแบบระบบใช้งานง่ายมีเมนูไม่ซับซ้อน และระบบสามารถวิเคราะห์และรายงานผลการดำเนินการทั้งหมดได้ 2) ด้านกระบวนการให้บริการ พบว่าให้ความสำคัญเกี่ยวกับการให้บริการเป็นไปตามลำดับก่อน–หลัง ความเหมาะสมของขั้นตอนการให้บริการ และมีขั้นตอนการให้บริการที่รวดเร็ว 3) ด้านการให้บริการของเจ้าหน้าที่ไปรษณีย์กองกลาง พบว่าให้ความสำคัญเกี่ยวกับเจ้าหน้าที่ให้บริการด้วยความเต็มใจ 4) ด้านสิ่งอำนวยความสะดวก พบว่าให้ความสำคัญเกี่ยวกับการมีอุปกรณ์ พร้อมให้บริการครบถ้วน มีป้ายอธิบายขั้นตอนการให้บริการ มีสถานที่ให้บริการที่เหมาะสม 5) ด้านผลการให้บริการ พบว่าให้ความสำคัญเกี่ยวกับ การให้บริการที่เป็นประโยชน์ ดังแสดงใน Table 6

Table 6 Comparison of service usage needs for the postal service at Division of General Affairs, University of Phayao by Type of service usage (Mail/Parcel Recipients vs. Both Senders and Recipients) Using the Mann–Whitney U Test

Service factors	Type of postal service usage				*U*	*p*-value
	Mail/parcel recipient (n=24)		Both mail/parcel sender and recipient (n=47)			
	Median	Mean Rank	Median	Mean Rank		
The utilization of The UP Postal system						
1. The system is easy, fast, and uncomplicated to access.	4.0	29.52	4.0	39.31	408.5	**0.042***
2. The menu is simple and easy to use.	4.0	27.75	4.0	40.21	366.0	**0.010***
3. The system provides a search function for postal items.	4.0	25.06	4.0	41.59	301.5	**0.001***
4. The system provides notifications for postal arrivals	4.0	34.15	4.0	36.95	519.5	0.504
5. The system displays information appropriately and completely.	4.0	27.15	4.0	40.52	351.5	**0.006***
6. The system is designed for user-friendly access with simple menus.	4.0	28.29	4.0	39.94	379.0	**0.016***
7. The system can analyze and report overall operations.	4.0	29.08	4.0	39.53	398.0	**0.031***
Service process						
1. The service process is systematic.	4.0	30.58	4.0	38.77	434.0	0.079
2. Services are provided on a first-come, first-served basis.	4.0	27.65	4.0	40.27	363.5	**0.008***
3. The service steps are appropriate.	4.0	29.48	4.0	39.33	407.5	**0.038***
4. The procedures are not complicated.	4.0	30.67	4.0	38.72	436.0	0.093
5. The service process is fast.	4.0	28.15	4.0	40.01	375.5	**0.012***
6. Guidance and problem-solving procedures are appropriate.	4.0	31.83	4.0	38.13	464.0	0.189
Staff Service Performance						
1. Staff can promptly resolve system-related issues.	4.0	30.15	4.0	38.99	423.5	0.057
2. Staff are enthusiastic in providing service.	4.0	31.00	4.0	38.55	444.0	0.112
3. Staff provide clear guidance and answers to inquiries.	4.0	30.50	4.0	38.81	432.0	0.079
4. Staff are willing to serve.	4.0	27.40	4.0	40.39	357.5	**0.006***
5. Staff are consistent in their service.	4.0	35.60	4.0	36.20	554.5	0.898
6. Staff are polite and professionally dressed.	4.0	33.85	4.0	37.10	512.5	0.485
7. Staff can track and monitor postal items.	4.0	33.13	4.0	37.47	495.0	0.338
8. Staff provide fair and non-discriminatory service.	4.0	35.19	4.0	36.41	544.5	0.796
9. Services can be completed at a single service point (One Stop).	4.0	33.75	4.0	37.15	510.0	0.460
10. Staff have the ability to deal with unexpected problems.	4.0	33.52	4.0	37.27	504.5	0.428
Facilities						
1. All necessary equipment is available.	4.0	28.50	4.0	39.83	384.0	**0.020***
2. Chart explaining service steps are available.	4.0	28.56	4.0	39.80	385.5	**0.023***
3. Service forms are available.	4.0	29.85	4.0	39.14	416.5	0.057
4. The service area is appropriate.	4.0	28.52	4.0	39.82	384.5	**0.020***
Service outcomes						
1. The service is impressive.	4.0	32.75	4.0	37.66	486.0	0.309
2. The service meets user demand.	4.0	31.73	4.0	38.18	461.5	0.183
3. The service is beneficial.	4.0	28.77	4.0	39.69	390.5	**0.024***
4. The service is provided promptly.	4.0	30.48	4.0	38.82	431.0	0.086

*$p<0.05$

Conclusion and Discussion

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความต้องการในการใช้บริการของผู้ใช้บริการงานไปรษณีย์กองกลาง มหาวิทยาลัยพะเยา ใน 5 ด้านหลัก ได้แก่ การใช้ระบบ UP Postal, กระบวนการใช้บริการ, การให้บริการของเจ้าหน้าที่, สิ่งอำนวยความสะดวก และผลการให้บริการ รวมทั้งทำการเปรียบเทียบความต้องการดังกล่าวตามกลุ่มอายุ อาชีพ และลักษณะการรับบริการงานไปรษณีย์ โดยมีผลการวิเคราะห์ที่สำคัญและสามารถอภิปรายได้ดังนี้

1. ความต้องการในภาพรวมของผู้ใช้บริการ

จากการวิเคราะห์เชิงพรรณนา พบว่าผู้ใช้บริการให้ความสำคัญกับทุกด้านของการให้บริการในระดับ “มาก” โดยเฉพาะด้านการใช้ระบบ UP Postal (Mean = 4.07, SD = 0.797) แสดงให้เห็นว่าผู้รับบริการให้ความสำคัญกับความสะดวก รวดเร็ว และความไม่ซับซ้อนของระบบสารสนเทศ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ วราภรณ์ ชาติไทย (2564) ที่ศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ในมหาวิทยาลัย และพบว่าปัจจัยด้านความง่ายในการใช้งานและความสามารถในการเข้าถึงข้อมูลเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อความพึงพอใจของผู้ใช้งาน (วราภรณ์, 2564) ในด้านกระบวนการให้บริการ ผู้ใช้บริการให้ความสำคัญกับการให้บริการที่เป็นระบบ (Mean = 4.16, SD = 0.667) และเป็นไปตามลำดับก่อน-หลัง (Mean = 4.14, SD = 0.805) สะท้อนให้เห็นถึงความต้องการในการลดความซับซ้อนของขั้นตอนและลดระยะเวลาการให้บริการ ด้านการให้บริการของเจ้าหน้าที่ไปรษณีย์กองกลาง มีระดับความสำคัญเทียบเท่ากับกระบวนการให้บริการ (Mean = 4.05, SD = 0.819) โดยเฉพาะในประเด็นเรื่องความเป็นธรรมและการไม่เลือกปฏิบัติของเจ้าหน้าที่ ซึ่งสะท้อนถึงความคาดหวังในการได้รับบริการที่มีคุณภาพอย่างเท่าเทียม งานวิจัยของ Cheng et al. (2015) ชี้ให้เห็นว่า การให้บริการโดยยึดหลักความเป็นธรรม (equity) ส่งผลโดยตรงต่อความไว้วางใจและความพึงพอใจของผู้ใช้บริการในหน่วยงานสาธารณะ (Cheng et al., 2015) ด้านสิ่งอำนวยความสะดวก แม้จะมีค่าคะแนนเฉลี่ยต่ำที่สุดใน 5 ปัจจัย แต่ก็ยังอยู่ในระดับ "มาก" (Mean = 3.94, SD = 1.00) โดยผู้ใช้บริการเน้นความพร้อมของอุปกรณ์ เครื่องมือ และสถานที่ให้บริการที่เหมาะสม การมีสภาพแวดล้อมการบริการที่ดีถือเป็นพื้นฐานของความพึงพอใจในการใช้บริการในองค์การภาครัฐ ในด้านสุดท้ายคือ ผลการให้บริการ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับการใช้ระบบ UP Postal (Mean = 4.07, SD = 0.848) โดยปัจจัยที่สำคัญที่สุดคือ "การให้บริการที่ประทับใจ" รองลงมาคือ "การให้บริการที่ตรงกับความต้องการ" ซึ่งบ่งชี้ว่า ผู้ใช้บริการไม่ได้คาดหวังเพียงแค่การบริการที่มีประสิทธิภาพ แต่ยังต้องการประสบการณ์ที่ดีจากการใช้บริการ ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ Grönroos (1990) ที่เสนอว่าคุณภาพการบริการ (Service Quality) ควรครอบคลุมทั้งผลลัพธ์ (Outcome) และกระบวนการ (Process) ที่ผู้ใช้บริการมีประสบการณ์ร่วมด้วย (Grönroos, 1990)

2. ความแตกต่างของความต้องการในการใช้บริการงานไปรษณีย์กองกลางจำแนกตามอายุ

จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่ามีปัจจัยที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) 2 ด้าน ได้แก่ **ด้านการใช้ระบบ UP Postal** กลุ่มอายุ 35 ปีขึ้นไป พบว่าให้ความสำคัญกับความง่ายในการใช้งาน ความไม่ซับซ้อนของเมนู และการค้นหาข้อมูล มากกว่ากลุ่มอายุ 18–24 ปี ซึ่งผลการวิจัยนี้สะท้อนแนวโน้มที่ว่า กลุ่มผู้ใช้งานที่มีอายุมากกว่า มักมีความคาดหวังต่อระบบที่มี ความชัดเจน ใช้งานง่าย และลดความซับซ้อนทางเทคโนโลยี มากกว่ากลุ่มวัยรุ่นหรือนักศึกษา ที่อาจมีความคุ้นชินกับเทคโนโลยีดิจิทัลและการทดลองฟังก์ชันใหม่ๆ อยู่แล้ว ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาโดย Nguyen et al. (2020) ที่พบว่า ผู้ใช้บริการในกลุ่มอายุสูงมีความพึงพอใจต่อระบบบริการอิเล็กทรอนิกส์มากขึ้น หากระบบมีโครงสร้างการใช้งานที่เรียบง่ายและใช้งานไม่ซับซ้อน (Nguyen et al., 2020) ด้านสิ่งอำนวยความสะดวก กลุ่มอายุ 25–34 ปี และ 35 ปีขึ้นไป พบว่าให้ความสำคัญกับอุปกรณ์และสถานที่บริการมากกว่ากลุ่มอายุ 18–24 ปี สอดคล้องกับการศึกษาของ Venkatesh et al. (2003) ซึ่งชี้ว่าผู้ใช้บริการที่มีอายุสูง

มักมีความคาดหวังด้านความสะดวกสบายและการสนับสนุนทางกายภาพมากกว่า เนื่องจากประสบการณ์การใช้งานบริการที่หลากหลายและความต้องการประสิทธิภาพในการปฏิบัติงาน (Venkatesh et al., 2003)

3. ความแตกต่างของความต้องการในการใช้บริการงานไปรษณีย์กองกลางจำแนกตามอาชีพ

จากการวิเคราะห์ข้อมูลเปรียบเทียบทางสถิติโดยจำแนกตามกลุ่มอาชีพ พบว่ากลุ่ม เจ้าหน้าที่สายสนับสนุน มีระดับความต้องการในการใช้บริการในบางปัจจัย สูงกว่ากลุ่มนักเรียน/นิสิตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ใน 2 ปัจจัยหลัก ได้แก่ ด้านการใช้ระบบ UP Postal เจ้าหน้าที่สายสนับสนุนให้ความสำคัญต่อระบบสารสนเทศ UP Postal โดยเฉพาะฟังก์ชัน การค้นหาไปรษณีย์ที่ต้องการได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว มากกว่ากลุ่มนักเรียน/นิสิตอย่างชัดเจน สะท้อนถึงความคาดหวังด้านประสิทธิภาพในการปฏิบัติงาน เนื่องจากเจ้าหน้าที่สายสนับสนุนต้องใช้ระบบดังกล่าวในบริบทการทำงานจริง และมักต้องดำเนินการติดตามพัสดุหรือเอกสารภายในองค์กรอย่างเป็นระบบและต่อเนื่อง สอดคล้องกับงานวิจัยที่แสดงให้เห็นว่าความคาดหวังของพนักงานเกี่ยวกับการทำงานของระบบ (System Functionality Expectations) จะส่งผลต่อการประเมินคุณภาพระบบมากกว่าผู้ใช้ทั่วไปหรือผู้ใช้แบบไม่เป็นทางการ เช่น นักเรียน/นิสิต (Venkatesh & Bala, 2008) ด้านสิ่งอำนวยความสะดวก กลุ่มเจ้าหน้าที่สายสนับสนุนให้ความสำคัญต่อความพร้อมของอุปกรณ์ รวมถึง สถานที่ให้บริการที่เหมาะสม มากกว่านักเรียน/นิสิตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลการวิเคราะห์นี้สะท้อนถึงบริบทการใช้งานจริงในชีวิตประจำวันของเจ้าหน้าที่ ซึ่งต้องรับผิดชอบด้านเอกสารหรือส่ง–รับพัสดุเพื่อการบริหารงานในองค์กร จึงให้ความสำคัญกับความครบถ้วนและความสะดวกของระบบและสถานที่มากกว่าผู้ใช้งานชั่วคราว เช่น นักเรียนหรือนิสิต ซึ่งอาจใช้บริการไม่บ่อยครั้ง

4. ความแตกต่างของความต้องการในการใช้บริการงานไปรษณีย์กองกลางจำแนกตามลักษณะการรับบริการงานไปรษณีย์

จากการวิเคราะห์ข้อมูลเปรียบเทียบทางสถิติ ระหว่างกลุ่มผู้รับไปรษณีย์อย่างเดียว และกลุ่มผู้ที่ทั้งรับและส่งไปรษณีย์ พบว่ากลุ่มผู้ใช้บริการที่ทั้งรับและส่งไปรษณีย์ให้ความสำคัญต่อปัจจัย ทั้ง 5 ด้าน ได้แก่ การใช้ระบบ UP Postal, กระบวนการให้บริการ, การให้บริการของเจ้าหน้าที่, สิ่งอำนวยความสะดวก และผลการให้บริการ สูงกว่ากลุ่มผู้รับไปรษณีย์เพียงอย่างเดียว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าผู้ใช้บริการที่มีการติดต่อกับระบบบริการบ่อยครั้งหรือมีความเกี่ยวข้องกับหลายขั้นตอนของการบริการ ย่อมมีความคาดหวังในระดับที่สูงกว่า ทั้งในด้านความสะดวก ความรวดเร็ว และคุณภาพของผลลัพธ์ที่ได้รับจากบริการ (Parasuraman et al., 1988) และเมื่อพิจารณาแต่ละปัจจัย เช่น ด้านการใช้ระบบ UP Postal พบว่าผู้ที่ทั้งรับและส่งไปรษณีย์ให้ความสำคัญกับความสะดวกและความสามารถของระบบ UP Postal ในการใช้งาน เช่น ความง่ายในการเข้าถึงเมนูที่ไม่ซับซ้อน การค้นหาข้อมูลที่ต้องการ และการแสดงผลที่ชัดเจนครบถ้วน สะท้อนให้เห็นว่าเมื่อผู้ใช้บริการมีความเกี่ยวข้องกับทั้งกระบวนการส่งและรับไปรษณีย์ จะทำให้ต้องพึ่งพาระบบมากขึ้นในการติดตามสถานะไปรษณีย์และบริหารจัดการงานเอกสาร จึงส่งผลให้มีความคาดหวังให้ระบบมีประสิทธิภาพและใช้งานง่าย สอดคล้องกับงานวิจัยของ Davis (1989) ที่เสนอว่า การยอมรับเทคโนโลยีของผู้ใช้ (Technology Acceptance Model: TAM) ขึ้นอยู่กับการรับรู้ในด้าน "ความง่ายในการใช้งาน" (Perceived Ease of Use) และ "ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ" (Perceived Usefulness) โดยเฉพาะกลุ่มผู้ใช้ที่ต้องพึ่งพาระบบเพื่อจัดการงานประจำวันหลายด้าน (Davis, 1989) ด้านกระบวนการให้บริการ กลุ่มผู้ใช้บริการที่ทั้งรับและส่งไปรษณีย์ให้ความสำคัญกับความชัดเจนของขั้นตอน ความรวดเร็ว และความเป็นระบบของกระบวนการให้บริการ ซึ่งสามารถอธิบายได้จากแนวคิด Service Blueprinting ที่เน้นการออกแบบขั้นตอนการบริการที่ชัดเจน เพื่อลดความสับสนและเพิ่มประสิทธิภาพในการให้บริการ สอดคล้องกับลักษณะของการใช้งานที่มีความหลากหลายและซับซ้อนกว่า จึงต้องการให้กระบวนการบริการสามารถรองรับ

การดำเนินการได้อย่างรวดเร็วและมีลำดับขั้นตอนที่เหมาะสม (Bitner, Ostrom, & Morgan, 2008) ด้านการให้บริการของเจ้าหน้าที่ไปรษณีย์กองกลาง กลุ่มผู้ที่มีบทบาททั้งรับและส่งไปรษณีย์คาดหวังการให้บริการที่มีความเต็มใจและเป็นมิตรจากเจ้าหน้าที่ ซึ่งอาจสะท้อนถึงความคาดหวังต่อการให้คำแนะนำ การช่วยเหลือ และความสามารถในการแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้า และสะท้อนถึงความสำคัญของ“การบริการด้วยใจ” (Service Mind) โดยเฉพาะในมิติของ “ความเอาใจใส่” (Empathy) และ “ความน่าเชื่อถือ” (Reliability) (Parasuraman et al., 1988) ด้านสิ่งอำนวยความสะดวก กลุ่มผู้ที่ใช้บริการทั้งสองด้านให้ความสำคัญกับความพร้อมของอุปกรณ์ และสถานที่ รวมถึงป้ายแนะนำขั้นตอนอย่างชัดเจน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการบริการที่มีประสิทธิภาพควรได้รับการสนับสนุนด้านสิ่งอำนวยความสะดวกที่เหมาะสมและชัดเจน เพื่อช่วยให้ผู้ใช้บริการสามารถดำเนินการต่าง ๆ ได้ด้วยตนเองอย่างราบรื่น สอดคล้องกับผลการศึกษาที่กล่าวถึงสิ่งแวดล้อมในการบริการ (Servicescape) ว่ามีผลต่อความพึงพอใจของผู้รับบริการอย่างมีนัยสำคัญ (Kotler & Keller, 2016) ด้านผลการให้บริการ ผู้ใช้บริการที่ทั้งรับและส่งไปรษณีย์คาดหวังให้ผลของการให้บริการเป็นประโยชน์จริง สามารถตอบสนองความต้องการในด้านการจัดการเอกสารและการติดตามสถานะของไปรษณีย์ได้อย่างครบถ้วน แสดงให้เห็นว่ากลุ่มนี้มองผลลัพธ์ของการบริการในมุมของประสิทธิภาพและคุณค่าที่ได้รับอย่างชัดเจนมากกว่ากลุ่มที่รับไปรษณีย์เพียงอย่างเดียว สอดคล้องกับงานวิจัยที่เสนอว่า “ผลของการให้บริการ” (Outcome Quality) มีผลโดยตรงต่อการประเมินคุณภาพของผู้รับบริการ (Grönroos, 1984)

จากการวิเคราะห์และอภิปรายผลในทุกมิติ สามารถสรุปได้ว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อความต้องการใช้บริการงานไปรษณีย์กองกลาง มหาวิทยาลัยพะเยา นั้นมีความสัมพันธ์กับประสบการณ์ อายุ อาชีพ และลักษณะการรับบริการอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งในมิติของระบบเทคโนโลยี กระบวนการบริการ บุคลากร สิ่งแวดล้อม และผลลัพธ์ที่ได้รับ ดังนั้น การพัฒนาบริการงานไปรษณีย์กองกลางของมหาวิทยาลัย ควรเน้นการยกระดับ ระบบสารสนเทศที่ใช้งานง่าย, ขั้นตอนบริการที่เป็นระบบ, เจ้าหน้าที่ที่ให้บริการด้วยความเท่าเทียม, อุปกรณ์และสถานที่ที่พร้อมใช้งาน และผลการให้บริการที่ตรงกับความต้องการ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความพึงพอใจของผู้ใช้บริการในทุกกลุ่ม

ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะ

1. ในการรวบรวมข้อมูลพบว่า ผู้วิจัยยังไม่สามารถเก็บข้อมูลจากบางกลุ่มอย่างได้อย่างเพียงพอสำหรับการวิเคราะห์เชิงสถิติ ส่งผลให้ไม่สามารถเปรียบเทียบข้อมูลของกลุ่มเหล่านี้กับกลุ่มอื่น ๆ ได้อย่างครบถ้วน และอาจส่งผลต่อการสะท้อนความต้องการของผู้ใช้บริการในภาพรวมได้ ในการวิจัยครั้งต่อไปควรวางแผนการเก็บข้อมูลให้ครอบคลุม โดยเฉพาะกลุ่มนิสิต และ นักเรียน เพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์มีความรอบด้าน และสามารถนำผลลัพธ์ไปใช้ในการพัฒนาระบบบริการที่ตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้บริการได้อย่างครอบคลุมและมีประสิทธิภาพ

2. ในการพัฒนาปรับปรุงระบบสารสนเทศ UP Postal ให้สามารถใช้งานได้ง่ายขึ้น และปรับปรุงในส่วนของการติดตามสถานะของพัสดุให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

3. ในการพัฒนาระบบการให้บริการ นำไปปรับปรุงขั้นตอนการให้บริการให้มีระบบมากขึ้น มีการอบรมเพื่อพัฒนาเจ้าหน้าที่ที่ให้บริการ รวมถึงการจัดเตรียมสถานที่และอุปกรณ์ที่พร้อมให้บริการอยู่เสมอ

4. การออกแบบแบบสอบถามสำหรับใช้ในการเก็บข้อมูล ควรมีขั้นตอนการนำไปทดสอบความเที่ยงตรงและความน่าเชื่อถือกับกลุ่มผู้ใช้บริการที่ไม่ใช่กลุ่มอาสาสมัคร รวมถึงเพิ่มเติมเครื่องมืออื่น ๆ เช่น การทำ content analysis และ การสัมภาษณ์เชิงคุณภาพเพิ่มเติม เพื่อให้ได้ข้อมูลในลักษณะการพรรณา และผลการวิเคราะห์ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น อันจะนำไปเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาแนวทางการให้บริการในอนาคต

5. เนื่องจากพบว่าผู้ใช้บริการงานไปรษณีย์ส่วนใหญ่เป็นบุคคลากรสายสนับสนุน อาจจะต้องมีกระบวนการออกแบบการประชาสัมพันธ์การใช้บริการงานไปรษณีย์รวมไปถึงการใช้ระบบ UP postal ไปยังกลุ่มนิสิตและนักเรียนให้มากขึ้น

Acknowledgements

ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้ให้ข้อมูลทุกท่าน ผู้เชี่ยวชาญที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ตรวจสอบและแก้ให้แบบสอบถามที่ใช้ในงานวิจัยนี้ และบุคลากรกองกลางมหาวิทยาลัยที่สนับสนุนให้สามารถทำวิจัยได้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

References

Best, J. W. (1978). *Research in education* (3rd ed.). Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.

Bitner, M. J., Ostrom, A. L., & Morgan, F. N. (2008). Service blueprinting: A practical technique for service innovation. *California Management Review*, *50*(3), 66–94.

Chansangthong, K. (2016). *Factors affecting user satisfaction with the commercial loan approval system: A case study of a commercial bank* (Master of Science thesis), Information Technology Policy and Management Program, College of Innovation, Thammasat University, Bangkok, Thailand. (in Thai)

Chanthraphakdi, P., Saengarun, C., & Sutthijit, S. (2021). Evaluation of service quality of administrative departments in universities. *Chiang Mai University Journal of Research and Development, 23*(2), 45–57. (in Thai)

Chatthai, W. (2021). User satisfaction with the electronic postal system in higher education institutions. *JOPA CRRU, 10*(2), 112–125. (in Thai)

Cheng, J. H., Chiu, S. I., Hu, H. Y., & Chang, Y. Y. (2015). "A Study on the Service Quality and Customer Satisfaction in Public Sector." *Journal of Public Administration Research and Theory, 25*(2), 421–439.

Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, *13*(3), 319–340.

Denhardt, R. B., & Denhardt, J. V. (2003). *The new public service: Serving, not steering*. M.E. Sharpe.

Grönroos, C. (1984). A service quality model and its marketing implications. *European Journal of Marketing*, *18*(4), 36–44.

Grönroos, C. (1990). *Service Management and Marketing: Managing the Moments of Truth in Service Competition.* Lexington Books.

Kotler, P., & Keller, K. L. (2016). *Marketing management* (15th ed.). Pearson Education.

Krejcie, R. V., & Morgan, D. W. (1970). Determining sample size for research activities. *Educational and Psychological Measurement, 30*(3), 607–610.

Moolabut, P. (2019). *Development of postal and parcel delivery services at Mahasarakham Rajabhat University* [R2R research report]. Mahasarakham: Mahasarakham Rajabhat University. (in Thai)

Office of the Higher Education Commission. (2020). *Guidelines for internal management in government organizations: Communication and document delivery*. Bangkok: Ministry of Higher Education, Science, Research and Innovation. (in Thai)

Oliver, R. L. (1997). *Satisfaction: A behavioral perspective on the consumer*. McGraw–Hill.

Nguyen, T., Le, D., & Pham, H. (2020). "Age Differences in E–Government Service Usage: Usability and Design Implications." *Government Information Quarterly*, *37*(4), 101–131.

Parasuraman, A., Zeithaml, V. A., & Berry, L. L. (1988). SERVQUAL: A multiple–item scale for measuring consumer perceptions of service quality. *Journal of Retailing*, *64*(1), 12–40.

Thanaporn, T., & Surapol, C. (2022). *Service quality factors affecting satisfaction of public university postal service users in Thailand*. Journal of Public Administration and Management, *11*(2), 55–70.

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.

Venkatesh, V., & Bala, H. (2008). Technology Acceptance Model 3 and a Research Agenda on Interventions. *Decision Sciences*, *39*(2), 273–315.

การทำนายมะเร็งปอดจากภาพ CT scan โดยใช้ Convolutional Neural Network

จิรายุ ทองคำ[1], ชุตินันท์ สวยสม[1] และ เสถียร หันตา[1*]

Lung Cancer Prediction from CT Scan Images Using Convolutional Neural Network

Jirayu Thongkam[1], Chutinun Suaysom[1] and Sathien Hunta[1*]

[1] School of Information and Communication Technology, University of Phayao, Phayao, 56000

[*] Corresponding author: sathien.hu@up.ac.th

Received: 19 June 2025; Revised: 13 October 2025; Accepted: 21 October 2025

บทคัดย่อ

มะเร็งปอดเป็นโรคที่มีความรุนแรงและเป็นสาเหตุสำคัญของการเสียชีวิตทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ การตรวจพบโรคตั้งแต่ระยะเริ่มต้นมีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากสามารถเพิ่มโอกาสในการรักษาและลดอัตราการเสียชีวิตได้อย่างมีนัยสำคัญ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา จัดเตรียมข้อมูลที่เหมาะสม และพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน (CNN) สำหรับการทำนายมะเร็งปอดโดยใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก โดยใช้ชุดข้อมูล Chest CT–Scan Images Dataset จากเว็บไซต์ Kaggle ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลภาพ CT scan มะเร็งปอดที่ไม่ใช่ชนิดเซลล์เล็ก จำนวนทั้งหมด 1,000 ภาพ แบ่งออกเป็น 4 คลาส ได้แก่ มะเร็งอะดีโนคาร์ซิโนมา, มะเร็งสความัสเซลล์, มะเร็งชนิดเซลล์ใหญ่ และปอดปกติ

งานวิจัยนี้ได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลอง 4 แบบ ได้แก่ ResNet50, VGG16, InceptionV3 และ DenseNet121 จากนั้นนำผลลัพธ์ของแต่ละแบบจำลองมาผสานด้วยวิธี Stacking Ensemble โดยใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องเป็นแบบจำลองเมตา 5 แบบ ได้แก่ Random Forest, Logistic Regression, Support Vector Machine, K–Nearest Neighbors และ Naive Bayes ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองที่รวมผลลัพธ์โดยใช้ Random Forest มีความแม่นยำสูงสุดที่ร้อยละ 98.73 ซึ่งสูงกว่าแบบจำลองเดี่ยวทั้งหมด

คำสำคัญ: มะเร็งปอด, เอกซเรย์คอมพิวเตอร์, การเรียนรู้ของเครื่อง, โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน, เทคนิคการรวมแบบจำลอง

[1] คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

Abstract

Lung cancer is a serious disease and a leading cause of death both in Thailand and worldwide. Early detection is crucial, as it significantly increases the chances of successful treatment and reduces mortality rates. This research aims to study and develop a deep neural network model for lung cancer prediction using computed tomography scan images. The dataset consists of 1,000 images classified into four categories: adenocarcinoma, squamous cell carcinoma, large cell carcinoma, and normal lung.

The study compared the performance of four deep learning models ResNet50, VGG16, InceptionV3, and DenseNet121. The results from each model were then combined using the Stacking Ensemble method with 5 machine learning techniques as meta models: Random Forest, Logistic Regression, Support Vector Machine, K-Nearest Neighbors, and Naive Bayes. Experimental results showed that the ensemble model using Random Forest achieved the highest accuracy of 98.73 percent, outperforming all individual models.

Keywords: Lung Cancer, CT Scan, Machine Learning, Convolutional Neural Network, Ensemble Method

Introduction

โรคมะเร็งปอดเป็นหนึ่งในโรคมะเร็งที่เสียชีวิตมากที่สุดในโลก องค์การอนามัยโลก (WHO) ระบุว่าในปี พ.ศ. 2563 มีผู้เสียชีวิตจากโรคมะเร็งเกือบ 10 ล้านคนทั่วโลก และในปีเดียวกันพบผู้ป่วยมะเร็งรายใหม่เพิ่มขึ้นถึง 18.1 ล้านคน มะเร็งปอดมีผู้ป่วยรายใหม่ 2.2 ล้านคนรองลงมาจาก มะเร็งเต้านมที่มีผู้ป่วยมากที่สุดในโลก (World Health Organization, 2025) สำหรับในประเทศไทยพบผู้เป็นมะเร็งปอดเป็นอันดับที่ 2 ของผู้ป่วยโรคมะเร็ง โดยมีผู้ป่วยรายใหม่เฉลี่ย 48 คนต่อวัน หรือ 17,222 คนต่อปี ในขณะข้อมูลจากสำนักงานปลัดกระทรวงสาธารณสุขปี 2565 ระบุว่ามีผู้เสียชีวิตจากมะเร็งปอดเฉลี่ย 40 คนต่อวัน หรือ 14,534 คนต่อปี (Thai Health Promotion Foundation, 2024) สาเหตุที่พบได้มากสุด โดยผู้ป่วยส่วนใหญ่เข้าพบแพทย์เมื่อโรคอยู่ในระยะลุกลาม ส่งผลให้การรักษาเป็นไปได้อย่างยากลำบาก โรคมะเร็งปอดสามารถแบ่งได้สองชนิดหลัก ได้แก่ มะเร็งปอดชนิดเซลล์เล็ก (Small Cell Lung Cancer: SCLC) พบได้ประมาณ 10–15% มีแนวโน้มในการเจริญเติบโตและแพร่กระจายรวดเร็วกว่ามะเร็งปอดไม่ใช่เซลล์เล็ก (Non-Small Cell Lung Cancer: NSCLC) ที่พบได้ประมาณ 80–85% โดยแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่ ชนิด Adenocarcinoma เกิดจากเซลล์เยื่อบุผิวที่ผลิตเมือกในปอด อาจเกิดในผู้ที่ไม่เคยสูบบุหรี่โดยมักพบในผู้หญิงและคนอายุน้อย ชนิด Large Cell Carcinoma สามารถเกิดได้ทั่วทั้งปอด และมีการเติบโตแพร่กระจายอย่างรวดเร็ว และชนิด Squamous Cell Carcinoma เกิดจากเซลล์เยื่อบุทางเดินหายใจ มักพบในบริเวณส่วนกลางของปอดใกล้กับหลอดลมใหญ่ (American Cancer Society, 2024) เพราะทั้งสองชนิดหลักมีการเจริญเติบโต และการรักษาที่แตกต่างกัน สำหรับบุคคลที่มีปัจจัยความเสี่ยงสูงต่อการเกิดมะเร็งปอด ได้แก่ ผู้ที่สูบบุหรี่ รับควันบุหรี่มือสอง มีประวัติครอบครัวเคยเป็นมะเร็ง หรือผู้ที่สัมผัสสารก่อมะเร็ง หรือฝุ่นควันเป็นประจำทุกวัน โดยเฉพาะฝุ่น PM 2.5 ซึ่งประกอบด้วยสารเคมีปนเปื้อนหลายชนิดที่เป็นสารก่อเกิดมะเร็ง (Department of Medical Services, 2024) โดยผู้ที่มีความความเสี่ยงดังนี้ การตรวจสุขภาพด้วย (Computerized Tomography Scan: CT scan) เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการตรวจพบมะเร็ง และรักษาให้หายได้หากพบได้ตั้งแต่ระยะเริ่มต้น ฉะนั้นจะเป็นการช่วยเพิ่มโอกาสในการรักษาของผู้ป่วย (BNH Hospital, 2025) จากการศึกษาของ U.S. National Lung Screening Trial (NLST) พบว่าการตรวจคัดกรองด้วย CT scan สามารถลดความเสี่ยงการเสียชีวิตจากโรคมะเร็งปอดได้ถึง 20% เมื่อมะเร็งถูกตรวจพบได้ในระยะแรกๆ เช่น ระยะที่ 1 หรือ ระยะที่ 2 สามารถได้รับการรักษาได้อย่างรวดเร็ว และสามารถรักษาให้หายขาดเพิ่ม

โอกาสรอดชีวิตในระยะยาว หากมะเร็งลุกลามไปในระยะที่ 3 และ 4 ผู้ป่วยจะต้องได้รับการรักษาที่หลากหลายขั้นตอน เป็นไปได้อย่างยากลำบาก (National Cancer Institute, 2021)

การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) เป็นเทคโนโลยีในการพัฒนาของอัลกอริทึมมาใช้เพื่อการสร้างแบบจำลอง และการปรับปรุงประสิทธิภาพของแบบจำลอง โดยนำมาช่วยในการวินิจฉัยทางการแพทย์ และประเมินความเสี่ยงของโรคต่าง ๆ รวมถึงมะเร็งปอดได้ โดยการใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ Artificial Intelligence (AI) สามารถทำให้คอมพิวเตอร์ทำงานที่ซับซ้อน วิเคราะห์ข้อมูล ปรับปรุงประสิทธิภาพได้อย่างต่อเนื่อง ช่วยลดความผิดพลาดในการทำงาน รวดเร็วและแม่นยำ (Alowais et al., 2023) ทั้งนี้การประมวลผลภาพ (Image Processing) มีบทบาทสำคัญในการแปลงข้อมูลภาพทางการแพทย์ให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ รวมถึงเทคนิคต่าง ๆ ที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของภาพ ได้แก่ การลดสัญญาณรบกวน การเพิ่มความคมชัด และการปรับแต่งคุณสมบัติของภาพเพื่อให้ข้อมูลที่ได้มีความชัดเจน ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการวินิจฉัยและการทำนาย (Tawfik et al., 2024)

การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) โดยเฉพาะสถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน Convolutional Neural Network (CNN) ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในงานวิเคราะห์ภาพทางการแพทย์ เนื่องจากสามารถเรียนรู้คุณลักษณะของภาพได้โดยอัตโนมัติ และมีความสามารถในการตรวจจับวัตถุ จำแนกภาพที่มีความซับซ้อนสูง (Li, Zhang, Chen, & Wang, 2025) ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงดำเนินการศึกษาและพัฒนากระบวนการแบบจำลองที่เหมาะสม โดยใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกอาศัยสถาปัตยกรรมของ Convolutional Neural Network (CNN) สำหรับการทำนายชนิดของมะเร็งปอดชนิดไม่ใช่เซลล์ขนาดเล็ก (NSCLC) โดยใช้แบบจำลอง CNN ที่เคยถูกฝึกมาแล้วและนำมาพัฒนาเพิ่มเติม โดยเน้นการเตรียมข้อมูลภาพให้มีคุณภาพ เช่น การตัดขอบพื้นหลังของภาพเพื่อลดข้อมูลที่ไม่เกี่ยวข้อง และช่วยแบบจำลองสามารถเรียนรู้เฉพาะบริเวณของเนื้อปอด จากนั้นใช้เทคนิค Data Augmentation เพื่อเพิ่มความหลากหลายของข้อมูล เช่น การหมุนภาพ การปรับความชัด และการพลิกภาพ ช่วยลดการเกิด overfitting ของแบบจำลอง นอกจากนี้ยังทำการ Fine-tuning ของแบบจำลอง โดยการปรับพารามิเตอร์ เช่น การเพิ่มชั้น Dense และใช้ Dropout เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของแบบจำลองในการเรียนรู้ลักษณะเฉพาะของมะเร็งปอดจากภาพ CT scan เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการทำนาย ทั้งนี้งานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้เทคนิคการรวมแบบจำลอง (Ensemble Method) โดยใช้วิธีการแบบ Stacking ซึ่งเป็นการรวมผลลัพธ์จากแบบจำลองย่อยหลายตัวเข้าด้วยกัน เพื่อสร้างแบบจำลองใหม่ที่สามารถเรียนรู้จากข้อมูลการทำนายของแบบจำลองย่อยเหล่านั้น และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำนายได้ดียิ่งขึ้น

Objectives

1. เพื่อศึกษากระบวนการที่เหมาะสมสำหรับการสร้างแบบจำลองสำหรับการทำนายมะเร็งปอด
2. เพื่อจัดเตรียมข้อมูลให้เหมาะสมและเพิ่มประสิทธิภาพความแม่นยำของแบบจำลอง
3. เพื่อพัฒนาแบบจำลองสำหรับทำนายมะเร็งปอดจากภาพ CT scan โดยใช้ CNN

Related Works

การศึกษางานวิจัยของ Lanjewar et al. (2023) เกี่ยวกับการทำนายและจำแนกประเภทมะเร็งปอดจากภาพ CT Scan ชุดข้อมูล Chest CT-Scan Images Dataset จากเว็บไซต์ Kaggle เลือกใช้แบบจำลอง DenseNet201 มีการปรับแต่งกับการใช้เทคนิค Feature Selection เพื่อคัดเลือกคุณลักษณะดีที่สุดจากแบบจำลอง โดยคุณลักษณะถูกคัดเลือกผ่าน 2 วิธี ดังนี้ วิธี ETC และ วิธี MRMR จากนั้นคุณลักษณะที่ได้ถูกรวมเข้าด้วยกันและนำไปใช้กับตัวแบบจำแนกประเภทในการเรียนรู้ของเครื่อง ได้แก่ (Support Vector Machine: SVM) และ (Logistic Regression: LR) พบว่ามีผลการวิจัยดีกว่า (Random Forest: RF), (Decision Tree: DT), (Naive Bayes: NB) และ (K-Nearest Neighbors: KNN) นอกจากนี้เลือกใช้

เทคนิคประเมินผลด้วยวิธี 5-fold cross-validation พบว่าความแม่นยำเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 95% ในทำนองเดียวกัน Mamun et al. (2023) ใช้ชุดข้อมูลเดียวกัน ทั้งหมด 964 ภาพ ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบแบบจำลอง ได้แก่ InceptionV3, Xception และ ResNet50 โดยเลือกใช้เทคนิคในการประเมินประสิทธิภาพ ดังนี้ ความแม่นยำ, พื้นที่ใต้กราฟ, ค่าการเรียกกลับ และ ค่าความสูญเสีย จากการศึกษาพบว่า Inception V3, Xception และ ResNet50 ได้ค่าความแม่นยำ 84.13%, 82.1% และ 82.07% ตามลำดับ ในขณะที่แบบจำลอง CNN (Custom CNN) ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดได้ค่าความแม่นยำ 92% ค่าคะแนนพื้นที่ใต้กราฟ 98.21% ค่าการเรียกกลับ 91.72% และค่าความสูญเสีย 0.328 ผลลัพธ์นี้เห็นว่าแบบจำลอง Custom CNN ที่ออกแบบขึ้นมามีประสิทธิภาพสูงในการตรวจจับมะเร็งปอดจากภาพ CT scan Ishrat Khan et al. (2022) ได้พัฒนาแบบจำลองโดยแบ่งข้อมูลมะเร็งปอดออกเป็น 4 กลุ่ม งานวิจัยนี้ทดลองใช้แบบจำลองของ CNN ได้แก่ ResNet101, InceptionV3, VGG16 และ DenseNet169 ที่ถูกฝึกมาก่อนผ่านเทคนิค Transfer Learning ซึ่งช่วยให้แบบจำลองสามารถเรียนรู้คุณลักษณะเฉพาะของภาพ CT Scan และทำการปรับแต่งบางชั้นของแบบจำลอง (Fine-tuning) เพื่อให้แบบจำลองเข้าใจลักษณะของกลุ่มมะเร็งปอดที่ดีกว่าเดิม และได้ความแม่นยำ 90.95%, 91.74%, 82.78% และ 88.97% ตามลำดับ จากนั้นทดลองนำเทคนิค Ensemble CNN โดยทำการรวมแบบจำลอง ResNet101 และ InceptionV3 เข้าด้วยกัน ผลการศึกษาพบว่าการทำเทคนิค Ensemble ให้ผลสูงที่สุดโดยมีความแม่นยำอยู่ที่ 93.7%

ในงานวิจัยของ Anil Kumar Swain et al. (2024) ได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างแบบจำลอง VGG16, ResNet50 และ InceptionV3 สำหรับการจำแนกมะเร็งปอดชนิด NSCLC ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่า InceptionV3 มีประสิทธิภาพดีที่สุด โดยให้ค่าความแม่นยำ 98.29% นอกจากนี้งานของ Asadullah Shaikh et al. (2025) เกี่ยวกับการตรวจจับและแบ่งส่วนเนื้องอกสมองจากภาพ MRI โดยใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกร่วมกับ Stacking Ensemble Learning (SEL) โดยออกแบบให้ DenseNet201 ทำหน้าที่เป็น meta model รวมการทำนายจาก 6 แบบจำลองพื้นฐาน ได้แก่ MobileNetv3, 3DCNN, VGG16, VGG19, ResNet50 และ AlexNet นอกจากนี้ยังใช้เทคนิค Image enhancement และ Augmentation การทดลองพบว่า SEL-DenseNet201 ทำงานได้ดีที่สุดโดยมีความแม่นยำ 99.65% และงานวิจัยของ Robiul Islam & Nahiduzzaman (2022) ประยุกต์ใช้ Convolutional Neural Network (CNN) ในการสกัดคุณลักษณะสำคัญจากภาพ CT Scan ของผู้ป่วย COVID-19 โดยก่อนประมวลผลได้นำเทคนิค Contrast Limited Histogram Equalization (CLAHE) มาปรับปรุงคุณภาพของภาพ จากนั้นคุณลักษณะที่สกัดได้ถูกนำไปเข้าสู่ แบบจำลองการเรียนรู้เครื่องหลายแบบ ได้แก่ Gaussian Naive Bayes, SVM, Decision Tree, Logistic Regression และ Random Forest และใช้ Soft Voting Ensemble เพื่อรวมผลการทำนายของแต่ละแบบจำลอง ผลการทดลองพบว่าแบบจำลอง Ensemble ที่พัฒนาขึ้นสามารถจำแนกภาพ CT ของ COVID-19 ได้อย่างแม่นยำสูงสุด โดยมีความแม่นยำถึง 99.73%

Methodology

งานวิจัยนี้พัฒนาแบบจำลองโดยใช้ภาษา Python โดยใช้ไลบรารีของ TensorFlow และ Keras สำหรับการพัฒนาแบบจำลองของ CNN บนแพลตฟอร์ม Google Colaboratory (Colab) ซึ่งเป็นเครื่องมือช่วยในการประมวลผล ชุดข้อมูลจาก Kaggle (Mohamed Hany, 2024) ในหัวข้อ Chest CT-Scan Images Dataset ซึ่งเป็นแหล่งข้อมูลแบบเปิดที่สามารถเข้าถึงสาธารณะ ประกอบด้วยภาพ CT Scan ที่มีการติดฉลากและแบ่งชนิดต่าง ๆ ของมะเร็งปอดชนิดไม่ใช่เซลล์เล็ก (NSCLC) และปอดปกติ ภาพเหล่านี้เป็นรูปแบบ RGB โดยประเภทไฟล์ภาพเป็น jpeg และ png แสดงใน Figure 1 และมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

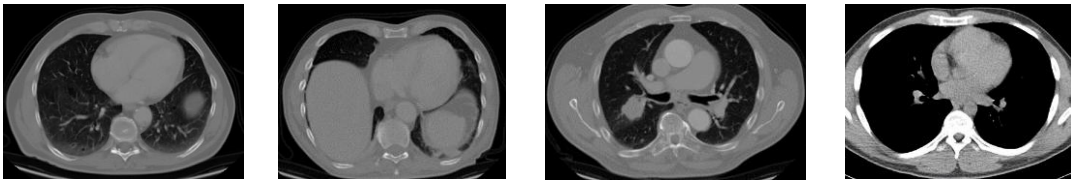


Figure 1 Representative CT scan images of different types of lung cancer and normal lung tissue

กระบวนการเตรียมข้อมูล

งานวิจัยนี้มีการวางแผนกระบวนการพัฒนาแบบจำลอง โดยแสดงลำดับการดำเนินงานตั้งแต่การคัดเลือกชุดข้อมูล การจัดเตรียมข้อมูล การจัดเตรียมภาพ การฝึกแบบจำลอง การประเมินผล ไปจนถึงการใช้เทคนิครวมผลลัพธ์แสดงใน Figure 2 และมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

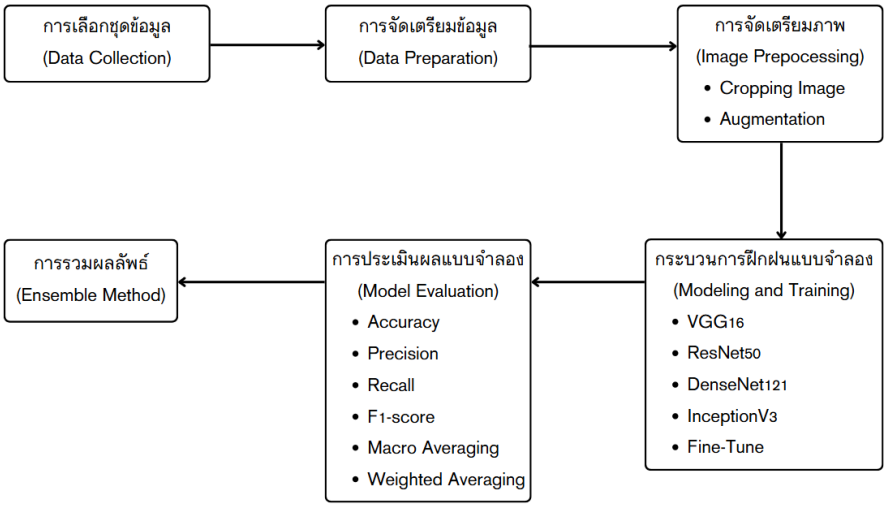


Figure 2 Flowchart of the model development process

การเตรียมข้อมูลสำหรับการศึกษานี้ ชุดข้อมูลประกอบด้วยภาพ CT Scan ของมะเร็งปอด (NSCLC) จำนวนทั้งหมด 1,000 ภาพ โดยข้อมูลภาพถูกแบ่งตามชนิดของมะเร็งปอดทั้ง 4 คลาส ได้แก่ คลาส 0 = Adenocarcinoma, คลาส 1 = Large Cell Carcinoma, คลาส 2 = Normal (ปอดปกติ) และคลาส 3 = Squamous Cell Carcinoma โดยแบ่งออกเป็น 3 ชุด ได้แก่ ชุดฝึกฝน (Training set) จำนวน 613 ภาพ (ร้อยละ 70), ชุดตรวจสอบ (Validation set) จำนวน 72 ภาพ (ร้อยละ 10) และ ชุดทดสอบ (Testing set) จำนวน 315 ภาพ (ร้อยละ 20) โดยแต่ละภาพจะถูกตัดขอบพื้นหลังเพื่อแสดงเฉพาะบริเวณของเนื้อปอดก่อนนำเข้าสู่กระบวนการพัฒนาแบบจำลอง ซึ่งการตัดขอบภาพสามารถช่วยลดข้อมูลรบกวนและเรียนรู้ลักษณะได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น แสดงใน Figure 3

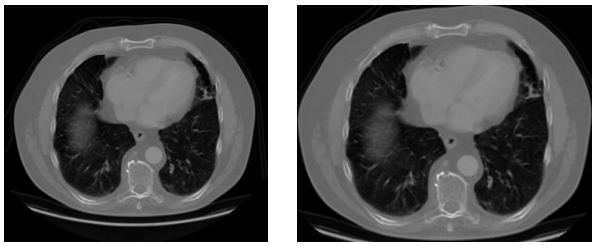


Figure 3 CT scan images before and after background removal

กระบวนการสร้างแบบจำลอง

งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการเลือกใช้สถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน (CNN) ได้แก่ ResNet50, VGG16, InceptionV3, DenseNet121 ซึ่งเป็นแบบจำลองที่นิยมใช้ในงานด้านการประมวลผลภาพ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. ResNet50 พัฒนาโดยทีมวิจัยของ Kaiming He, Xiangyu Zhang, Shaoqing Ren และ Jian Sun จาก Microsoft Research Asia (MSRA) ถูกนำเสนอครั้งแรกในงานประชุม CVPR ในปี 2015 มีความลึก 50 ชั้น ถูกออกแบบมาเพื่อลดปัญหาการสูญเสียข้อมูลระหว่างการเรียนรู้ รองรับขนาดนำเข้าของภาพที่ 224 × 224 พิกเซล และเป็นหนึ่งในแบบจำลองยอดนิยมสำหรับงานด้าน การจำแนกภาพ การตรวจจับวัตถุ และการแยกส่วนของภาพ (He et al., 2015)

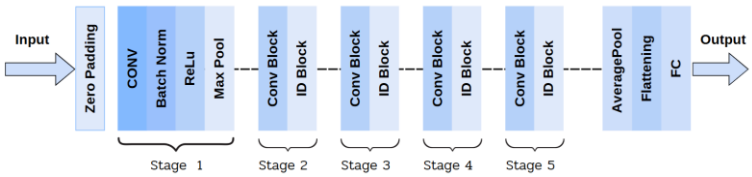


Figure 4 Architecture of the ResNet50 model

2. VGG16 พัฒนาโดยทีมวิจัยของ Karen Simonyan และ Andrew Zisserman จาก Visual Geometry Group (VGG) University of Oxford ถูกเผยแพร่ผ่าน arXiv ในปี 2014 มีความลึก 16 ชั้น ถูกออกแบบมาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจำแนกภาพโดยใช้ฟิลเตอร์ขนาดเล็ก (3×3) หลายชั้นต่อเนื่องกันแทนการใช้ฟิลเตอร์ขนาดใหญ่ รองรับขนาดนำเข้าของภาพที่ 224 × 224 พิกเซล (Simonyan & Zisserman, 2014)

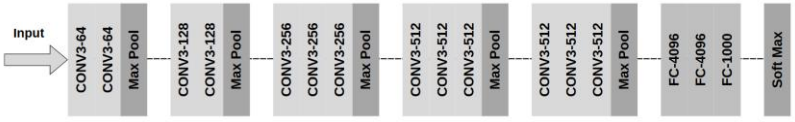


Figure 5 Architecture of the VGG16 model

3. DenseNet121 ถูกพัฒนาโดยทีมวิจัยของ Gao Huang, Zhuang Liu, Laurens van der Maaten และ Kilian Q. Weinberger จาก Cornell University และ Facebook AI Research (FAIR) ถูกนำเสนอครั้งแรกในงานประชุม IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) ในปี 2017 ออกแบบมาให้มีการเชื่อมต่อระหว่างทุกชั้นของโครงข่ายโดยตรง ซึ่งช่วยให้การไหลของข้อมูลและกราดิเอนต์ดีขึ้น ลดปัญหาการสูญเสียข้อมูล และช่วยให้สามารถใช้พารามิเตอร์น้อยกว่ารุ่นก่อนหน้า เช่น ResNet โดย DenseNet ที่มีความลึก 121 ชั้น และรองรับขนาดภาพนำเข้า 224 × 224 พิกเซล (Huang et al., 2017)

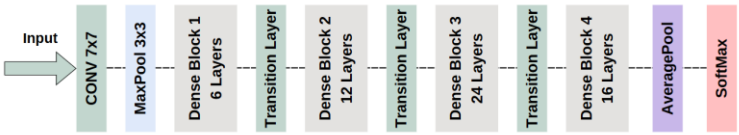


Figure 6 Architecture of the DenseNet121 model

4. InceptionV3 ถูกพัฒนาโดย Christian Szegedy และคณะ จาก Google Research และถูกนำเสนอครั้งแรกในงานประชุม CVPR ปี 2016 เป็นโครงข่ายประสาทเทียมแบบ CNN ที่มีความลึก 48 ชั้น ถูกออกแบบมาเพื่อลดจำนวนพารามิเตอร์ โดยใช้ Factorized Convolutions และ Batch Normalization ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเรียนรู้ รองรับขนาดนำเข้าของภาพที่ 299 × 299 พิกเซล (Szegedy et al., 2016)

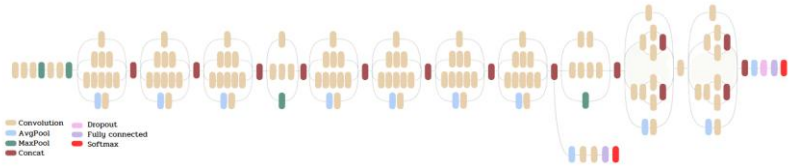


Figure 7 Architecture of the InceptionV3 model

กระบวนการเพิ่มข้อมูลฝึก

เนื่องจากข้อมูลภาพที่ใช้ในการฝึกฝนมีความหลากหลายไม่เพียงพอ และแบบจำลองเรียนรู้รายละเอียดและสัญญาณรบกวนในชุดข้อมูลฝึกมากเกินไป จนไม่สามารถทำนายผลได้อย่างแม่นยำเมื่อประเมินด้วยข้อมูลใหม่ที่ไม่เคยเห็นมาก่อน จากข้อมูลที่มีจำกัด งานวิจัยนี้เลือกใช้เทคนิค Data Augmentation เพื่อเพิ่มความหลากหลายของภาพ ช่วยให้แบบจำลองเรียนรู้ได้จากข้อมูลที่หลากหลายมากขึ้น โดยวิธีการที่งานวิจัยนี้เลือกใช้มีดังต่อไปนี้

1. การพลิกภาพ (Image Flipping) คือ การพลิกภาพตามแนวนอนหรือแนวตั้ง การพลิกภาพช่วยให้แบบจำลองสามารถเรียนรู้ลักษณะของภาพจากหลายมุมมอง (Shorten & Khoshgoftaar, 2019)

2. การปรับปรุงความชัด (Contrast Adjustment) คือ การปรับปรุงภาพต้นฉบับ เช่น การเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มสีของภาพ เพื่อทำให้วัตถุในภาพมองเห็นได้ชัดเจนขึ้น (Shorten & Khoshgoftaar, 2019)

3. การหมุนภาพ (Rotation) คือ หมุนภาพด้วยองศาที่แตกต่างกันตามมุมที่กำหนด และเกิดการเปลี่ยนแปลงของตำแหน่งและรูปร่างของวัตถุในภาพ (Perez & Wang, 2017)

ภาพต้นฉบับที่ใช้ในกระบวนการฝึกแบบจำลองเป็นภาพที่ได้จากชุดข้อมูล ซึ่งยังไม่เข้าสกระบวนการปรับแต่งหรือการเพิ่มข้อมูลด้วยเทคนิค Data Augmentation แสดงใน Figure 8



Figure 8 Original CT scan images

ภาพแสดงผลลัพธ์จากการนำภาพเข้าสู่กระบวนการ Data Augmentation ซึ่งแปลงจากภาพต้นฉบับให้มีความหลากหลาย โดยใช้ใช้เทคนิคต่าง ๆ ได้แก่ การพลิกภาพ การปรับปรุงความชัด และการหมุนภาพ แสดงใน Figure 9

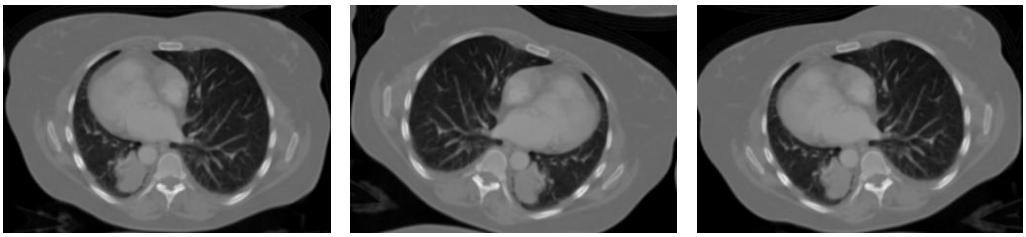


Figure 9 CT scan images after data augmentation

กระบวนการพัฒนาแบบจำลอง

การพัฒนาแบบจำลอง CNN ได้แก่ ResNet50, VGG16, DenseNet121 และ InceptionV3 เพื่อจำแนกมะเร็งปอดจากภาพ CT scan จำเป็นต้องกำหนดขนาดภาพนำเข้าให้เหมาะสมกับแบบจำลอง เนื่องจากมีข้อกำหนดมาตรฐานที่แตกต่างกัน โดยแต่ละแบบจำลองมีลักษณะการกำหนดขนาดภาพดังนี้ ResNet50, VGG16 และ DenseNet121 กำหนดให้มีการปรับปรุงพารามิเตอร์และการ Fine-tune แต่ละแบบจำลองเป็นส่วนสำคัญของกระบวนการฝึกฝน โดยการกำหนดค่าขนาดชุดข้อมูล (Batch Size), ขนาดภาพนำเข้า (Input Size), การล็อกชั้น (Freeze) และ การปลดล็อกชั้น (Unfreeze layers), การตั้งค่าชั้นเชื่อมโยง (Dense Layer), ชั้นตัดการเชื่อมโยง (Dropout Laye)r และจำนวนรอบการฝึก (Epochs) ของแต่ละแบบจำลองมีรายละเอียด แสดงใน Table 1

Table 1 Parameter optimization and fine-tuning strategies of each model

Model	Batch Size	Input Size	Freeze Layers	Unfreeze Layers	Dense Layer	Dropout Layer	Epochs
ResNet50	32	224 × 224		block5	1024	0.3	100
					512	0.2	
VGG16	32	224 × 224		block4 ~ block5	256	0.4	100
			All		64	0.3	
InceptionV3	32	299 × 299		Last 50	512	0.3	100
					256	0.2	
DenseNet121	32	224 × 224		Last 50	512	0.3	100
					256	0.2	

กระบวนการประเมินผลและวัดประสิทธิภาพของแบบจำลอง

การวัดประสิทธิภาพของแบบจำลอง (Performance Evaluation of Models) ในการประเมินผลการทำนายมะเร็งปอดจากภาพ CT scan โดยแต่ละแบบจำลองทำการวัดประสิทธิภาพโดยใช้ตัวชี้วัด ดังต่อไปนี้

1. Accuracy คือ อัตราการทำนายถูกต้องทั้งหมดของแบบจำลองจากข้อมูลทั้งหมด (Google Developers, 2025) ดังสมการที่ 1

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TN + FP + TP + FN} \quad \text{(Equation 1)}$$

2. Precision คือ อัตราการทำนายว่าเป็นชนิดของมะเร็งแล้วถูกต้องจริงๆ จากทั้งหมดที่แบบจำลองทำนายว่าเป็นชนิดของมะเร็ง (Google Developers, 2025) ดังสมการที่ 2

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad \text{(Equation 2)}$$

3. Recall คือ อัตราการตรวจจับมะเร็งได้ครบถ้วนจากจำนวนของชนิดมะเร็งทั้งหมดในชุดข้อมูล โดยพิจารณาจากตัวอย่างทั้งหมดที่เป็นมะเร็งในข้อมูลจริง (Google Developers, 2025) ดังสมการที่ 3

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad \text{(Equation 3)}$$

โดยที่

TP (True Positives) = จำนวนตัวอย่างที่แบบจำลองทำนายถูกต้องและเป็นคลาสเฉลยจริง

FN (False Negatives) = จำนวนตัวอย่างที่แบบจำลองทำนายผิดและไม่ใช่คลาสเฉลยจริง

FP (False Positives) = จำนวนตัวอย่างที่แบบจำลองทำนายผิดและเป็นคลาสเฉลยจริง

TN (True Negatives) = จำนวนตัวอย่างที่แบบจำลองทำนายถูกต้องและไม่ใช่คลาสเฉลยจริง

4. F1–Score คือ ค่าที่ใช้วัดประสิทธิภาพในการทำนายผลระหว่าง Precision และ Recall ซึ่งแสดงถึงความสมดุลระหว่างความสามารถในการทำนายผลบวกได้อย่างถูกต้อง (Taha & Hanbury, 2015) ดังสมการที่ 4

$$F1 = 2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall} \quad \text{(Equation 4)}$$

5. Confusion Matrix คือ แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าทำนายที่ได้กับค่าจริงของแต่ละคลาสของมะเร็งปอด (Powers, 2011)

การประเมินผลแบบจำลองสำหรับ Multiclass Classification เนื่องจากงานวิจัยทำนาย 4 คลาส รวมถึงการใช้เมตริกต่าง ๆ ที่เหมาะสมกับประเภทการจำแนกหลายคลาส

1. Macro คือ การคำนวณค่า Precision, Recall, และ F1–Score แยกตามแต่ละคลาส จากนั้นนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยเลขคณิต เพื่อประเมินประสิทธิภาพโดยรวมของแบบจำลองอย่างเท่าเทียมกันในแต่ละคลาส (Juri Opitz & Sebastian Burst, 2021) ดังสมการที่ 5

$$Macro\ Average = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} Matric_i \quad \text{(Equation 5)}$$

โดยที่ N คือ จำนวนคลาส

$Matric_I$ คือ ค่า Precision, Recall หรือ F1–Score ของคลาสที่ i

2. Weighted คือ การถ่วงน้ำหนักค่า Precision, Recall, และ F1–Score สำหรับแต่ละคลาสนำจำนวนตัวอย่างในแต่ละคลาสมาเป็นน้ำหนักในการเฉลี่ยผลลัพธ์ (Juri Opitz & Sebastian Burst, 2021) ดังสมการที่ 6

$$Weighted\ Average = \frac{\Sigma_{i=1}^{N}\ (Metric_i \times Support_i)}{\Sigma_{i=1}^{N}\ Support_i} \qquad \text{(Equation 6)}$$

โดยที่ $\mathrm{Support_i}$ คือจำนวนตัวอย่างในคลาสที่ i

เทคนิคการรวมผลลัพธ์แบบ Stacking ด้วยแบบจำลอง Deep Learning

แนวคิดของ Stacking Model มีรากฐานจาก Wolpert (1992) ซึ่งเสนอแนวทาง Stacked Generalization โดยใช้ meta learner ประมวลผลผลลัพธ์จากแบบจำลองฐานหลายตัว เพื่อลดความผิดพลาดและเพิ่มความแม่นยำของแบบจำลอง การทดลองของแสดงให้เห็นว่า Stacking สามารถเพิ่มความแม่นยำได้ทั้งเมื่อใช้หลายแบบจำลองพร้อมกัน โดยงานของ Jannatul Ferdous & Rifat Shahriyar (2024) พัฒนาแบบจำลอง ENSNET สำหรับทำนายโรคหลอดเลือดสมอง โดยรวมแบบจำลอง InceptionV3 และ Xception ผ่านวิธี averaging ensemble ขณะที่ Dhaval J. Rana & Keyur Rana (2025) ใช้ Transfer Learning ร่วมกับแบบจำลองเชิงลึกหลายแบบ และพัฒนาแบบจำลอง Stacking เพื่อรวมผลลัพธ์จากแบบจำลองฐานหลายตัวเข้าด้วยกัน

ในการศึกษางานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องที่ทำการรวมหลายๆ แบบจำลองเข้าด้วยกัน เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่แม่นยำและเสถียรกว่าแบบจำลองเดี่ยว เรียกว่า Stacking Model (IBM, 2024) กระบวนการดำเนินงานประกอบด้วย 2 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองฐาน (base models) โดยเลือกแบบจำลองของ CNN จำนวน 4 แบบจำลอง ได้แก่ VGG16, ResNet50, DenseNet121, และ InceptionV3 โดยแบบจำลองทั้งหมดผ่านการฝึกฝนบนชุดข้อมูลภาพ CT Scan ของปอด โดยผลลัพธ์ของแต่ละแบบจำลองจะอยู่ในรูปของค่าความน่าจะเป็น (probabilities) ของแต่ละคลาส ในส่วนค่าผลลัพธ์จากทั้ง 4 แบบจำลองจะถูกนำมารวมกันด้วยวิธีการเชื่อมต่อในแนวนอน (concatenation) เพื่อสร้างเวกเตอร์ขนาด 4×4 ซึ่งประกอบไปด้วยคุณลักษณะ (features) ถูกใช้เป็นข้อมูลนำเข้าให้กับแบบจำลองเมตา (meta model) แสดงใน Figure 10 โดยงานวิจัยนี้ได้ทดลองใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning Algorithms) ประเภทการจำแนกต่าง ๆ จำนวน 5 แบบ เพื่อทำการทำนายผลลัพธ์ขั้นตอนสุดท้าย ได้แก่

1. RF เป็นแบบจำลองป่าสุ่มประกอบด้วยต้นไม้การตัดสินใจหลายต้น วิธีการเรียนรู้แบบรวมกลุ่มประกอบด้วยชุดของตัวจำแนกประเภท โดยการคาดการณ์จะถูกรวบรวมเพื่อระบุผลลัพธ์ที่ได้รับความนิยมมากที่สุด (IBM, 2025)

2. LR เป็นแบบจำลองทางสถิติชนิดหนึ่งที่ใช้สำหรับทำนายความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่มีผลลัพธ์เป็นสองกลุ่มโดยจะใช้ฟังก์ชันลอจิสติก (logistic function) หรือที่เรียกว่า sigmoid function เพื่อแปลงค่าผลรวมเชิงเส้นของตัวแปรอิสระให้เป็นค่าความน่าจะเป็นที่อยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 (Friedman, Hastie, & Tibshirani, 2020)

3. SVM เป็นทำการจำแนกข้อมูลโดยการหาค่ากราฟเส้นตรงหรือไฮเปอร์เพลน (hyperplane) ที่เหมาะสมที่สุดในเชิงคณิตศาสตร์ ซึ่งช่วยเพิ่มระยะห่างสูงสุดระหว่างแต่ละคลาส (IBM, 2025)

4. KNN เป็นการใช้ระยะห่างจากจำนวน K จุด เพื่อจำแนกประเภทคลาสเสียงส่วนใหญ่ของข้อมูลจากเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุดแต่ละจุดในบริเวณนั้น (IBM, 2025)

5. NB เป็นอัลกอริทึมที่ใช้หลักการหาค่าความน่าจะเป็นที่ในการจำแนกประเภทคลาสคำนึงถึงอิสระต่อกันของคุณลักษณะแต่ละตัว (IBM, 2025)

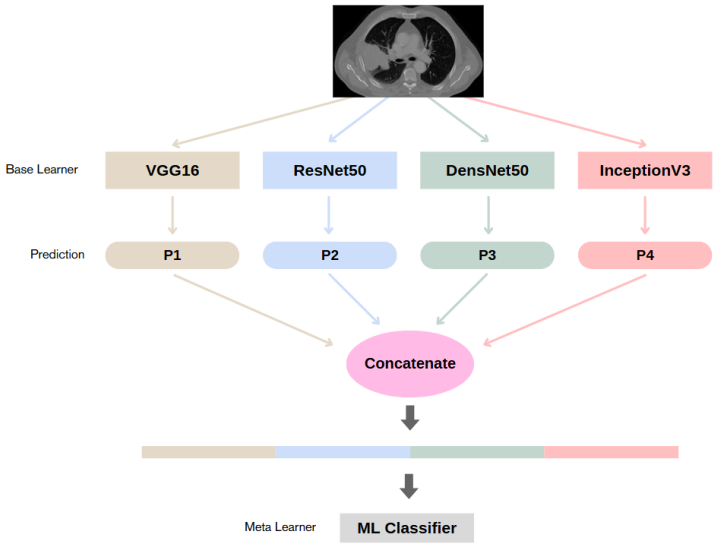


Figure 10 Stacking ensemble framework for model integration

Results

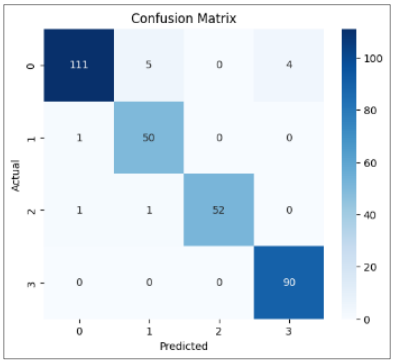
จากการศึกษากระบวนการและการจัดเตรียมข้อมูลที่เหมาะสมในการพัฒนาสำหรับการสร้างแบบจำลอง CNN เพื่อทำนายมะเร็งปอดจากภาพ CT scan งานวิจัยนี้เลือกใช้สถาปัตยกรรมต่าง ๆ ได้แก่ ResNet50, VGG16, InceptionV3, และ DenseNet121 โดยมุ่งทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของแต่ละแบบจำลองผ่านการปรับพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยเฉพาะอัตราการเรียนรู้ (Learning Rate) ซึ่งในแต่ละการทดลอง งานวิจัยนี้เลือกใช้ Optimizer ต่าง ๆ เช่น Adam และ Adamax พร้อมกำหนดค่าอัตราการเรียนรู้ที่ 3 ระดับ คือ 0.01, 0.001 และ 0.0001 เพื่อประเมินผลต่อค่าความแม่นยำ และค่าการสูญเสียของแบบจำลองในแต่ละชุดข้อมูล

จากการทดลองของแบบจำลอง ResNet50 พบว่า การใช้ Optimizer แบบ Adamax ร่วมกับค่า Learning Rate ที่ 0.001 ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด โดยสามารถจำแนกข้อมูลในชุด Train, Validation และ Test ได้ด้วยค่า Accuracy เท่ากับ 99.84%, 93.06% และ 95.56% ตามลำดับ ขณะที่แบบจำลอง VGG16 ให้ผลลัพธ์ดีที่สุดเมื่อใช้ Optimizer แบบ Adamax และ Learning Rate ที่ 0.0001 โดยได้ค่า Accuracy เท่ากับ 97.39%, 87.50% และ 95.87% ตามลำดับ ในส่วนของแบบจำลอง InceptionV3 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้ Optimizer แบบ Adam ร่วมกับ Learning Rate ที่ 0.001 ให้ผลลัพธ์ดีที่สุด โดยมี Accuracy เท่ากับ 99.67% บนชุด Train, 94.44% บนชุด Validation และ 96.19% บนชุด Test ขณะที่แบบจำลอง DenseNet121 ให้ผลลัพธ์สูงสุดเมื่อใช้ Optimizer แบบ Adamax และค่า Learning Rate ที่ 0.001 เช่นเดียวกับ ResNet50 โดยให้ค่า Accuracy เท่ากับ 99.51%, 91.67% และ 95.87% ในชุดข้อมูล Train, Validation และ Test ตามลำดับ แสดงใน Table 2

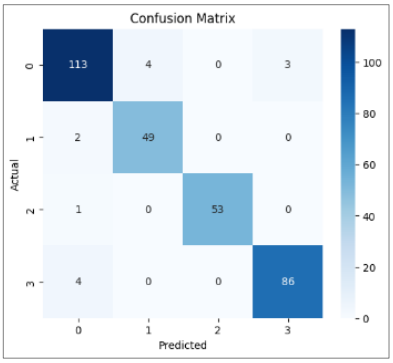
Table 2 Experimental results of different optimizers and learning rates for each model

Model	Optimizer	Learning Rate	Accuracy			Loss		
			Train	Val	Test	Train	Val	Test
ResNet50	Adam	0.01	99.51	88.89	93.97	0.01	0.61	0.23
		0.001	99.35	87.50	93.02	0.009	0.48	0.20
		0.0001	99.67	91.67	93.65	0.008	0.43	0.20
	Adamax	0.01	99.35	87.50	94.29	0.01	0.40	0.24
		0.001	99.84	93.06	95.56	0.008	0.50	0.25
		0.0001	99.02	86.11	90.48	0.03	0.39	0.25
VGG16	Adam	0.01	70.96	48.61	65.07	0.67	1.29	0.95
		0.001	71.13	52.78	73.97	0.66	1.05	0.78
		0.0001	98.04	83.33	92.69	0.07	0.57	0.33
	Adamax	0.01	69.00	47.22	66.35	0.70	1.09	0.90
		0.001	69.98	56.94	70.79	0.62	0.96	0.68
		0.0001	97.39	87.50	95.87	0.08	0.45	0.24
InceptionV3	Adam	0.01	99.51	93.06	95.24	0.01	0.50	0.19
		0.001	**99.67**	**94.44**	**96.19**	0.008	0.33	0.30
		0.0001	99.02	86.11	93.65	0.02	0.49	0.32
	Adamax	0.01	99.35	91.67	94.92	0.01	0.47	0.27
		0.001	99.51	91.67	93.97	0.01	0.42	0.26
		0.0001	98.69	83.33	88.25	0.05	0.44	0.33
DenseNet121	Adam	0.01	98.86	87.50	95.24	0.02	0.73	0.37
		0.001	99.02	91.67	93.01	0.01	0.51	0.48
		0.0001	98.37	88.89	91.11	0.05	0.53	0.26
	Adamax	0.01	99.67	91.67	95.55	0.01	0.39	0.36
		0.001	99.51	91.67	95.87	0.02	0.30	0.24
		0.0001	93.31	81.94	84.76	0.18	0.57	0.38

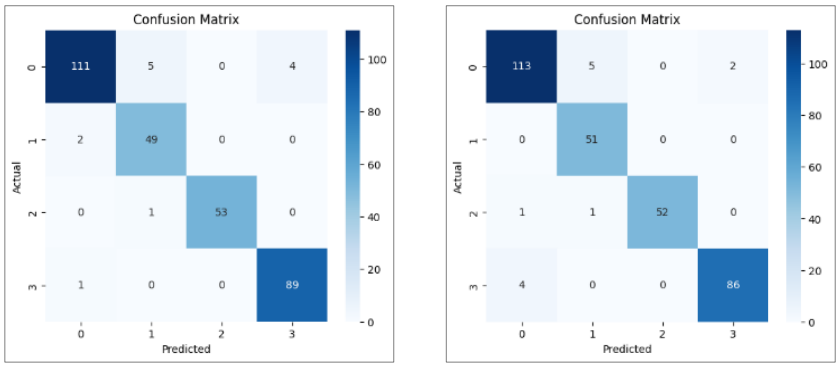
ในการประเมินความสามารถของแบบจำลองในการจำแนกภาพในแต่ละคลาส งานวิจัยนี้ใช้ Confusion Matrix จากชุดข้อมูลทดสอบที่มีข้อมูลภาพจำนวนทั้งหมด 315 ภาพ ซึ่งช่วยให้เห็นถึงความแม่นยำในการจำแนกของแต่ละคลาส โดยแสดงจำนวนตัวอย่างที่จำแนกถูกต้องและผิดพลาดอย่างชัดเจน แสดงใน Figure 11



(1) InceptionV3



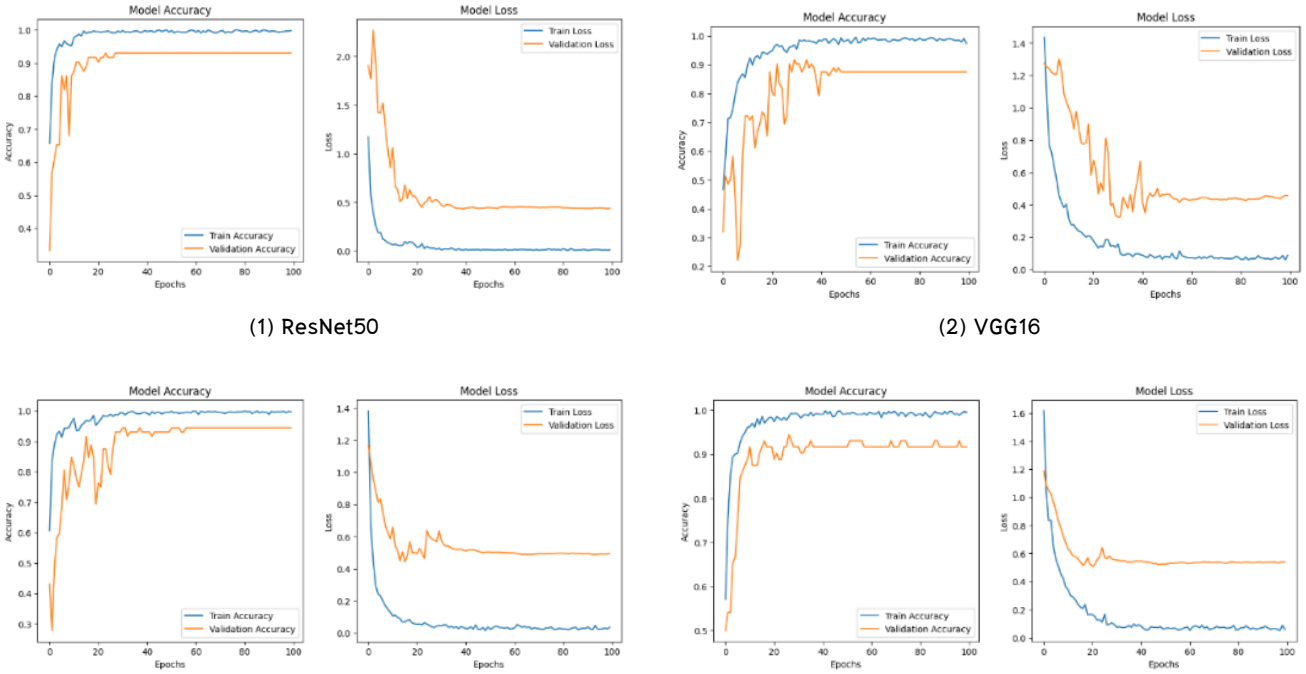
(2) ResNet50



(3) VGG16 (4) DenseNet121

Figure 11 Confusion matrices of each deep learning model

งานวิจัยนี้ได้พิจารณาค่าความแม่นยำ และค่าความสูญเสีย จากชุดข้อมูล Train และ Validation เพื่อดูว่าแบบจำลองสามารถเรียนรู้และปรับตัวได้ดีเพียงใดระหว่างการฝึกฝน โดยสรุปผลลัพธ์ในแต่ละแบบจำลองแสดงในรูปแบบกราฟให้เห็นแนวโน้มค่าความแม่นยำ และค่าสูญเสียตลอดช่วงการฝึกของแบบจำลอง แสดงใน Figure 12



(1) ResNet50 (2) VGG16

(3) InceptionV3 (4) DenseNet121

Figure 12 Training and validation accuracy and loss curves of each model

จากผลการทดลองพบว่า แบบจำลอง ResNet50, VGG16, InceptionV3 และ DenseNet121 สามารถจำแนกประเภทของมะเร็งปอดได้อย่างแม่นยำ โดยทุกแบบจำลองให้ค่า Precision, Recall และ F1-Score สูงสุดถึง 0.98 และ 1.00 ตามลำดับ นอกจากนี้ ค่าคะแนนเฉลี่ยแบบ Macro และ Weighted ของแบบจำลองประมาณ 0.96 แสดงใน Table 3 และมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

Table 3 Class-wise performance, Macro and Weighted averages of each model

Model	Metric	Class 0	Class 1	Class 2	Class 3	Macro	Weighted
ResNet50	Precision	0.94	0.92	1.00	0.97	0.96	0.96
	Recall	0.94	0.96	0.98	0.96	0.96	0.96
	F1-Score	0.94	0.94	0.99	0.96	0.96	0.96
VGG16	Precision	0.97	0.89	1.00	0.96	0.96	0.96
	Recall	0.93	0.96	0.98	0.99	0.96	0.96
	F1-Score	0.95	0.92	0.99	0.97	0.96	0.96
InceptionV3	Precision	0.98	0.89	1.00	0.96	0.96	0.96
	Recall	0.93	0.98	0.96	1.00	0.97	0.96
	F1-Score	0.95	0.93	0.98	0.98	0.96	0.96
DenseNet121	Precision	0.96	0.89	1.00	0.98	0.96	0.96
	Recall	0.94	1.00	0.96	0.96	0.97	0.96
	F1-Score	0.95	0.94	0.98	0.97	0.96	0.96

จากการทดลองแบบจำลอง InceptionV3 มีค่าความแม่นยำจากการทดสอบสูงที่สุด เท่ากับ 96.19 แต่มีค่าสูญเสีย ที่สูงสุดเมื่อเทียบกับแบบจำลองอื่น ๆ ในขณะที่แบบจำลอง VGG16 และ DenseNet121 ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในส่วนของค่าสูญเสียที่ต่ำที่สุดโดยทั้งสองแบบจำลองมีความแม่นยำเท่ากันที่ 95.87% สำหรับ ResNet50 ถึงแม้จะมีความแม่นยำต่ำสุด แต่ยังคงมีผลลัพธ์ที่ดีในการทำนายมะเร็งปอดจากภาพ CT Scan

จากผลการทดลองพบว่า InceptionV3 สามารถจำแนกภาพ CT scan ได้ถูกต้องสำหรับแต่ละคลาส ได้แก่ adenocarcinoma (0), large cell carcinoma (1), normal (2) และ squamous cell carcinoma (3) โดยแสดงผลการทำนาย (Pred) และ ค่าจริง (GT) แสดงใน Figure 13

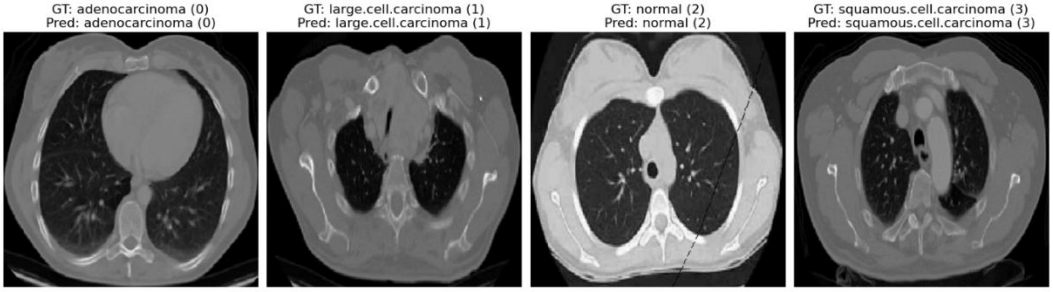


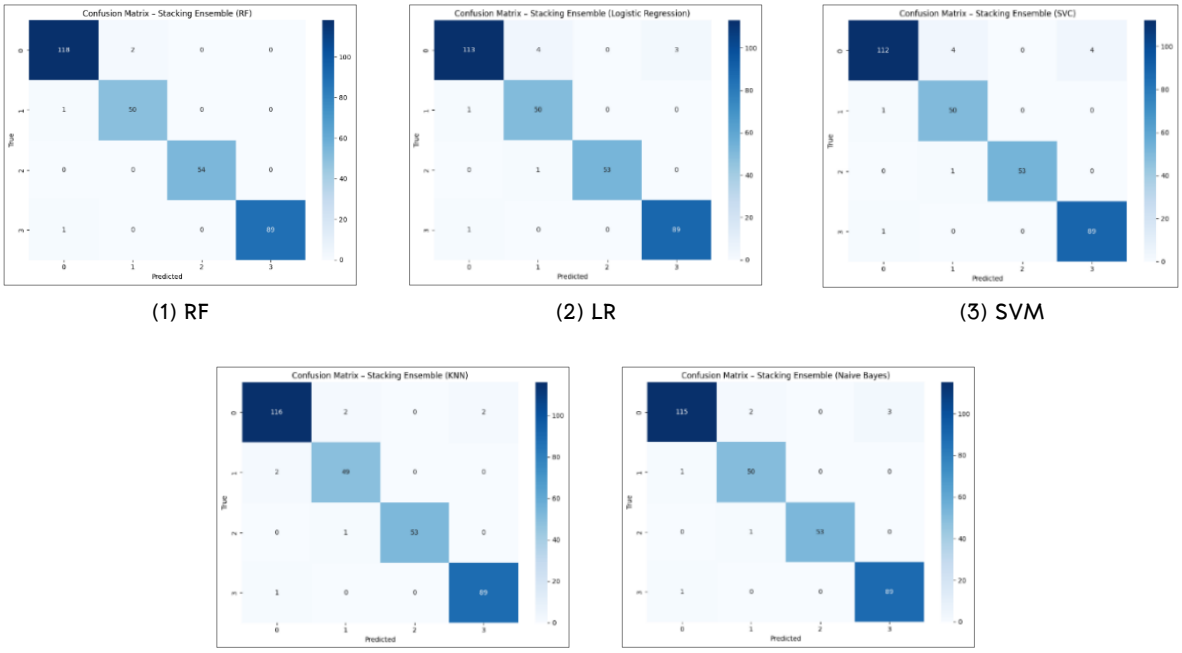
Figure 13 Sample classification results of InceptionV3 for different types of lung cancer

จากการประเมินแบบจำลองเมตา ด้วยเทคนิค Ensemble Method พบว่า RF ให้ผลดีที่สุด โดยมี Accuracy สูงถึง 98.73% และค่า Precision, Recall และ F1-score ทั้งแบบ Macro และ Weighted เท่ากับ 0.99 แสดงถึงความแม่นยำในการจำแนกคลาสได้แม่นยำ ขณะที่ LR และ SVM ให้ผลใกล้เคียงกันที่ 96.83% และ 96.51% ส่วน KNN และ NB มีความแม่นยำที่ 97.46% โดย NB มีค่า Recall แบบ Macro สูงถึง 0.98 แสดงใน Table 4

Table 4 Performance evaluation of the meta–model (Stacking Ensemble)

ML Algorithm	Accuracy	Precision		Recall		F1–score	
		Macro	weighted	Macro	weighted	Macro	weighted
RF	98.73	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
LR	96.83	0.96	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97
SVM	96.51	0.96	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97
KNN	97.46	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97
NB	97.46	0.97	0.98	0.98	0.97	0.98	0.97

ผลลัพธ์ของตาราง Confusion Matrix จากการทดลองใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง ประเภทการจำแนกจำนวน 5 แบบ ได้แก่ RF, LR, SVM, KNN และ NB เพื่อทำหน้าที่เป็นแบบจำลองเมตา ในการจำแนกขั้นตอนสุดท้าย โดยระบบสามารถทำนายผลลัพธ์ได้ถูกต้องจากชุดภาพทดสอบทั้งหมด 315 ภาพ แสดงใน Figure 14



(1) RF (2) LR (3) SVM

(4) KNN (5) NB

Figure 14 Confusion matrix of the stacking ensemble meta–model

Conclusion and Discussion

จากผลการทดลองการพัฒนาแบบจำลองสำหรับการทำนายมะเร็งปอดโดยใช้ CNN พบว่า InceptionV3 ให้ค่าความแม่นยำสูงสุดที่ 96.19% ขณะที่ VGG16, ResNet50 และ DenseNet121 ให้ค่าความแม่นยำที่ 95.87%, 95.56% และ 95.87% ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าการเลือก Optimizer ที่เหมาะสมและการปรับแต่งพารามิเตอร์ต่าง ๆ มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของแบบจำลองอย่างมีนัยสำคัญ จากนั้นได้มีการนำผลลัพธ์จากแบบจำลองพื้นฐานมาใช้ใน Ensemble Method แบบ Stacking โดยมีอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่อง 5 แบบ ได้แก่ RF, LR, SVM, KNN และ NB ทำหน้าที่เป็นแบบจำลองเมตาผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า RF ให้ค่าความแม่นยำสูงสุดที่ 98.73% ขณะที่อัลกอริทึม

อื่น ๆ ได้แก่ LR, SVM, KNN และ NB ให้ค่าความแม่นยำที่ 96.83%, 96.51%, 97.46% และ 97.46% ตามลำดับ สอดคล้องกับ Lanjewar et al. (2023) ได้พัฒนาแบบจำลอง DenseNet201 เป็นตัวดึงคุณลักษณะ และประยุกต์ใช้วิธีคัดเลือกคุณลักษณะ ได้แก่ ETC และ MRMR ก่อนนำไปใช้กับอัลกอริทึมการจำแนก SVM และ LR ผลลัพธ์ได้ค่าความแม่นยำเฉลี่ยสูงถึง 95% ซึ่งใกล้เคียงกับแบบจำลอง InceptionV3 ของงานวิจัยนี้ ในทำนองเดียวกัน Mamun et al. (2023) ใช้ชุดข้อมูลเดียวกันกับงานวิจัยนี้ โดยทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ InceptionV3, Xception และ ResNet50 กับแบบจำลองที่พัฒนาเอง ผลการทดลองพบว่า Custom CNN มีค่าความแม่นยำสูงถึง 92% นอกจากนี้ Ishrat Khan et al. (2022) ได้พัฒนาแบบจำลองโดยใช้ ResNet101, InceptionV3, VGG16 และ DenseNet169 ผ่านเทคนิค Transfer Learning และ Fine-tuning ผลการทดลองแสดงว่า การใช้ Ensemble CNN ซึ่งรวมผลจาก ResNet101 และ InceptionV3 สามารถเพิ่มค่าความแม่นยำได้สูงสุด 93.7% ดีกว่าการใช้แบบจำลองเดี่ยว ในงานวิจัยของ Rehan Raza et al. (2023) ซึ่งเสนอแบบจำลองชื่อ Lung-EffNet พัฒนาบนสถาปัตยกรรม EfficientNet (ตั้งแต่ B0 ถึง B4) โดยอาศัยแนวคิด Transfer Learning และการปรับแต่งเลเยอร์ของแบบจำลอง รวมถึงใช้เทคนิคการตัดภาพ และการใช้เทคนิคเพิ่มข้อมูล โดยค่าความแม่นยำได้สูงถึง 99.10% แม้ว่าจะใช้สถาปัตยกรรมมีความซับซ้อนสูงกว่า แต่การประยุกต์ใช้ Ensemble ในงานวิจัยนี้สามารถให้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกันในด้านประสิทธิภาพการจำแนกภาพ ในทำนองเดียวกัน Sampangi Rama Reddy B. R. et al. (2024) เสนอ Stacked Neural Network (SNN) ซึ่งรวมการเรียนรู้จากแบบจำลอง ANN และ CNN เข้าไว้ด้วยกัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับและจำแนกมะเร็งปอดจากภาพ CT Scan ให้ค่าความแม่นยำสูงถึง 96% อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยนี้ ซึ่งไม่เพียงแต่อาศัยการเปรียบเทียบสถาปัตยกรรม CNN หลายรูปแบบเท่านั้น แต่งานวิจัยนี้ยังต่อยอดด้วยการสร้าง Ensemble Method แบบ Stacking ที่ใช้ผลลัพธ์ของแบบจำลองพื้นฐานร่วมกับอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่อง ทำหน้าที่เป็นแบบจำลองเมตาทำให้สามารถเพิ่มค่าความแม่นยำโดยรวมเป็น 98.73%

ผลจากการศึกษาและพัฒนากระบวนการที่เหมาะสมในการสร้างแบบจำลอง CNN เพื่อทำนายมะเร็งปอดจากภาพ CT scan โดยใช้ชุดข้อมูล *Chest CT-Scan Images Dataset* จากเว็บไซต์ Kaggle ซึ่งประกอบด้วยภาพ CT scan รวมทั้งหมด 1,000 ภาพ แบ่งออกเป็นชุดข้อมูลสำหรับฝึก ชุดตรวจสอบ และชุดทดสอบ โดยแต่ละภาพมีการติดฉลากระบุประเภทของมะเร็งปอดชนิดไม่ใช่เซลล์เล็ก (NSCLC) และปอดปกติ แบ่งออกเป็น 4 คลาส ได้แก่ Adenocarcinoma (มะเร็งชนิดต่อมน้ำเหลืองในปอด), Large Cell Carcinoma (มะเร็งเซลล์ขนาดใหญ่), Squamous Cell Carcinoma (มะเร็งเซลล์สความัส) และ Normal (ปอดปกติ) งานวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละแบบจำลอง โดยใช้สถาปัตยกรรมหลัก ๆ ได้แก่ VGG16, ResNet50, InceptionV3 และ DenseNet121 พร้อมทั้งประยุกต์ใช้เทคนิคเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของแบบจำลอง เช่น การเพิ่มข้อมูลด้วย Data Augmentation, การปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ และการปรับแต่งแบบจำลอง นอกจากนี้ ยังมีการตัดขอบภาพ เพื่อขจัดพื้นหลังที่ไม่เกี่ยวข้องออก เหลือเพียงบริเวณเนื้อปอด ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการเรียนรู้ของแบบจำลอง สำหรับงานวิจัยในอนาคต สามารถนำกระบวนการที่ได้ไปต่อยอดสู่การพัฒนาแอปพลิเคชันทางการแพทย์ที่สามารถสนับสนุนการวินิจฉัยได้จริง

References

Alowais, S. A., Alghamdi, S. S., Alsuhebany, N., Alqahtani, T., Alshaya, A. I., Almohareb, S. N., ... & Albekairy, A. M. (2023). *Revolutionizing healthcare: The role of artificial intelligence in clinical image analysis*. BMC Medical Education. from https://doi.org/10.1186/s12909-023-04698-z.

American Cancer Society. (2024, 12 September). *What is lung cancer?*. From https://www.cancer.org/cancer/lung-cancer/about/what-is.html.

Aziz Taha, Abdel. (2015). Metrics for evaluating 3D medical image segmentation: Analysis, selection, and tool. *BMC Medical Imaging, 15*(29), 1–28. from https://doi.org/10.1186/s12880-015-0068-x.

BNH Hospital. (2024, 10 September). *How are X-ray and CT scan for lung cancer screening different? Which is better & is it true that frequent scans pose a cancer risk?*. From https://www.bnhhospital.com/th/. (in Thai)

Department of Medical Services. (2024, 10 September). *Headline: National Cancer Institute recommends avoiding lung cancer risk factors*. From https://www.dms.go.th/Content/Select_Landding_page?contentId=47994. (in Thai)

Friedman, J., Hastie, T., & Tibshirani, R. (2020). *The elements of statistical learning: Data mining, inference, and prediction* (2nd ed.). Springer.

Ferdous, M. J., & Shahriyar, R. (2024). *An ensemble convolutional neural network model for brain stroke prediction using brain computed tomography images*. Healthcare Analytics, 6, Article 100368. From https://doi.org/10.1016/j.health.2024.100368.

Google Developers. (2025, 5 May). *Classification: Accuracy, recall, precision, and related metrics*. from https://developers.google.com/machine-learning/crash-course/classification/accuracy-precision-recall?hl=th.

Hany, M. (2024, 10 September). *Chest CT-scan images dataset* [Dataset]. Kaggle. From https://www.kaggle.com/datasets/mohamedhanyyy/chest-ctscan-images.

He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). Deep residual learning for image recognition. *In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)* (pp. 770–778). From https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.90.

Huang, G., Liu, Z., Van Der Maaten, L., & Weinberger, K. Q. (2017). Densely connected convolutional networks. *In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)* (pp. 4700–4708). from https://doi.org/10.1109/CVPR.2017.243.

IBM. (2025, 5 May). *Support vector machine, random forest, naive Bayes, and k-nearest neighbors*. From https://www.ibm.com/think/topics/.

Islam, M. R., & Nahiduzzaman, M. (2022). Complex features extraction with deep learning model for the detection of COVID-19 from CT scan images using ensemble based machine learning approach. *Expert Systems with Applications, 195*, 116554. from https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.116554.

Khan, I. I., & Fattah, H. M. A. (2022). An ensemble technique of CNN for lung cancer identification. *International Journal of Engineering Research and Management, 9*(11), 7–11. From https://www.ijerm.com/download_data/IJERM0911003.pdf.

Li, X., Zhang, Y., Chen, Z., & Wang, H. (2025). *FPA-based weighted average ensemble of deep learning models for classification of lung cancer using CT scan images* (Scientific Reports). Advance online publication. from https://doi.org/10.1038/s41598-025-02015-w.

Lanjewar, M. G., Panchbhai, K. G., & Charanarur, P. (2023). Lung cancer detection from CT scans using modified DenseNet with feature selection methods and ML classifiers. *Expert Systems with Applications*, *224*, 119961. from https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.119961.

Mamun, M., Mahmud, M. I., Meherin, M., & Abdelgawad, A. (2023). *LCDctCNN: Lung cancer diagnosis of CT scan images using CNN based model*. arXiv. from https://doi.org/10.48550/arXiv.2304.04814.

Mamun, S., Patil, A., & Gite, S. (2023). Lung cancer detection from CT scans using modified DenseNet with feature selection methods and machine learning classifiers. *Expert Systems with Applications*. From https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.119961.

National Cancer Institute. (2021, 24 May). *Lung cancer screening (PDQ®) – Patient version*. U.S. Department of Health and Human Services, National Institutes of Health. From https://www.cancer.gov/types/lung/patient/lung-screening-pdq.

Opitz, J., & Burst, S. (2019). *Macro F1 and macro F1. arXiv preprint arXiv:1911.03347*. From https://doi.org/10.48550/arXiv.1911.03347.

Perez, L., & Wang, J. (2017). *The effectiveness of data augmentation in image classification using deep learning*. arXiv preprint arXiv:1712.04621.

Powers, D. M. W. (2011). Evaluation: From precision, recall and F-measure to ROC, informedness, markedness & correlation. *Journal of Machine Learning Technologies, 2*(1), 37–63.

Rana, D. J., & Rana, K. (2025). SEMLCC: A stacked ensemble model with transfer learning for high-accuracy lung cancer classification from CT images. *Procedia Computer Science, 258*(C), 2584–2596. From https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.04.520.

Raza, R., Zulfiqar, F., Khan, M. O., Arif, M., Alvi, A., Iftikhar, M. A., & Alam, T. (2024). Lung-EffNet: Lung cancer classification using EfficientNet from CT-scan images. *Engineering Applications of Artificial Intelligence, 130*, 105086. from https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.106902.

Reddy, S. R. B. R., Sen, S., Bhatt, R., Dhanetwal, M. L., Sharma, M., & Naaz, R. (2024). Stacked neural nets for increased accuracy on classification on lung cancer. *Biomedical Signal Processing and Control, 90*, 105491. from https://doi.org/10.1016/j.measen.2024.101052 .

Shorten, C., & Khoshgoftaar, T. M. (2019). A survey on image data augmentation for deep learning. *Journal of Big Data, 6*(1), 60.

Simonyan, K., & Zisserman, A. (2015). Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. *International Conference on Learning Representations (ICLR).* from https://arxiv.org/abs/1409.1556.

Swain, A. K., Swetapadma, A., Rout, J. K., & Balabantaray, B. K. (2024). Classification of non-small cell lung cancer types using sparse deep neural network features. *Biomedical Signal Processing and Control, 87*, Article 105485. from https://doi.org/10.1016/j.bspc.2023.105485.

Shaikh, A., Amin, S., Zeb, M. A., Sulaiman, A., & Al Reshan, M. S. (2025). *Computers in Biology and Medicine.* Advance online publication. From https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2025.109703.

Szegedy, C., Vanhoucke, V., Ioffe, S., Shlens, J., & Wojna, Z. (2016). Rethinking the inception architecture for computer vision. *In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)* (pp. 2818–2826). from https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.308.

Tawfik, N., et al. (2024). Enhancing early detection of lung cancer through advanced image processing techniques and deep learning architectures for CT scans. *Computational Materials and Continua, 81*(1), 271–307.

Thai Health Promotion Foundation. (2024, 10 September). *Lung cancer: A risk that is close to you*. From https://www.thaihealth.or.th/. (in Thai)

World Health Organization. (2024, 10 September). *Cancer*. From https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cancer.

Wolpert, D. H. (1992). Stacked generalization. *Neural Networks, 5*(2), 241–259. From https://doi.org/10.1016/S0893-6080(05)80023-1.

การออกแบบและพัฒนาระบบนำทางผู้พิการทางสายตาด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

วิรัญชนา อวนศรี[1], ปกป้อง อุปทะ[1] และเสถียร หันตา[1*]

Design and Development of a Navigation System for the Visually Impaired Using the Internet of Things

Wirunchana Aounsri[1], Pokpong Aupata[1] and Sathien Hunta[1*]

[1] School of Information and Communication Technology, University of Phayao, Phayao, 56000

[*] Corresponding author: sathien.hu@up.ac.th

Received: 30 June 2025; Revised: 3 October 2025; Accepted: 21 October 2025

บทคัดย่อ

ผู้พิการทางสายตามักเผชิญปัญหาในการเดินทางในพื้นที่สาธารณะที่มีสิ่งกีดขวางต่าง ๆ ซึ่งก่อให้เกิดอันตราย งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบนำทางสำหรับผู้พิการทางสายตา เพื่อเพิ่มความปลอดภัยและความสามารถในการพึ่งพาตนเองขณะเดินบนทางเท้า โดยพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบในรูปแบบเข็มขัดที่มีขนาดกะทัดรัดและสะดวกต่อการพกพา ระบบทำงานโดยประยุกต์ใช้อัลกอริทึมแบบจำลอง YOLOv11n ในการตรวจจับวัตถุที่อยู่ในเส้นทางการเดิน ระบุตำแหน่งวัตถุ และให้คำแนะนำทิศทางการหลบหลีกอย่างเหมาะสม พร้อมผสานเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ซึ่งประกอบด้วย Raspberry Pi 5 โมดูลกล้อง เซนเซอร์อัลตราโซนิค และเซนเซอร์ MPU6050 สำหรับตรวจจับลักษณะของพื้นลาดชันและแจ้งเตือนผู้ใช้งานด้วยเสียง ขั้นตอนการดำเนินงานประกอบด้วย การออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ การฝึกและปรับปรุงแบบจำลอง YOLO ให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมจริง และ การทดสอบประสิทธิภาพของระบบในแต่ละฟังก์ชันของอุปกรณ์

ผลการทดสอบเพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบในแต่ละฟังก์ชันพบว่า ระบบสามารถตรวจจับวัตถุได้ดี โดยมีค่าแม่นยำเฉลี่ยอยู่ที่ 94.0% การให้คำแนะนำทิศทางการหลบหลีกมีความถูกต้องเฉลี่ย 95.5% และการตรวจจับทางลาดชันสามารถทำได้ที่ความแม่นยำ 89.0% การวิจัยนี้ เป็นอีกหนึ่งแนวทางที่สามารถนำไปสู่การใช้งานจริงเพื่อช่วยเหลือผู้พิการทางสายตาได้

คำสำคัญ: ระบบนำทางผู้พิการทางสายตา, การตรวจจับวัตถุ, การตรวจจับพื้นลาดชัน, อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

[1] คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

Abstract

Visually impaired individuals often face difficulties navigating public spaces with various obstacles, which can pose safety risks. This research aims to design and develop a navigation system for visually impaired persons to enhance safety and promote independence when walking on sidewalks. A compact and portable prototype device was developed in the form of a belt. The system operates by applying the YOLOv11n object detection algorithm to identify objects in the walking path, determine their positions, and provide appropriate avoidance guidance. It also integrates Internet of Things (IoT) technology, comprising a Raspberry Pi 5, a camera module, an ultrasonic sensor, and an MPU6050 sensor to detecting ground slope, along with a voice alert system. The implementation process consists of (1) Designing and developing the device, (2) Training and optimizing the YOLO model for real–world environmental conditions, and (3) Testing the performance of each device function.

Experimental results evaluating the performance of each function show that the system achieves an average object detection accuracy of 94.0%, an average avoidance guidance accuracy of 95.5%, and a slope detection accuracy of 89.0%. This research presents a potential approach for practical applications to assist visually impaired individuals.

Keywords: Visually Impaired Navigation System, Object Detection, Slope Detection, Internet of Things

Introduction

ในปัจจุบันเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) มีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนานวัตกรรมเป็นอย่างมาก เนื่องจากสามารถนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับเทคโนโลยีต่าง ๆ ในการรังสรรค์สิ่งประดิษฐ์เพื่อตอบสนองต่อความต้องการ การแก้ไขปัญหา และการยกระดับคุณภาพชีวิตของผู้คนหลากหลายด้าน สามารถแบ่งเบาภาระให้กับมนุษย์ทุกกลุ่มบุคคลให้สามารถใช้ชีวิตได้อย่างสะดวกสบาย ซึ่งแสดงถึงความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีที่ดีขึ้น (Saiwa, 2024) นอกจากนี้ การพัฒนาปัญญาประดิษฐ์ยังเข้ามามีบทบาทต่อการเสริมสร้างแนวทางสำหรับการช่วยเหลือกลุ่มบุคคลผู้มีความพิการทางกายภาพที่มักมีอุปสรรคในการใช้ชีวิตให้สามารถเท่าเทียมเฉกเช่นกลุ่มบุคคลทั่วไปได้ ด้วยนวัตกรรมที่มาลดข้อบกพร่องทางด้านกายภาพของผู้พิการแต่ละประเภท เช่น การใช้การตรวจจับวัตถุ (Object Detection) ที่เป็นเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์วิทัศน์ (Computer Vision) อีกหนึ่งแขนงของปัญญาประดิษฐ์ นำมาประยุกต์เข้ากับเทคโนโลยี ORB–SLAM2 มาร่วมกับการตรวจจับวัตถุด้วย YOLOv5 เพื่อให้ผู้พิการทางสายตาที่มีความบกพร่องด้านการมองเห็นสามารถทราบตำแหน่งวัตถุต่าง ๆ ผ่านเสียง (Qiang et al., 2024) เป็นต้น

ที่ผ่านมานั้น ผู้พิการทางสายตาต้องเผชิญกับปัญหาในการเดินทางพื้นที่สาธารณะเป็นอย่างมาก เนื่องจากทางเดินที่ยากต่อการใช้งาน และมีสิ่งกีดขวางต่าง ๆ เช่น ทางที่มีสิ่งของขวางทางพื้นที่ต่างระดับ (The Poona School Blind, 2024) โดยปกติผู้พิการทางสายตามักจะมีวิธีเดินทางด้วยตัวคนเดียวจากการจำเส้นทางที่เดินเป็นประจำ ทำให้ยังพอทราบสิ่งที่อยู่รอบตัว (Warunyu et al., 2024) แต่ในกรณีที่ต้องเดินทางไปสถานที่ที่ไม่คุ้นเคย หรือมีผู้คนพลุกพล่าน ความไม่คุ้นชินที่ไม่ทราบสภาวะรอบตัวนี้ก็อาจนำมาสู่การก่อเกิดอันตรายก็เป็นได้ หรืออุปกรณ์ช่วยเหลือที่ใช้กันอย่างแพร่หลายอย่างการใช้ไม้เท้านำทางและสุนัขนำทาง แม้จะช่วยให้ผู้พิการทางสายตาสามารถเดินทางได้ดีขึ้น แต่ก็ยังมีข้อจำกัดในด้านปัจจัยต่าง ๆ เช่น ไม้เท้าไม่มีประสิทธิภาพมากนักในบางสถานการณ์ เนื่องจากไม้เท้าไม่สามารถระบุวัตถุที่เป็นสิ่งกีดขวางได้ว่าคือสิ่งใดและพื้นทางเท้าบางสถานที่ยังไม่เหมาะสำหรับการใช้ไม้เท้า ทำให้บางครั้งผู้พิการทางสายตาเกิดความไม่มั่นใจในการเดินทางด้วยไม้เท้า (Zeinab et al., 2023) ขณะที่การใช้สุนัขนำทางยังไม่ได้รับการส่งเสริม

อย่างกว้างขวางในประเทศไทยมากนัก พร้อมทั้งยังมีค่าใช้จ่ายที่สูง การจะนำสุนัขมาเลี้ยงดูเพื่อใช้ในการนำทางนั้นจำเป็นที่จะต้องมีค่าเลี้ยงดูต่าง ๆ มีค่าการอบรมจากสถาบันฝึกสุนัขเฉพาะทางให้สามารถทำหน้าที่นำทางผู้พิการทางสายตาได้อย่างปลอดภัย อีกทั้งในบางสถานที่ยังจำกัดการนำสัตว์เข้าอีกด้วย (Jiraphat, 2019) ด้วยเหตุนี้ เพื่อเพิ่มทางเลือกในด้านความปลอดภัย ให้แก่ผู้พิการทางสายตา จึงอยากเสนอแนะให้มีการนำเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งมาประยุกต์ใช้ เช่นเดียวกับงานวิจัยที่มีการพัฒนาระบบตรวจสอบวัตถุในสมาร์ทโฮมสำหรับผู้พิการทางสายตา โดยมุ่งเน้นการพัฒนาอุปกรณ์ที่สามารถตรวจจับสิ่งกีดขวางภายในบ้าน โดยใช้อัลกอริทึม YOLO (Sasikarn et al., 2025) มาประยุกต์ใช้กับสภาพแวดล้อมภายนอก เพื่อช่วยเสริมแนวทางในการพัฒนาอุปกรณ์ช่วยเหลือผู้พิการทางสายตาจากการเดินทางและลดข้อจำกัดของอุปกรณ์รูปแบบเดิมให้ดียิ่งขึ้น

การวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบนำทางสำหรับผู้พิการทางสายตา เพื่อเพิ่มความปลอดภัยขณะเดินทาง โดยใช้อุปกรณ์ต้นแบบในรูปแบบของเข็มขัด ประกอบด้วยโมดูลกล้องเพื่อใช้รับภาพ เซนเซอร์อัลตราโซนิคสำหรับวัดระยะ และเซนเซอร์ MPU6050 ที่นำมาใช้วัดมุมก้ม–เงย ที่ใช้ในการตรวจจับทางลาดชัน โดยอุปกรณ์ทั้งหมดถูกเชื่อมต่อและประมวลผลผ่านบอร์ด Raspberry Pi 5 และยังใช้แบบจำลอง YOLO ซึ่งเป็นอัลกอริทึมที่มีความสามารถในการตรวจจับวัตถุและมีความแม่นยำ โดยนำมาฝึกกับชุดข้อมูลที่สอดคล้องกับวัตถุในสภาพแวดล้อมจริงของผู้ใช้งาน เพื่อให้สามารถจำแนกวัตถุสิ่งกีดขวางที่เกี่ยวข้องได้อย่างแม่นยำยิ่งขึ้น ข้อมูลที่ได้จากโมดูลกล้องและเซนเซอร์จะถูกนำมาประมวลผลร่วมกันเพื่อประเมินลักษณะของสภาพแวดล้อมเบื้องหน้า ไม่ว่าจะเป็นการบอกชื่อวัตถุ ระยะห่างจากวัตถุ ทิศทางการหลบหลีกสิ่งกีดขวาง และทางลาดชัน ระบบแจ้งเตือนเสียงผ่านหูฟังบลูทูธ เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถรับรู้ข้อมูลหลบหลีกสิ่งกีดขวางได้อย่างปลอดภัย โดยอุปกรณ์ถูกออกแบบให้มีขนาดกะทัดรัด น้ำหนักเบารองรับกับการใช้งานในชีวิตประจำวันของผู้พิการทางสายตาได้อย่างเหมาะสม

Objectives

1. เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบนำทางผู้พิการทางสายตา
2. เพื่อปรับปรุงและพัฒนาแบบจำลองตรวจจับวัตถุ

Concepts Theories and Related Literature

การสำรวจและศึกษาประเด็นที่มีความสำคัญ แนวคิด หลักการ งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง การทำความเข้าใจลักษณะเฉพาะของกลุ่มผู้ใช้งาน รวมถึงเรียนรู้ถึงส่วนประกอบต่าง ๆ สำหรับการใช้งาน เพื่อเป็นพื้นฐานในการพัฒนาระบบนำทางสำหรับผู้พิการทางสายตา โดยมีรายละเอียด ดังนี้

ผู้พิการทางสายตา กลุ่มบุคคลที่มีสภาวะดวงตาผิดปกติ ซึ่งอาจไม่สามารถมองเห็นได้บางส่วนหรือสูญเสียการมองเห็นทั้งหมด เช่น ตาบอด ตาบอดสี ความบกพร่องทางการเห็น โดยองค์การอนามัยโลก (WHO) ได้จำแนกระดับความบกพร่องทางการมองเห็นออกมา 5 ระดับ พิจารณาจากเกณฑ์ความคมชัดทางการมองเห็นและลานสายตาของดวงตาข้างที่ดีที่สุด เมื่อไม่ได้ใช้อุปกรณ์ช่วย หากค่าสายตาต่ำกว่า 6/18 ไปจนถึง 3/60 มีลานสายตาแคบ 30 องศา ไปจนถึง 10 องศา จะถือว่าอยู่จัดอยู่ในระดับที่ 1 ถึงระดับที่ 2 ซึ่งเป็นกลุ่มผู้ที่มีความบกพร่องทางการมองเห็น และหากมองเห็นได้น้อยกว่า 3/60 มีลานสายตาแคบกว่า 10 องศา จะจัดอยู่ในระดับที่ 3 ถึง 5 เป็นกลุ่มที่มีความผิดปกติทางการมองเห็นขั้นรุนแรงหรือตาบอด ทั้งนี้ ผู้ที่แม้จะได้รับการรักษาหรือใส่อุปกรณ์ช่วยแล้ว อย่างเช่น การสวมใส่แว่นสายตาหรืออุปกรณ์ช่วยเหลืออื่น ๆ แต่ยังมีระดับการมองเห็นต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ก็ยังถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มผู้บกพร่องทางการเห็น เช่นกัน (Yutthaphong, 2021)

การตรวจจับวัตถุ (Object Detection) เป็นเทคโนโลยีอีกหนึ่งแขนงของปัญญาประดิษฐ์ (AI) และ การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) ที่ช่วยให้ระบบคอมพิวเตอร์สามารถตรวจจับและระบุตำแหน่งของวัตถุในภาพหรือวิดีโอได้ ระบบนี้ จะอาศัยการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมแบบเชิงลึก โดยเฉพาะโครงข่ายประสาทแบบคอนโวลูชันที่ถูกออกแบบมาให้สามารถดึงข้อมูลลักษณะของภาพออกมาเพื่อนำไปใช้วิเคราะห์ ซึ่งในหลากหลายอุตสาหกรรม เทคโนโลยีการตรวจจับวัตถุได้กลายเป็นเครื่องมือที่ช่วยสนับสนุนการทำงานให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยแบบจำลองที่นิยมนำมาใช้งาน ได้แก่ YOLO, SSD ,Faster R-CNN เป็นต้น (Jacob et al., 2024)

YOLO (You Only Look Once) อัลกอริทึมตรวจจับวัตถุที่ตลอดหลายปีที่ผ่านมา มีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง โดยวิวัฒนาการของแต่ละเวอร์ชันนั้น มีจุดมุ่งหมายเพื่อที่จะต่อยอดการตรวจจับวัตถุให้มีคุณภาพมากยิ่งขึ้น และแต่ละเวอร์ชันยังมีจุดเด่นที่แตกต่างกัน เช่น YOLOv5 เป็นเวอร์ชันแรกที่มีการใช้เฟรมเวิร์ก PyTorch แทนการใช้เฟรมเวิร์ก Darknet จากเวอร์ชันก่อนหน้า ซึ่งใช้งานได้สะดวกกว่าหรือ YOLOv8 ที่ใช้ GANs กับ anchor-free detection ในการพัฒนา จะช่วยให้โมเดลเข้าใจลักษณะวัตถุได้ดีขึ้น และพัฒนามาจนมาถึง YOLOv11 ที่ได้รับการพัฒนาต่อยอดจากจุดเด่นของเวอร์ชันก่อน มีการเพิ่มความสามารถใหม่ ๆ มีจุดเด่น คือ เป็นระบบ end to end ที่เรียนรู้ได้จากข้อมูลภาพ นอกจากนี้ YOLOv11 ยังมีการแบ่งโครงสร้างการทำงานให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยใช้โครงสร้าง convolutional layers (CNN) ซึ่งมีการนำบล็อก C3k2 มาทำให้โมเดลทำงานได้ไวขึ้น อีกทั้งยังเพิ่มบล็อก C2PSA เพื่อช่วยให้โมเดลสามารถโฟกัสไปยังบริเวณที่สำคัญในภาพ โดยเฉพาะวัตถุที่เล็กหรืออยู่ในตำแหน่งซับซ้อน โดยมีส่วนของ Backbone สำหรับกรองข้อมูล จากภาพอินพุต (input) ในหลายระดับความละเอียด (multi-scale) กระบวนการนี้ ประกอบด้วยการเรียงซ้อนของ convolutional layers และบล็อกเฉพาะทางต่าง ๆ เพื่อสร้างแผนที่ฟีเจอร์ (feature maps) ที่หลากหลายตามความละเอียดของข้อมูลภาพ และส่วนของ Neck มีหน้าที่เอาข้อมูลจากทุกระดับมารวมกัน เพื่อเตรียมข้อมูลให้เหมาะสมสำหรับส่งต่อไปยังส่วนสุดท้าย เพื่อใช้ในการทำนายผล จากนั้น ส่วนของ head ทำการแปลงข้อมูลให้เป็น ผลลัพธ์ที่ใช้งานได้จริง โดยจะประมวลผลจาก feature maps ที่ส่งต่อมาจาก neck เพื่อให้ได้ผลลัพธ์เป็นกรอบวัตถุ (bounding boxes) และป้ายชื่อของวัตถุแต่ละชนิดภายในภาพ ด้วยบล็อกต่าง ๆ (Rahima et al., 2024)

อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (internet of things : IoT) เป็นการเชื่อมโยงอุปกรณ์ต่าง ๆ เข้ากับระบบอินเทอร์เน็ต ผ่านการใช้เซนเซอร์ ซอฟต์แวร์ และเทคโนโลยีการสื่อสาร อุปกรณ์เหล่านี้ สามารถทำงานร่วมกันและติดต่อกับอุปกรณ์อื่น ๆ ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้ เพื่อเก็บรวบรวมและแลกเปลี่ยนข้อมูลอัตโนมัติ (IBM, 2023)

เซนเซอร์อัลตราโซนิค (Ultrasonic Sensor) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้คลื่นเสียงความถี่สูง มากกว่า 20 kHz เพื่อตรวจจับวัตถุหรือวัดระยะห่างโดยไม่ต้องสัมผัสกับวัตถุโดยตรง โดยทำงานในลักษณะเดียวกับระบบเสียงสะท้อนของค้างคาว ตัวเซนเซอร์ประกอบด้วย ตัวส่ง ซึ่งเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นคลื่นเสียง และ ตัวรับ ซึ่งรับคลื่นเสียงที่สะท้อนกลับมา เมื่อทราบความเร็วของเสียงในอากาศแล้ว สามารถคำนวณระยะทางจากเวลาที่คลื่นเดินทางไป กลับได้ เซนเซอร์ชนิดนี้เหมาะสำหรับงานที่ต้องการวัดระยะทางใกล้ โดยมีข้อดีคือสามารถตรวจจับวัสดุได้หลากหลายไม่ว่าจะเป็นโลหะ ไม้ พลาสติก หรือน้ำ ทั้งนี้ ความแม่นยำของการวัดอาจได้รับผลกระทบจาก อุณหภูมิ, ความชื้น และ ลักษณะพื้นผิวของวัตถุที่อาจดูดซับหรือสะท้อนคลื่นเสียงได้ไม่ดี (Mubina et al., 2020)

เซนเซอร์ MPU6050 ที่เป็นโมดูลเซนเซอร์วัดความเร่ง และไจโรสโคป ที่มีหน้าที่ตรวจจับการเคลื่อนไหวและการหมุนของวัตถุ เซนเซอร์วัดความเร่งสามารถวัดการเคลื่อนไหวและหมุนของวัตถุใน 3 แกน ได้แก่ X, Y และ Z มีหน้าที่วัดการเร่งเชิงเส้น รวมถึงแรงโน้มถ่วงที่กระทำต่อวัตถุ สามารถใช้ในการคำนวณมุมเอียงของวัตถุได้ เช่น เมื่อวัตถุเอียงไปด้านหน้า เซนเซอร์จะตรวจจับแรงโน้มถ่วงที่เปลี่ยนทิศทางไปตามแกนต่าง ๆ ทำให้สามารถประเมินได้ว่าวัตถุนั้นเอียงไปในทิศทางใดและมีมุมเท่าไร และสามารถอ้างอิงแรงโน้มถ่วงเพื่อใช้คำนวณตำแหน่งเริ่มต้นหรือความเอียงได้อย่างแม่นยำ

ทำให้สามารถกรองข้อมูล สังเคราะห์ และประมวลผลค่าที่แม่นยำและเสถียรยิ่งขึ้น จึงเหมาะสำหรับการนำไปใช้ในงานตรวจจับท่าทาง การทรงตัว ระบบนำทาง และอุปกรณ์เคลื่อนที่หลายรูปแบบ (Last Minute Engineers, 2022)

ในงานวิจัยนี้ เซนเซอร์ MPU6050 ถูกประยุกต์ใช้เพื่อการตรวจหาทางลาดชัน โดยผู้วิจัยเลือกใช้เฉพาะข้อมูลความเร่ง (Accelerometer) จากเซนเซอร์ดังกล่าว เนื่องจากมีความเพียงพอต่อวัตถุประสงค์ของการทำงาน ผลลัพธ์จากการคำนวณจะอยู่ในหน่วยเรเดียน และจะนำมาแปลงเป็นองศา เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์ลักษณะความลาดชันในทางปฏิบัติซึ่งการประมวลผลมุมจาก MEMS Accelerometer (Sergiusz, 2014) สำหรับคำนวณมุมก้ม–เงย (Pitch) ดังสมการที่ 1

$$\alpha = arctan\left(\frac{g_x}{\sqrt{g_y^2+g_z^2}}\right) \quad (1)$$

โดยที่

α = มุมก้ม–เงย

g_x = ค่าความเร่งในแกน X

g_y = ค่าความเร่งในแกน *Y*

g_z = ค่าความเร่งในแกน *Z*

การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีการศึกษาเรื่องของการตรวจจับวัตถุด้วย YOLO จากงานพัฒนาระบบตรวจจับและอ่านป้ายทะเบียนรถยนต์ โดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยีโครงข่ายประสาทเทียมร่วมกับการประมวลผลภาพ ระบบที่พัฒนาขึ้นแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนของการตรวจจับป้ายทะเบียน โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลอง YOLOv5n, YOLOv5s และ YOLOv5m โดยแบบจำลอง YOLOv5s ถูกเลือกใช้เนื่องจากมีจำนวนพารามิเตอร์น้อยกว่าถึง 2.8 เท่า แต่ให้ผลลัพธ์ค่า mAP ใกล้เคียงแบบจำลองที่แม่นยำที่สุด และสามารถตรวจจับป้ายทะเบียนจากภาพได้แม่นยำถึง 98.38% ส่วนของการอ่านตัวอักษรจากภาพป้ายทะเบียน โดยใช้ Tesseract OCR พร้อมกระบวนการแปลงภาพให้เหมาะสม เช่น การแปลงเป็นภาพขาวดำ การทำ threshold และ contour detection ผลลัพธ์การอ่านตัวอักษรทั้งหมดมีความถูกต้องเฉลี่ย 78.34% และความถูกต้องเฉลี่ยในการอ่านชื่อจังหวัดจากป้ายทะเบียนเท่ากับ 79.35% (Dulyanut et al., 2023) และเพื่อศึกษาการใช้อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งยังได้ศึกษาวิจัยที่พัฒนาไม้เท้าอเนกประสงค์สำหรับช่วยเหลือและติดตามผู้ใช้งานผ่านแอปพลิเคชันไลน์ เป็นการพัฒนาไม้เท้าอัจฉริยะโดยประยุกต์เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งเพื่อช่วยเหลือผู้สูงอายุและผู้พิการทางการมองเห็น ซึ่งมักประสบปัญหาเรื่องการทรงตัว โดยระบบที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วย NodeMCU เป็นตัวควบคุมการทำงาน รับข้อมูลจากเซนเซอร์ตรวจจับวัตถุ การล้ม และตรวจสอบแกนไม้เท้า จากนั้นจะส่งข้อมูลผ่านแอปพลิเคชันไลน์ไปยังผู้ดูแล โดยผู้ใช้งานสามารถกดปุ่มส่งพิกัดตำแหน่งได้ และหากเกิดการล้ม ระบบจะส่งเสียงเตือนและแจ้งตำแหน่งผู้ใช้งานให้ผู้ดูแลทราบแบบเรียลไทม์ ผลการทดลองพบว่า ระบบสามารถตรวจจับวัตถุได้แม่นยำในระยะ 10–120 ซม. และมีการแจ้งเตือนเสียงในระดับที่ได้ยินชัดเจนแม้มีสิ่งกีดขวาง (Atibodee et al., 2024) และงานวิจัยที่พัฒนาระบบนำทางสำหรับผู้พิการทางการมองเห็น โดยใช้แผนที่นำทางเชิงความหมายร่วมกับการประมวลผลภาพจากกล้อง และอัลกอริทึม ORB–SLAM2 ร่วมกับ YOLOv5 สำหรับตรวจจับวัตถุ ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถสร้างแผนที่ที่มีข้อมูลเชิงลึก (semantic map) โดยอาศัยการแปลงภาพเป็นแผนที่แบบ grid พร้อมแสดงตำแหน่งสิ่งสำคัญ เช่น ประตู หรือถังดับเพลิง จากนั้นใช้ระบบอินเตอร์เฟซแบบสั่งการด้วยเสียง (Voice User Interface) ซึ่งสามารถระบุประเภทวัตถุที่ตรวจพบ พร้อมแจ้งทิศทางและระยะทางให้ผู้ใช้ทราบในรูปแบบเสียงได้อย่างแม่นยำ ระบบสามารถระบุพิกัดของวัตถุ

ในพื้นที่ด้วยค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 0.154 เมตร และมีระบบรู้จำเสียงพูดเพื่อให้ผู้ใช้สามารถระบุวัตถุที่ต้องการค้นหาได้อย่างสะดวก (Qiang et al., 2024)

Methodology

ผู้วิจัยได้ออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบในรูปแบบเข็มขัด สำหรับช่วยเสริมการเดินทางของผู้พิการทางสายตา โดยมีเป้าหมายเพื่อลดความเสี่ยงจากการเดินชนสิ่งกีดขวาง และเพิ่มความปลอดภัยสำหรับการเดินทางในชีวิตประจำวัน อุปกรณ์มีขนาดกะทัดรัด พกพาสะดวก และออกแบบให้สอดคล้องกับลักษณะการใช้งานจริงของผู้ใช้ ทั้งนี้ระบบยังอยู่ในระดับต้นแบบที่เน้นการศึกษาความเป็นไปได้และประเมินประสิทธิภาพภายใต้สถานการณ์จำลองที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงเป็นหลัก รายละเอียดของขั้นตอนการออกแบบและพัฒนาระบบในครั้งนี้ มีดังต่อไปนี้

ส่วนที่ 1 การทำงานของระบบ

ระบบที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วยโมดูลกล้อง เซนเซอร์อัลตราโซนิค และเซนเซอร์ MPU6050 โดยใช้แบบจำลอง YOLOv11 ในการวิเคราะห์ภาพเพื่อระบุสิ่งกีดขวาง พร้อมประมวลผลร่วมกับข้อมูลจากเซนเซอร์เพื่อตรวจวัดระยะห่างและความลาดชันของเส้นทาง ทั้งหมดดำเนินการประมวลผลบนบอร์ด Raspberry Pi 5 โดยพัฒนาโปรแกรมด้วยภาษา Python



Figure 1 Example of Object Detection and Slope Detection

กระบวนการทำงานของระบบจะเป็นดัง Figure 1 กล่าวคือ เมื่อเริ่มต้นระบบ เซนเซอร์อัลตราโซนิคจะวัดระยะห่างจากพื้นราบ เพื่อใช้เป็นค่าช่วงระยะทางราบปกติสำหรับเปรียบเทียบกับค่าระยะที่ได้ระหว่างการใช้งานจริงที่จะนำใช้ในส่วนของการตรวจจับทางลาดชัน โมดูลกล้องจะรับภาพด้านหน้าผู้ใช้งานส่งเข้าสู่แบบจำลอง YOLO ที่ผ่านการฝึกไว้แล้วเพื่อตรวจจับวัตถุในสภาพแวดล้อมของผู้ใช้ โดยระบบจะคัดกรองเฉพาะผลการตรวจจับที่มีค่าความมั่นใจสูงกว่าค่าที่กำหนดไว้ เพื่อหลีกเลี่ยงการตรวจจับที่คลาดเคลื่อน ขณะเดียวกัน เซนเซอร์อัลตราโซนิคจะวัดระยะห่างระหว่างผู้ใช้งานกับวัตถุ ซึ่งค่าระยะที่ได้จะถูกนำมาใช้ประกอบกับข้อมูลการตรวจจับวัตถุเพื่อบอกระยะห่างจากวัตถุ และสำหรับวัตถุที่ตรวจพบ ระบบจะใช้พิกัดของกรอบวัตถุที่ได้จากแบบจำลองคำนวณตำแหน่งกึ่งกลางในแนวแกน X (x_center) แล้วเปรียบเทียบกับค่าความกว้างของภาพ (frame_width) เพื่อแบ่งพื้นที่ของภาพออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนซ้าย (x_center น้อยกว่าหนึ่งในสามของความกว้างภาพ) ส่วนขวา (x_center มากกว่าสองในสามของภาพ) และส่วนกลาง (อยู่ระหว่างสองค่าดังกล่าว) ระบบจะใช้ตำแหน่งสัมพัทธ์นี้ เพื่อให้คำแนะนำทิศทางการหลบหลีกสิ่งกีดขวาง เช่น หากวัตถุอยู่ทางซ้ายระบบจะแนะนำให้หลบไปทางขวา หากวัตถุอยู่ทางขวา ระบบจะแนะนำให้หลบไปทางซ้าย และหากวัตถุอยู่ตรงกลาง ระบบจะแนะนำให้หลบไป

ทางซ้ายหรือขวา เมื่อระบบตรวจพบวัตถุและประเมินตำแหน่งได้แล้ว จะสร้างข้อความแจ้งเตือน ซึ่งประกอบด้วยชื่อวัตถุที่ตรวจพบ ระยะห่างจากวัตถุ และทิศทางการหลีกเลี่ยง จากนั้นข้อความดังกล่าว จะถูกแปลงเป็นเสียงโดยใช้เทคโนโลยีแปลงข้อความเสียง (Text-to-Speech) ส่งผ่านหูฟังบลูทูธให้ผู้ใช้งานสามารถรับฟังได้ในขณะเดินทาง

สำหรับการตรวจจับทางลาดชัน จะถูกออกแบบเพื่อแจ้งเตือนผู้ใช้งานให้ทราบถึงลักษณะทางลาดชันของทางเดิน โดยใช้การประมวลผลร่วมกันระหว่างเซนเซอร์ MPU6050 และเซนเซอร์อัลตราโซนิค เพื่อเพิ่มความแม่นยำ โดยงานวิจัยนี้เลือกใช้เพียงเฉพาะค่าความเร่ง (Accelerometer) ที่ได้จากแกน X, Y และ Z ของเซนเซอร์ MPU6050 ในการคำนวณมุมก้ม–เงย (Pitch) ของผู้ใช้งาน ตามสมการที่ 1 และแปลงค่าเป็นองศามุมก้ม–เงยเพื่อนำมาใช้งาน แต่ไม่ได้นำ Gyroscope มาใช้งาน เนื่องจากเพียงพอต่อความต้องการของระบบและช่วยลดภาระการประมวลผล จึงเหมาะสมกับระบบที่ต้องการประมวลผลแบบตามเวลาจริง (real time) อย่างไรก็ตาม ค่าที่ได้จาก Accelerometer เพียงอย่างเดียว มีโอกาสเกิดความผิดพลาดจากแรงสั่นสะเทือน ดังนั้น เพื่อลดข้อผิดพลาดดังกล่าว จึงนำค่ามุมก้ม–เงยที่วัดได้ 5 ค่าในแต่ละรอบ มาหาค่ามัธยฐานก่อนนำไปใช้ เพื่อลดค่าพุ่งการกระแทกและนำค่าระยะจากเซนเซอร์อัลตราโซนิค มาประมวลผลร่วมกัน โดยใช้เงื่อนไข ดังนี้ กรณีของทางลาดขึ้น จะใช้เงื่อนไขแบบ AND กล่าวคือ จะต้องพบค่ามุมก้มต่ำกว่าค่าที่กำหนด และ ค่าระยะลดลงต่ำกว่าค่าช่วงระยะทางราบปกติ จึงจะถือว่าเป็นทางลาดขึ้น เพื่อเพิ่มความแม่นยำ และลดความคลาดเคลื่อนจากการเข้าใกล้วัตถุ ในทางกลับกัน กรณีของทางลาดลง จะใช้เงื่อนไขแบบ OR กล่าวคือ จะพบว่า ค่ามุมเงยสูงกว่าค่าที่กำหนด หรือ ค่าระยะเพิ่มขึ้นกว่าค่าช่วงระยะทางราบปกติอย่างใดอย่างหนึ่ง แต่ต้องเข้าเงื่อนไขนี้ 3 ครั้งระบบจึงจะถือว่าเป็นทางลาดลง เพื่อลดการแจ้งเตือนที่ผิดพลาด ทั้งนี้เงื่อนไขดังกล่าว เหมาะลักษณะความเสี่ยงที่แตกต่างกัน อีกทั้ง เพิ่มความปลอดภัย เนื่องจากทางลาดลงมีโอกาสที่พื้นจะหายไปกะทันหัน และทางลาดลงมีความเสี่ยงต่อการเสียหลักและการล้มสูงกว่า เมื่อจำแนกประเภทของทางลาดชันได้แล้ว ระบบจะแจ้งเตือนเสียงผ่านหูฟังบลูทูธผู้ใช้งาน เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมได้อย่างเหมาะสม

ระบบแจ้งเตือนด้วยเสียงในงานวิจัยนี้ ใช้ไลบรารี Google Text-to-Speech (gTTS) ซึ่งรองรับการแปลงข้อความเป็นไฟล์เสียงในรูปแบบ MP3 ได้ (Pierre, 2024) ระบบจะนำข้อความแจ้งเตือนที่ได้จากการตรวจจับวัตถุหรือทางลาดชันมาแปลงเป็นเสียงพูด และส่งผ่านหูฟังบลูทูธ เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถรับรู้ข้อมูลขณะเดินทางได้ ระบบกำหนดช่วงเวลาหน่วงระหว่างการแจ้งเตือนแต่ละครั้ง ไม่น้อยกว่า 7 วินาที เพื่อให้มีเวลาเพียงพอในการแจ้งเตือน ผู้ใช้สามารถรับรู้และตอบสนองต่อข้อมูลอย่างเหมาะสม โดยแยกข้อความของการแจ้งเตือนวัตถุและทางลาดชันออกจากกัน เพื่อไม่ให้เกิดการแจ้งเตือนเสียงซ้อนรบกวนผู้ใช้งาน โดยการแจ้งเตือนของระบบจะมี 3 กรณีดังต่อไปนี้

1. หากตรวจพบทั้งวัตถุและทางลาด ระบบจะแจ้งเตือนชื่อวัตถุ ระยะห่างจากวัตถุ ทิศทางหลบหลีก และทางลาดตามลำดับ
2. หากตรวจพบเฉพาะทางลาด ระบบจะแจ้งเตือนเฉพาะข้อความเกี่ยวกับทางลาด
3. หากตรวจพบเฉพาะวัตถุ ระบบจะแจ้งเตือนเฉพาะชื่อวัตถุ ระยะห่างจากวัตถุ และทิศทางหลบหลีก

ส่วนที่ 2 การออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์

กระบวนการพัฒนาฮาร์ดแวร์ของระบบเริ่มต้นจากการเลือกองค์ประกอบหลักที่เหมาะสมกับลักษณะการใช้งานของผู้พิการทางสายตา โดยพิจารณาจากขนาด น้ำหนัก ความสามารถในการประมวลผล จากนั้น จึงเข้าสู่ขั้นตอนการออกแบบทางกายภาพ การติดตั้งอุปกรณ์ และการเชื่อมต่อวงจร ผู้วิจัยได้ทำการเลือก Raspberry Pi 5 เป็นศูนย์กลางการควบคุมระบบ โดยคำนึงถึงความสามารถในการประมวลผลข้อมูลจากโมดูลกล้องและเซนเซอร์ต่าง ๆ พร้อมกัน อุปกรณ์ดังกล่าว สามารถเชื่อมต่อกับโมดูลกล้องผ่านพอร์ต CSI และรองรับการใช้งานเซนเซอร์หลายชนิดผ่านพอร์ต GPIO หรือ I2C ได้แก่ เซนเซอร์อัลตราโซนิค และเซนเซอร์ MPU6050 จากนั้นเพื่อความกะทัดรัด สะดวกสบายในการสวมใส่และความคล่องตัว จึงออกแบบการประกอบอุปกรณ์ต่างๆเข้าด้วยกันในรูปแบบเข็มขัด

ในส่วนของเซนเซอร์ที่ติดกับเข็มขัด เพื่อลดผลกระทบจากการขยับตัวต่อค่าของเซนเซอร์อัลตราโซนิค อุปกรณ์จะถูกติดตั้งบนเข็มขัด โดยยึดตรึงแน่นกับเข็มขัด เพื่อเสริมความแข็งแรง และบุโฟมด้านใน เพื่อลดการบิดงอไปตามสรีระร่างกาย ในด้านการประมวลผลสัญญาณ ระบบใช้ค่าที่วัดได้ 5 ค่า ในแต่ละรอบ มาหาค่ามัธยฐานก่อนนำไปใช้ เพื่อลดค่าพุ่งการกระแทก และหาช่วงระยะทางราบปกติที่ได้จากการวัดช่วงเริ่มต้น พร้อมกำหนดช่วงค่าที่ต้องการ ตัวอย่างเช่น ±0.40 เมตร ถ้าวัดได้ 1.20 เมตร จะได้ค่าช่วงระยะปกติที่ 0.80 – 2.00 เมตร เพื่อป้องกันค่าระยะเปลี่ยนไปมาเล็กน้อยจากการขยับตัว ทั้งนี้ ค่าระยะที่อยู่ในช่วงดังกล่าว จะไม่นำไปใช้กระตุ้นเหตุการณ์ใด ๆ และจะพิจารณาเฉพาะค่าที่อยู่นอกช่วงนี้เพื่อนำไปใช้ในตรรกะการตรวจหาทางลาดชัน

ขั้นตอนการประกอบอุปกรณ์เริ่มจากติดตั้งโมดูลกล้องไว้บริเวณด้านหน้าของเข็มขัดในระดับเอว โดยมีการเอียงกล้องลงให้มุมมองภาพตรงกับเส้นทางการเดิน เช่นเดียวกันกับเซนเซอร์อัลตราโซนิคถูกจัดวางให้เอียงลงเพื่อตรวจวัดระยะพื้นเบื้องหน้า ส่วนเซนเซอร์ MPU6050 ติดตั้งในแนวแกน x ชี้ไปด้านหน้าแนบลำตัวเพื่อให้สะท้อนค่ามุมก้ม–เงยของผู้ใช้งานได้แม่นยำ ขณะที่ Raspberry Pi 5 และแบตเตอรี่สำรองติดตั้งไว้ด้านหลังของเข็มขัดเพื่อถ่วงน้ำหนักให้สมดุล การเชื่อมต่อสายสัญญาณต่าง ๆ ได้รับการจัดระเบียบให้ไม่รบกวนการเคลื่อนไหวไว้ด้านหลังเข็มขัดและยึดไว้ให้ติดกับเข็มขัด เพื่อความมั่นคงขณะใช้งานจริง รายละเอียดการประกอบอุปกรณ์แสดงไว้ใน Figure 2

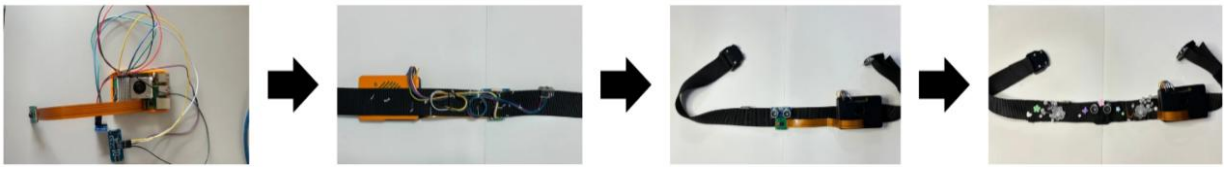


Figure 2 Equipment Assembly Procedure

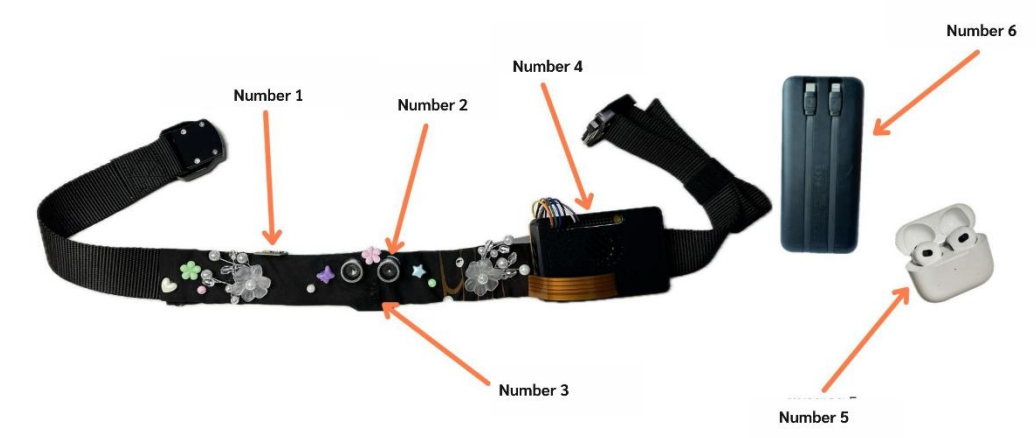


Figure 3 Components of the Belt-Based Device for Visually Impaired Individuals

อุปกรณ์ต้นแบบในรูปแบบของเข็มขัดจาก Figure 3 ได้รับการออกแบบให้เหมาะสมกับการใช้งานของผู้พิการทางสายตา โดยคำนึงถึงความสะดวกสบายในการสวมใส่ ความคล่องตัว และสามารถปรับความยาวสายเข็มขัดให้เข้ากับผู้ใช้งานแต่ละคน ตัวอุปกรณ์มีขนาดกะทัดรัด น้ำหนักเบา และรองรับการตรวจจับวัตถุ พื้นลาดชัน รวมถึงการแจ้งเตือนแบบเรียลไทม์ภายในอุปกรณ์ประกอบด้วยหน่วยประมวลผลหลักคือ Raspberry Pi 5 (หมายเลข 4) ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมและ

ประมวลผลข้อมูลจากเซนเซอร์ต่าง ๆ โดยใช้โปรแกรมที่พัฒนาด้วยภาษา Python ร่วมกับไลบรารีที่เหมาะสม อุปกรณ์ประกอบด้วย เซนเซอร์ MPU6050 (หมายเลข 1) สำหรับตรวจวัดความเร่งและคำนวณค่ามุมก้ม–เงย เพื่อตรวจจับทางลาดชัน เซนเซอร์อัลตราโซนิค (หมายเลข 2) สำหรับวัดระยะห่างจากวัตถุด้านหน้า โดยให้เซนเซอร์เอียงลงตามความเหมาะสม และ โมดูลกล้อง (หมายเลข 3) สำหรับจับภาพเพื่อตรวจจับสิ่งกีดขวาง เมื่อพบสิ่งกีดขวางหรือทางลาดชัน ระบบจะแจ้งเตือนด้วยเสียงผ่านหูฟังบลูทูธ (หมายเลข 5) เพื่อให้ผู้ใช้งานรับรู้โดยไม่ต้องอาศัยการมองเห็น ทั้งนี้ อุปกรณ์ใช้แบตเตอรี่สำรอง (หมายเลข 6) เป็นแหล่งพลังงานสำหรับ Raspberry Pi และเซนเซอร์ต่าง ๆ หลังจากการออกแบบเสร็จสิ้นได้มีการทดสอบใช้งานเพื่อค้นหาจุดบกพร่องและปรับปรุงให้ดียิ่งขึ้น

ส่วนที่ 3 การฝึกแบบจำลอง YOLO สำหรับการตรวจจับวัตถุ

ผู้วิจัยได้ใช้แบบจำลอง YOLOv11n เป็นแบบจำลองพื้นฐานสำหรับการฝึก ในที่นี้ ผู้วิจัยใช้ได้เลือกวัตถุตามสภาพแวดล้อมของผู้วิจัย โดยแบ่งออกเป็น กลุ่มคลาสหลัก ซึ่งเป็นวัตถุที่พบได้บ่อยภายนอกอาคาร จำนวน 10 คลาส ได้แก่ ที่กั้น, กรวย, ก้อนหิน, คน, เสา, ม้านั่ง, ถังขยะ, ป้าย, บันได, ต้นไม้ และกลุ่มคลาสเสริม อีก 6 คลาส ได้แก่ ขวด, กล่อง, พุ่มไม้, เก้าอี้, กระถางต้นไม้, โต๊ะ ซึ่งเป็นวัตถุที่แม้จะพบไม่บ่อยนักบนทางเดิน แต่มีความเป็นไปได้ที่จะปรากฏในสภาพแวดล้อมจริง หรือสามารถใช้เป็นวัตถุจำลองในการทดสอบระบบได้ขณะเดียวกันก็ยังช่วยคงความยืดหยุ่นในการตรวจจับวัตถุอื่น ๆ ที่อาจส่งผลต่อการนำทางได้ในบางสถานการณ์ ทั้งนี้ การเลือกวัตถุต้องพิจารณาจากความสอดคล้องกับสภาพแวดล้อมจริงของผู้ใช้งาน เพื่อให้แบบจำลองสามารถเรียนรู้และตรวจจับวัตถุได้อย่างแม่นยำ

1. การจัดเตรียมชุดข้อมูล ผู้วิจัยได้รวบรวมภาพวัตถุต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ที่พบได้จากสภาพแวดล้อมของผู้วิจัย โดยถ่ายภาพวัตถุเอง และภาพบางส่วนจากอินเทอร์เน็ต นำภาพทั้งหมดเข้าไปจัดการบนโปรแกรม Roboflow (roboflow, n.d) ซึ่งสามารถใช้ทำ Annotate หรือการ Label กำกับว่าในกรอบนั้นคือวัตถุใด และสามารถเพิ่มความหลากหลายของข้อมูลโดยการทำ Augmentation ได้อีกด้วย เมื่อเสร็จสิ้นจึงได้ชุดข้อมูลรวม 952 ภาพ แบ่งเป็นชุดฝึก (train set) 846 ภาพ, ชุดตรวจสอบ (Validation set) 76 ภาพ, และชุดทดสอบ (test set) 30 ภาพ

2. การฝึกแบบจำลอง ผู้วิจัยใช้ภาษา Python รันโค้ดผ่านโปรแกรม Visual Studio Code ร่วมกับการใช้ GPU บนเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการประมวลผล โดยผู้วิจัยได้ศึกษาแนวทางการฝึกและชุดคำสั่งจาก Ultralytics YOLO GitHub https://github.com/ultralytics/ultralytics (Ultralytics, n.d) ในขั้นตอนการฝึกแบบจำลอง ได้ตั้งค่าพารามิเตอร์ เช่น ขนาดของภาพ (imgsz) เท่ากับ 320×320 พิกเซล เนื่องจากข้อจำกัดด้านทรัพยากรของอุปกรณ์ Raspberry Pi 5 ซึ่งต้องประมวลผลข้อมูลจากเซนเซอร์หลายชนิดพร้อมกัน จึงเลือกใช้ภาพขนาดเล็กลงเพื่อลดภาระในการประมวลผลและเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ นอกจากนี้ แบบจำลองถูกฝึกด้วยจำนวนรอบการฝึก (Epochs) เท่ากับ 200 รอบ เพื่อให้แบบจำลองสามารถเรียนรู้ข้อมูลได้อย่างเพียงพอ และมีความแม่นยำที่เหมาะสม พร้อมกันนี้ ยังได้ประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองบนชุดข้อมูลตรวจสอบ (Validation set) โดยผลลัพธ์ที่ได้จะปรากฏในรูปของกราฟและตัวชี้วัดต่าง ๆ

3. การทดสอบ ผู้วิจัยได้นำแบบจำลองที่ได้จากการฝึกมาทดลองใช้ โดยไฟล์แบบจำลองที่ได้มานั้นจะมีชื่อว่า best.pt เป็นรูปแบบไฟล์ของ PyTorch มาใช้งาน โดยเขียนโปรแกรมภาษา python ทดสอบกับชุดข้อมูลทดสอบ (Test set) เพื่อตรวจสอบว่าแบบจำลองสามารถทำงานได้ดีเพียงใดกับภาพที่ไม่เห็นมาก่อน นอกจากนี้ ยังมีการทดสอบเพิ่มเติมด้วยการใช้โมดูลกล้องตรวจจับวัตถุในสภาพแวดล้อมจริง เพื่อประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองที่ฝึกแล้วในสภาพแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เช่น ความแตกต่างของแสง และมุมกล้อง การทดสอบทั้งสองรูปแบบนี้ จะช่วยยืนยันว่าแบบจำลองจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานจริงได้ ซึ่งเป็นผลการทดสอบจากกล้องจริง ดังตัวอย่าง Figure 4



Figure 4 Example of Object Detection Testing

ในส่วนการทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพของระบบ ผู้วิจัยได้ดำเนินการทดสอบในสองส่วนหลัก ได้แก่ การประเมินผลจากการฝึกแบบจำลองการตรวจจับวัตถุ ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ค่าตัวชี้วัดมาตรฐานที่ใช้ในงานด้านการเรียนรู้ของเครื่องและการตรวจจับวัตถุ ได้แก่ ค่า mAP (mean Average Precision) ค่า F1–score รวมถึงค่าชี้วัดอื่น ๆ เช่น Precision, Recall ซึ่งตัวชี้วัดเหล่านี้สะท้อนถึงความสามารถของแบบจำลองในการตรวจจับวัตถุได้ และ การทดสอบการทำงานของระบบต้นแบบ ผู้วิจัยได้ทดลองเพื่อประเมินความสามารถของระบบในการทำงานแบบบูรณาการ โดยประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่ การตรวจจับวัตถุจากกล้องจริง การแนะนำทิศทางหลบหลีกสิ่งกีดขวาง และการตรวจจับทางลาดชัน โดยในแต่ละประเภทของการทดสอบจะมีการคำนวณค่าความแม่นยำ (Accuracy) เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบในแต่ละแต่ละองค์ประกอบ

Results

ภายหลังการฝึกแบบจำลอง YOLO กับชุดข้อมูลที่จัดเตรียมไว้ ระบบได้รายงานผลการประเมินในรูปของกราฟพร้อมค่าตัวชี้วัดมาตรฐาน ได้แก่ Precision, Recall, F1–score และ Mean Average Precision (mAP) ซึ่งใช้สะท้อความสามารถของแบบจำลองในการตรวจจับวัตถุประเภทต่าง ๆ จากผลรวมของทุกคลาส พบว่าแบบจำลองมีค่า mAP@0.5 เท่ากับ 0.830 ซึ่งแสดงถึงระดับความแม่นยำและความสม่ำเสมอในการตรวจจับวัตถุ โดยผลการประเมินจะแสดงผ่านกราฟ 2 ประเภทใน Figure 5 โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. กราฟ Precision–Recall Curve แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Precision และ Recall ทั้งในระดับคลาสและภาพรวม โดยเส้นรวมที่มีผลออกมาเป็นเส้นสีน้ำเงิน แสดงถึงแบบจำลองที่สามารถรักษาระดับ precision ได้ในระดับสูง แม้ recall จะเพิ่มขึ้น คลาสที่มีค่า precision สูง ได้แก่ box, bottle, chair และ sign ขณะที่บางคลาส เช่น plant pot และ bush มีค่า precision ค่อนข้างต่ำ ซึ่งอาจเกิดจากความหลากหลายของลักษณะวัตถุในคลาสดังกล่าว

2. กราฟ F1–Confidence Curve แสดงค่า F1–score ที่ระดับ confidence ต่าง ๆ โดยพบว่าค่าสูงสุดอยู่ที่ 0.81 เมื่อค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.559 ซึ่งเป็นจุดสมดุลที่เหมาะสมระหว่าง precision และ recall และสามารถใช้เป็น threshold สำหรับระบบต้นแบบจริงได้

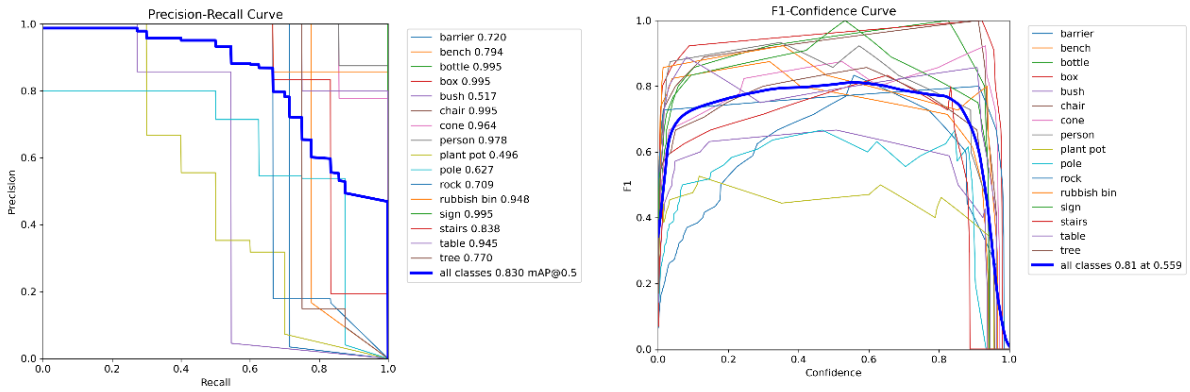


Figure 5 Precision–Recall Curve and F1–Confidence Curve

ในการทดสอบระบบต้นแบบ ผู้วิจัยได้นำอุปกรณ์ที่ออกแบบและพัฒนาขึ้นไปทดสอบการทำงานของแต่ละส่วนในสถานการณ์จำลองที่ใกล้เคียงกับการใช้งานจริง เพื่อประเมินความสามารถของระบบที่พัฒนาขึ้น ว่าสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากน้อยเพียงใด ตรวจสอบปัญหาข้อบกพร่องต่าง ๆ ของอุปกรณ์ ทั้งในด้านการตรวจจับวัตถุ การวิเคราะห์ตำแหน่ง ไปจนถึงการแจ้งเตือนเสียงและการตอบสนองต่อสภาพแวดล้อม เพื่อโดยการทดสอบจะประกอบไปด้วย

1. การทดสอบความแม่นยำของการตรวจจับวัตถุ โดยใช้กล้องในการตรวจจับวัตถุ 16 ประเภทในสภาพแวดล้อมจริง จำนวนวัตถุประเภทละ 50 ครั้ง เพื่อทดสอบว่าแบบจำลองสามารถตรวจจับวัตถุที่ผ่านการฝึกฝนได้อย่างถูกต้องหรือไม่ จากนั้นนำจำนวนครั้งที่ตรวจจับได้อย่างถูกต้องมาเปรียบเทียบกับจำนวนการทดสอบทั้งหมด เพื่อคำนวณค่าความแม่นยำเฉลี่ย จากผลการทดสอบพบว่า ระบบสามารถตรวจจับวัตถุได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีค่าความแม่นยำเฉลี่ยรวมอยู่ที่ 94.0% รายละเอียดผลการทดสอบของแต่ละวัตถุ แสดงไว้ใน Table 1

Table 1 Accuracy Test Results of Object Detection with the Trained Model

Detected Objects	Object Test Results 50 times		Accuracy %
	Correct	Incorrect	
1. Barrier	47	3	94.0%
2. Bench	46	4	92.0%
3. Bottle	50	0	100.0%
4. Box	46	4	92.0%
5. Bush	46	4	92.0%
6. Chair	48	2	96.0%
7. Cone	50	0	100.0%
8. Person	45	5	90.0%
9. Plant Pot	50	0	100.0%
10. Pole	46	4	92.0%
11. Rock	44	6	88.0%
12. rubbish bin	48	2	96.0%

Detected Objects	Object Test Results 50 times		Accuracy %
	Correct	Incorrect	
13. Sign	47	3	94.0%
14. Stairs	48	2	96.0%
15. Table	46	4	92.0%
16. Tree	45	5	90.0%
Average			**94.0%**

และการทดสอบนี้ ดำเนินการในสภาพแวดล้อมจริง ภายใต้การควบคุมตัวแปรที่เหมาะสม โดยเลือกพื้นที่เป็นทางเดินที่มีการสัญจรของผู้คนไม่หนาแน่น วัตถุที่ใช้ทดสอบมีลักษณะชัดเจน ไม่ซับซ้อน และมีขนาดเหมาะสมกับเฟรมกล้อง กล่าวคือ ไม่เล็กจนเกินไปและไม่ครอบคลุมพื้นที่ภาพมาก การทดสอบครอบคลุมช่วงเวลากลางวันไปจนถึงช่วงเย็นที่ยังมีแสงเพียงพอต่อการทำงานของกล้อง

จากการสังเกตพบว่า ในช่วงกลางวัน ระบบสามารถตรวจจับวัตถุได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง ส่วนในช่วงเย็นยังสามารถตรวจจับได้ หากมีแสงเพียงพอ แต่ความแม่นยำและความต่อเนื่องในการตรวจจับอาจลดลงเล็กน้อย เมื่อเทียบกับช่วงกลางวัน ซึ่งเป็นผลจากปริมาณแสงที่ลดลงและสภาพแวดล้อมที่มีความสว่างไม่สม่ำเสมอ

2. การทดสอบความแม่นยำของการแนะนำทิศทางการหลบหลีกสิ่งกีดขวาง ผู้วิจัยได้จัดสถานการณ์จำลองโดยวางวัตถุไว้ด้านหน้าของผู้ทดลอง ในตำแหน่งต่าง ๆ ได้แก่ ซ้าย กลาง และขวา โดยสังเกตว่าระบบแจ้งเตือนทิศทางการหลบหลีกสิ่งกีดขวางได้ถูกต้องหรือไม่ ตัวอย่างเช่น วัตถุอยู่ทางซ้ายระบบจะแจ้งเตือนให้หลบไปทางขวา วัตถุอยู่ทางขวาระบบจะแจ้งเตือนให้หลบไปทางซ้าย และวัตถุอยู่ตรงกลางระบบจะแจ้งเตือนหลบไปทางซ้ายหรือขวา ในแต่ละสถานการณ์ได้ทำการทดสอบซ้ำจำนวน 30 ครั้ง จากผลการทดสอบพบว่า กรณีวัตถุอยู่ทางซ้ายแนะนำได้ถูกต้อง 29 ครั้ง กรณีวัตถุอยู่ตรงกลางแนะนำได้ถูกต้อง 28 ครั้ง และกรณีวัตถุอยู่ตรงขวาแนะนำได้ถูกต้อง 29 ครั้ง โดยรวม ระบบสามารถให้คำแนะนำได้ถูกต้องใน 86 จาก 90 ครั้ง คิดเป็นความแม่นยำเฉลี่ย 95.5% แสดงให้เห็นว่า ระบบสามารถให้คำแนะนำได้อย่างถูกต้องภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีการควบคุมอย่างเหมาะสม โดยเฉพาะเมื่อวัตถุอยู่ในตำแหน่งที่ชัดเจนและไม่มีปัจจัยรบกวน เช่น วัตถุที่มีขนาดใหญ่ครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ของภาพ หรือท่าทางของผู้ใช้งานที่ส่งผลต่อมุมกล้อง

3. การทดสอบความแม่นยำในการตรวจจับทางลาดชัน ผู้วิจัยได้ทำการทดลองเดินในพื้นที่ที่มีลักษณะทางลาดชันแตกต่างกันในพื้นที่จริง ได้แก่ ทางลาดขึ้นและทางลาดลง เพื่อประเมินความสามารถของระบบในการตรวจจับลักษณะพื้นผิวและแจ้งเตือนเสียงได้ถูกต้อง โดยในแต่ละลักษณะได้ทำการทดสอบซ้ำจำนวน 50 ครั้ง จากผลการทดสอบพบว่า กรณีทางลาดลงแนะนำได้ถูกต้อง 46 ครั้ง กรณีทางลาดขึ้นแนะนำได้ถูกต้อง 43 ครั้ง โดยมีค่าความแม่นยำเท่ากับ 92.0% และ 86.0% ตามลำดับ ค่าความแม่นยำเฉลี่ยรวมอยู่ที่ 89.0% ซึ่งค่าความแม่นยำที่ได้อยู่ในระดับที่พอใช้ได้ โดยเฉพาะในการแจ้งเตือนผู้ใช้ในสภาพแวดล้อมที่มีความเสี่ยงอย่างทางลาดชัน

สำหรับการทดสอบการแจ้งเตือนเสียงผ่านหูฟังบลูทูธ ระบบสามารถแปลงข้อความเป็นเสียงและเล่นเสียงได้อย่างถูกต้องตามข้อมูลที่ตรวจจับได้ในระหว่างการทดสอบทั้ง 3 ฟังก์ชัน กล่าวคือ ระบบสามารถทำงานร่วมกันระหว่างฟังก์ชันตรวจจับวัตถุ การแนะนำทิศทางการหลบหลีกสิ่งกีดขวาง และการตรวจจับทางลาดชัน พร้อมแจ้งเตือนเสียงได้ดี แม้ว่าการทดสอบทั้งหมดในครั้งนี้ยังคงอยู่ในระดับของการทดสอบระบบ โดยผู้วิจัยผ่านสถานการณ์จำลองที่กำหนดขึ้นเองเพื่อประเมินประสิทธิภาพเบื้องต้นของระบบ ยังไม่มีการทดลองกับกลุ่มผู้ใช้งานจริงหรือผู้พิการทางสายตาโดยตรง จึงยังไม่สามารถสะท้อนผลการใช้งานในสถานการณ์จริงได้โดยสมบูรณ์ ทั้งนี้ ผลการทดลองที่ได้สามารถใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้น

สำหรับการปรับปรุงระบบ และเป็นพื้นฐานสำหรับการพัฒนาในอนาคต อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยได้เลือกสถานที่ทดสอบในลักษณะที่ใกล้เคียงกับทางเดินเท้าจริงในชีวิตประจำวัน เพื่อให้ผลลัพธ์ที่ได้สามารถสะท้อนประสิทธิภาพของระบบได้อย่างเหมาะสม

Conclusion and Discussion

ผลการศึกษาในครั้งนี้ สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัยที่มุ่งเน้นการพัฒนาระบบต้นแบบเพื่อช่วยนำทางผู้พิการทางสายตา โดยระบบต้นแบบมีความสามารถในการนำทางเฉพาะหน้า สามารถตรวจจับวัตถุ แนะนำทิศทางหลบหลีกสิ่งกีดขวาง และบอกลักษณะของทางลาดชันได้ อันเกิดจากการประยุกต์ใช้อัลกอริทึม YOLOv11n ในการวิเคราะห์ภาพจากกล้องร่วมกับข้อมูลจากเซนเซอร์อัลตราโซนิค และเซนเซอร์ MPU6050 ที่ติดตั้งบน Raspberry Pi 5 จากการประเมินแบบจำลอง YOLO ที่ฝึกด้วยชุดข้อมูลที่กำหนดเอง พบว่าค่า มีค่า mAP@0.5 เท่ากับ 0.830 แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการตรวจจับวัตถุของแบบจำลอง แม้จะใช้ภาพที่มีขนาดเล็กลงเพื่อลดภาระการประมวลผลบน raspberry pi 5

การทดสอบการทำงานของระบบต้นแบบ โดยใช้อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นไปทดลองใช้ในสถาณการณ์จำลองที่ใกล้เคียงกับการใช้งานจริง พบว่าการทดสอบตรวจจับวัตถุด้วยกล้องจริง มีค่าความแม่นยำเฉลี่ยรวมอยู่ที่ 94.0% จาก Table 1 จะเห็นว่ากลุ่มวัตถุที่มีความแม่นยำสูง เช่น ขวดน้ำ กรวย นั้นจะมีลักษณะรูปร่าง สี และขอบเขตที่ชัดเจน แตกต่างจากพื้นหลังอย่างเด่นชัด ทำให้แบบจำลองสามารถจำแนกได้ง่าย แม้ในสภาพแสงที่ต่างกัน แต่ในส่วนของกลุ่มวัตถุที่ความแม่นยำต่ำ เช่น ก้อนหิน มักจะเป็นวัตถุที่มีขนาดและรูปร่าง หลากหลายหรือมีลักษณะกลมกลืนกับพื้น อาจเกิดการสับสนกับฉากหลัง โดยเฉพาะเมื่ออยู่ระยะไกล ทั้งนี้ ความแม่นยำยังขึ้นอยู่กับชุดข้อมูลฝึก ผลดังกล่าวชี้ ให้เห็นว่าความแม่นยำยังขึ้นอยู่กับความหลากหลายและคุณภาพของชุดข้อมูลฝึก ดังนั้น หากเพิ่มตัวอย่างภาพในสภาพแวดล้อมและมุมมองที่หลากหลายมากขึ้น จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพและความสามารถในการตรวจจับวัตถุได้ดียิ่งขึ้น สะท้อนถึงศักยภาพของระบบในการทำงานในสภาพแวดล้อมจริงที่มีความแตกต่างของแสงและมุมกล้อง ในส่วนของการทดสอบการแนะนำทิศทางการหลบหลีกสิ่งกีดขวาง จากการทดลองอย่างละ 30 ครั้ง มีความแม่นยำเฉลี่ยรวม 95.5% แบ่งเป็นความถูกต้องด้านขวา 29 ครั้ง ด้านซ้าย 29 ครั้ง และตรงกลาง 28 ครั้ง สะท้อนถึงสามารถในการให้คำแนะนำการทิศทางหลบหลีกทิศทางสิ่งกีดขวางได้อย่างแม่นยำ โดยเฉพาะตำแหน่งวัตถุมีความชัดเจนในภาพที่ได้จากกล้องสามารถทราบได้ว่าวัตถุวางอยู่ในทิศทางไหน สภาพแสงและมุมกล้องในสถานการณ์จำลองถูกควบคุมอย่างเหมาะสม ทั้งนี้การเคลื่อนไหวของผู้ใช้ระหว่างตรวจจับ อาจทำให้กรอบวัตถุเลื่อนไปอยู่ในอีกส่วนหนึ่งของภาพทำให้ผลลัพธ์คลาดเคลื่อนได้ ในส่วนของการตรวจจับทางลาดชัน จากการทดลองอย่างละ 50 ครั้ง มีค่าความแม่นยำเฉลี่ยรวมอยู่ที่ 89.0% แบ่งเป็นทางลาดลง 92.0% และทางลาดขึ้น 86.0% สะท้อนถึงสามารถของการตรวจจับทางลาดชันได้อย่างถูกต้องเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งจากการสังเกตุ ทางลาดขึ้น อาจผิดพลาดในการตรวจจับบางครั้ง เนื่องจากความชันบางรูปแบบ เช่น ชันน้อยหรือค่อย ๆ สูงขึ้น ทำให้ค่าจากเซนเซอร์ไม่มากพอที่จะเข้าเงื่อนไข และสาเหตุที่ทางลาดลงตรวจหาได้แม่นยำกว่า เพราะว่าในเงื่อนไขเพียงเซนเซอร์ใดเซนเซอร์หนึ่งเข้าเกณฑ์ก็ถือว่าพบ อีกทั้งลักษณะทางลาดลงมักมีการเปลี่ยนแปลงค่าระยะจากอัลตราโซนิคเด่นชัด ทำให้ตรวจจับง่ายและไว สาเหตุที่ต้องการความไวเพราะว่าทางลาดลงมีความเสี่ยงสูงกว่า พื้นด้านหน้าอาจหายไปทันที ไม่เหมือนทางลาดขึ้นที่ผู้ใช้ยังสามารถรับรู้ได้บ้างจากการสัมผัสของเท้า ในส่วนการแจ้งเตือนเสียงก็สามารถแสดงเสียงตามข้อมูลตามที่ตรวจจับได้อย่างถูกต้อง

จากผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยที่ช่วยนำทางอัจฉริยะสำหรับผู้พิการทางสายตาโดยใช้อัลกอริทึม YOLOv8 ร่วมกับเซนเซอร์อัลตราโซนิค เซนเซอร์ตรวจจับความชื้น และกล้องที่ติดตั้งบน Raspberry Pi เพื่อให้คำแนะนำในการเดินทางด้วยเสียง ระบบสามารถตรวจจับวัตถุต่าง ๆ ได้ทั้งในและนอกอาคาร โดยมีความแม่นยำเฉลี่ย 91.70% นอกจากระบบฮาร์ดแวร์ ยังมีการพัฒนาแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนที่ใช้ระบบนำทางด้วยเสียงแบบเรียลไทม์ โดยใช้ GPS และคำสั่งเสียง (Gabriel et al., 2025) ขณะที่ระบบที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ใช้ YOLOv11n และให้ความแม่นยำสูงถึง 94% ในการตรวจจับวัตถุ และเช่นเดียวกับ ในงานพัฒนาไม้เท้าอัจฉริยะที่มีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งและปัญญาประดิษฐ์ ในการตรวจจับทางต่างระดับและสิ่งกีดขวางระบบสามารถจำแนกภาพ 11 ประเภทที่แตกต่างกันได้ดี โดยมีค่า Accuracy อยู่ที่ 97.96% สำหรับการตรวจจับทางต่างระดับ และ 96.08% .ในการตรวจจับสิ่งกีดขวาง (Wadeenat, 2025) ซึ่งสอดคล้องกับระบบต้นแบบในงานวิจัยนี้ ที่สามารถตรวจจับวัตถุและแนะนำทิศทางได้อย่างแม่นยำเช่นกัน นอกจากนี้ ยังพบว่าผลการวิจัยของ พัฒนาระบบตรวจจับวัตถุภายในสมาร์ทโฮมสำหรับผู้พิการทางสายตา ที่ใช้อัลกอริทึม YOLOv8 ร่วมกับ Raspberry Pi4 และ Ultrasonic Sensor ก็แสดงถึงการช่วยให้ผู้พิการสามารถรับรู้สิ่งกีดขวางในระยะปลอดภัย โดยแบบจำลองที่ฝึกด้วยข้อมูลภายในบ้านสามารถตรวจจับวัตถุได้แม่นยำถึง 96.2% (Sasikam et al., 2025) ผลการวิจัยดังกล่าวสอดคล้องกับระบบต้นแบบของงานวิจัยนี้ ที่เน้นการใช้งานในสภาพแวดล้อมจริง การใช้ YOLO ที่ฝึกจากข้อมูล ช่วยเพิ่มความแม่นยำและตอบสนองต่อสถานการณ์ได้รวดเร็ว แม้ว่างานวิจัยจะเน้นที่บริบทการใช้งานต่างกันในบางส่วน แต่ก็ล้วนแสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึม YOLO สามารถสร้างระบบนำทางและการตรวจจับสิ่งกีดขวางที่ใช้งานได้ให้กับกลุ่มผู้พิการทางสายตา

โดยภาพรวมกลไกการทำงานจะสามารถทำงานได้อย่างดี แต่จากการทดสอบก็ยังพบข้อจำกัดบางประการที่ควรนำไปพิจารณาเพื่อการพัฒนาในอนาคต การใช้งานอุปกรณ์จากได้รับผลการทบจากพฤติกรรมของผู้ใช้ เช่น การโน้มตัวเอง การก้าวเดินแรงๆ อาจส่งผลให้ค่าที่วัดได้จาดเซนเซอร์มีความคลาดเคลื่อน ทำให้แสดงผลลัพธ์ได้ผิดผลาด ทั้งการรับภาพของกล้องที่บางครั้งวัตถุอาจไม่เข้าเฟรมกล้องได้ เนื่องมีขนาดเล็กเกิน หรือใกล้เกินไป ซึ่งพบเป็นส่วนน้อยของวัตถุที่ทำการทดสอบ นอกจากนี้ ในกรณีอุปกรณ์ผ่านการใช้งานเป็นเวลานาน เครื่องจะเกิดความร้อนอาจทำให้มีอาการหน่วง ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานลดน้อยลง และสำหรับการการแจ้งเตือนเสียงจำเป็นที่จะต้องเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตเพื่อการแปลงข้อความเป็นเสียงผ่าน gTTS และเพื่อให้ระบบต้นแบบนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับผู้พิการทางสายตาได้ดียิ่งขึ้น จึงอยากเสนอแนะให้มีการปรับปรุงเสถียรภาพด้วยเทคโนโลยีที่ล้ำสมัยยิ่งขึ้นเพื่อให้สามารถทำงานในสภาพแวดล้อมที่หลากหลายอย่างการเปลี่ยนแปลงรูปแบบเข็มขัดให้มีการคลาดเคลื่อนที่น้อยลง การลดภาระการทำงานของอุปกรณ์เพื่อเพิ่มระยะการทำงาน และการทำให้อุปกรณสามารถใช้งานโดยที่ไม่พึ่งพาอินเทอร์เน็ต สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยหวังว่าผลงานชิ้นนี้จะเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถนำไปต่อยอดได้ในอนาคตเพื่อเสริมสร้างนวัตกรรมที่ช่วยยกระดับคุณภาพชีวิตให้กับผู้พิการทางสายตา

References

Durette, P. N. (2024). *Google Text-to-Speech*. From https://pypi.org/project/gTTS/

IBM. (2023). *What is the Internet of Things (IoT)?*. From https://www.ibm.com/think/topics/internet-of-things/

Imsuwan, Y. (2021). *What is the definition of blindness?*. From https://tmc.or.th/pdf/tmc_knowlege-108.pdf (in Thai)

Khanam, R., & Hussain, M. (2024). *Yolov11: An overview of the key architectural enhancements*. arXiv preprint arXiv, 2410. 17725.

Kongchaimongkhon, W., Udomcharoenchaikit, P., & Areekit, P. (2024). Daily Life's Experience of Visually Impaired Persons. *Ratchaphruek Journal, 22*(1), 144–155. (in Thai)

LastMinuteEngineers. (2022). *Interface MPU6050 Accelerometer and Gyroscope Sensor*. From https://lastminuteengineers.com/mpu6050–accel–gyro–arduino–tutorial

Łuczak, S. (2014). Guidelines for tilt measurements realized by MEMS accelerometers. *International journal of precision engineering and manufacturing, 15*(3), 489–496.

Mahawan, A., Srijiranon, K., & Teerachtragoon, N. (2022). Walk A Go: Multi–purpose walking stick to assist and track users via LINE application. *Rattanakosin Journal of Science and Technology, 4*(2), 10–18. (in Thai)

Murel, J., & Kavlakoglu, E. (2024). *What is object detection?*. From https://www.ibm.com/think/topics/object–detection

Nanthaseth, J. (2019). Legal Problems of Visually–impaired Persons and Guide Gods in Thailand. *Ubon Ratchathani Rajabhat Law Journal, 7*(1), 1–15. (in Thai)

Nitmai, D., Phosarn, 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)

Okolo, G. I., Althobaiti, T., & Ramzan, N. (2025). Smart Assistive Navigation System for Visually. *Journal of Disability Research, 4*(1), 1–10.

Rasouli Kahaki, Z., Karimi, M., Taherian, M., & Simi, R. (2023). Development and validation of a white cane. *BMC Psychology, 11*(253), 1–11.

Rattanaprathum, S., Kaena, P., & Hunta, S. (2025). Object Detection in Smart Home System for Visually Impaired Person. *The Journal of Spatial Innovation Development, 6*(2), 37–52. (in Thai)

roboflow. (n.d.). *Computer vision tools for developers and enterprises.* From https://roboflow.com/

Saiwa Inc. (2024). *How Will AI Help Disabled People*. From https://saiwa.ai/blog/ai–and–disability/

The Poona School and Home for the Blind. (2024). *Common Problems Faced by Visually Impaired Individuals and How to Address Them*. From https://www.puneblindschool.org/blogs/common–problems–faced–by–visually–impaired–individuals

Toa, M., & Whitehead, A. (2020). *Application Note Ultrasonic Sensing Basics*. From https://url.in.th/PjLAD

Ultralytics. (n.d.). *YOLO11*. From https://github.com/ultralytics/ultralytics

Wang, Q., Shikanai, Y., Mima, K., & Tobita, K. (2024). Semantic Mapping and Voice User Interface Based on ORB–SLAM and YOLO for Navigating Visually Impaired Person. *Journal of Research and Applications in Mechanical Engineering, 12*(1), 1–15.

Wannasawaskul, W. (2025). Smart Cane with Internet of Things and Artificial Intelligence Technology for Obstacle Detection. *Industrial Technology Journal, 10*(1), 213–224. (in Thai)

การพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อตรวจนับจำนวนเมล็ดพืชจากภาพถ่ายโดยอัตโนมัติ

วิทยา บุญสุข[1*]

Applying of Software for Automatic Seed Counting from Photographic Images

Witthaya Boonsuk[1*]

[1] Department of Information Technology, Faculty of Management Sciences and Information Technology, Nakhon Phanom University, Nakhon Phanom, 48000

*Corresponding author: witthaya5773@gmail.com

Received: 8 July 2025; Revised: 16 November 2025; Accepted: 25 November 2025

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ในการวิจัยนี้ เพื่อพัฒนาซอฟต์แวร์ในการตรวจนับจำนวนเมล็ดพืชจากภาพถ่ายโดยอัตโนมัติ ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบที่ได้จากการประมวลผลภาพด้วยซอฟต์แวร์ที่พัฒนาใหม่จากกลุ่มภาพตัวอย่าง 5 กลุ่ม กลุ่มละ 100 เมล็ด รวม 500 เมล็ด ในระดับมาตรฐานของภาพ 640x480 พิกเซล ความแม่นยำของกลุ่มที่ 1 มีค่าเฉลี่ย 85 % ความแม่นยำของกลุ่มที่ 2 มีค่า เฉลี่ย 95 % ความแม่นยำของกลุ่มที่ 3 มีค่าเฉลี่ย 95 % ความแม่นยำของกลุ่มที่ 4 มีค่าเฉลี่ย 95 % ความแม่นยำของกลุ่มที่ 5 มีค่าเฉลี่ย 95 % และความแม่นยำของค่าเฉลี่ยรวม 93 % วิธีการใช้ระบบต้องเพิ่มอุปกรณ์กล้องถ่ายภาพเชื่อมกับคอมพิวเตอร์แล้วทำการจับภาพโดยตรงจากกล้อง หรือนำภาพจากกล้องที่ถ่ายภาพทั่วไป สามารถนำมาประมวลผลกับซอฟต์แวร์ได้

ภาพรวมระบบที่พัฒนาถือว่ามีประสิทธิภาพ อยู่ในระดับดีมากแสดงว่าคุณภาพในการตรวจนับจำนวนเมล็ดพืชจากภาพถ่าย ของซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นอยู่ ในระดับที่ค่อนข้างมีความเที่ยงตรงสูง และมีความเหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานในการในการตรวจนับจำนวนเมล็ดพืชจากภาพถ่ายต่อไป

คำสำคัญ: เมล็ดพืช, การกรอง, ภาพขาวดำ, ภาพ

Abstract

The objective of this research is to develop software for automatically counting seeds from photographic images. The system's performance was evaluated using image processing with the newly developed software on five sample image groups, each containing 100 seeds, totaling 500 seeds. The images used were in a standard resolution of 640x480 pixels. The accuracy of the system for each group was as follows: Group 1: 85% accuracy (average) Group 2: 95% accuracy (average) Group 3: 95% accuracy (average) Group 4: 95% accuracy (average) Group 5: 95% accuracy (average) Overall average accuracy: 93% To use the system, a camera must be connected to a computer to capture images directly, or pre-captured images from a standard camera can also be processed by the software.

[1] สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาการจัดการและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยนครพนม จังหวัดนครพนม 48000

Overall, the developed system is considered highly efficient. The accuracy of the software in counting seeds from images is relatively high, making it suitable for practical applications in automatic seed counting from photographic images.

Keywords: Seed, Contours, Grayscale, Image

Introduction

ในปัจจุบันมีการนำระบบสารสนเทศเข้ามาประยุกต์ใช้ในการทำงานมากขึ้น และมีบทบาทต่อการทำงานค่อนข้างจะสูงขึ้น ซึ่งมีส่วนจำเป็นอย่างมากในการดำเนินชีวิตในปัจจุบัน ตลอดจนการประยุกต์ในงานด้านอุตสาหกรรม เช่น การเกษตร อาหาร และการผลิต การตรวจนับจำนวนวัตถุขนาดเล็ก เช่น เมล็ดถั่ว เมล็ดข้าวสาร หรือไข่ไก่ (Smith, et al., 2020) เป็นกระบวนการที่สำคัญและมีบทบาทสำคัญต่อการวางแผนและการบริหารจัดการ ทั้งในด้านคุณภาพ ปริมาณ และความสม่ำเสมอ อย่างไรก็ตาม การนับจำนวนวัตถุเหล่านี้ยังคงใช้วิธีการแบบดั้งเดิมที่ต้องพึ่งพามนุษย์ ซึ่งกระบวนการนี้มักมีข้อจำกัดในแง่ของเวลา ความแม่นยำ และความคุ้มค่า ในยุคของการพัฒนาด้านเทคโนโลยี โดยเฉพาะในด้านการประมวลผลภาพและปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) การนำซอฟต์แวร์และอัลกอริทึมมาช่วยในการนับจำนวนวัตถุจากภาพถ่ายได้รับความสนใจมากขึ้น การพัฒนาซอฟต์แวร์ดังกล่าวสามารถช่วยลดต้นทุน เพิ่มความเร็ว และเพิ่มความแม่นยำในการตรวจนับจำนวนวัตถุอย่างมีประสิทธิภาพ (Zhang, et al., & He, D, 2020)

ในอุตสาหกรรมเกษตร การนับจำนวนวัตถุ เช่น เมล็ดพืชหรือผลผลิต เป็นกระบวนการที่สำคัญสำหรับการวิเคราะห์ผลผลิต การประเมินคุณภาพ และการวางแผนการเพาะปลูก ตัวอย่างเช่น การนับเมล็ดข้าวสารในปริมาณที่กำหนดเพื่อวิเคราะห์อัตราการงอก (Wang, et al., 2021) หรือการนับจำนวนไข่ไก่ในฟาร์มเพื่อประเมินกำลังการผลิตของสัตว์เลี้ยง ข้อจำกัดของวิธีการตรวจนับวัตถุแบบดั้งเดิมที่ใช้ในปัจุบัน เช่น การนับด้วยตาเปล่าหรือการใช้เครื่องมือกลไกแบบง่าย ๆ มีข้อจำกัดที่สำคัญ: 1) ไม่สามารถรองรับปริมาณงานที่มากได้ในเวลาอันสั้น 2) ขาดความยืดหยุ่นในการปรับใช้กับวัตถุชนิดใหม่ 3) ไม่สามารถเก็บข้อมูลหรือผลลัพธ์เพื่อนำไปวิเคราะห์เพิ่มเติมได้

การวิจัยและพัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับการนับจำนวนวัตถุจากภาพถ่าย เช่น เมล็ดถั่ว เมล็ดข้าวสาร หรือไข่ไก่ เป็นเรื่องที่มีความสำคัญและตอบโจทย์ความต้องการในยุคปัจจุบัน ไม่ว่าจะเป็นในแง่ของการลดต้นทุน เพิ่มความเร็ว หรือเพิ่มความแม่นยำของกระบวนการ นอกจากนี้ยังช่วยสร้างโอกาสใหม่ ๆ ในการวิเคราะห์ข้อมูลและการปรับปรุงกระบวนการในภาคอุตสาหกรรมต่าง ๆ ซึ่งเป็นก้าวสำคัญต่อการพัฒนานวัตกรรมในอนาคต

Objective

1. เพื่อพัฒนาซอฟต์แวร์ตรวจนับจำนวนเมล็ดพืชจากภาพถ่ายโดยอัตโนมัติ

Literature Review

การประมวลผลภาพ (Image Processing) และการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) เป็นสาขาที่มีความเกี่ยวข้องกันอย่างลึกซึ้ง โดยมีเป้าหมายหลักคือการให้คอมพิวเตอร์สามารถ “เข้าใจ” และ “วิเคราะห์” ข้อมูลภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ การประมวลผลภาพมุ่งเน้นไปที่การปรับปรุงคุณภาพของภาพ การกรองสัญญาณรบกวน (Noise Reduction) การเพิ่มความคมชัด (Image Enhancement) การแบ่งส่วนภาพ (Segmentation) และการสกัดคุณลักษณะ (Feature Extraction) ซึ่งเป็นขั้นตอนสำคัญก่อนนำข้อมูลไปวิเคราะห์ในระบบการเรียนรู้ของเครื่อง

ทฤษฎีพื้นฐานของการประมวลผลภาพมีรากฐานมาจาก ทฤษฎีสัญญาณดิจิทัล (Digital Signal Theory) และการวิเคราะห์เชิงคณิตศาสตร์ เช่น การแปลงฟูเรียร์ (Fourier Transform) สำหรับการแยกความถี่ของภาพ และการแปลงเวฟเล็ต (Wavelet Transform) สำหรับการวิเคราะห์รายละเอียดของภาพในหลายระดับ การใช้เทคนิคเหล่านี้ช่วยให้สามารถดึงคุณสมบัติสำคัญของภาพออกมาเพื่อให้ Machine Learning นำไปใช้ในการจำแนกประเภทหรือระบุวัตถุได้อย่างแม่นยำ (Gonzalez, R.,et al, 2018).

ในส่วนของ Machine Learning มีการนำอัลกอริทึมต่าง ๆ มาใช้ในการประมวลผลภาพ เช่น Support Vector Machine (SVM), K-Nearest Neighbors (KNN) และโดยเฉพาะอย่างยิ่ง Deep Learning ซึ่งเป็นการขยายแนวคิดของ Artificial Neural Networks (ANNs) ให้ลึกขึ้น (LeCun, Y.,et.,al,2015). (Goodfellow,I., et,al,2016). โดยเฉพาะสถาปัตยกรรม Convolutional Neural Networks (CNNs) ที่ออกแบบมาเฉพาะสำหรับการประมวลผลข้อมูลภาพ CNNs สามารถเรียนรู้รูปแบบเชิงพื้นที่ (Spatial Patterns) และคุณลักษณะของภาพในหลายระดับชั้นได้อย่างอัตโนมัติ ซึ่งทำให้เกิดความก้าวหน้าอย่างมากในด้านการรู้จำใบหน้า (Face Recognition), การตรวจจับวัตถุ (Object Detection), และการจำแนกภาพ (Image Classification)

การผสานกันของ Image Processing และ Machine Learning จึงเป็นหัวใจสำคัญของระบบอัจฉริยะสมัยใหม่ เช่น ระบบกล้องวงจรปิดอัจฉริยะ, การแพทย์แม่นยำ (Precision Medicine) ผ่านการวิเคราะห์ภาพถ่ายทางการแพทย์ และระบบขับเคลื่อนอัตโนมัติ (Autonomous Vehicles) ซึ่งทั้งหมดอาศัยการประมวลผลภาพและการเรียนรู้เชิงลึกในการตัดสินใจอย่างแม่นยำและรวดเร็ว

งานวิจัยที่ใช้วิธี deep learning (segmentation models หรือ object detection เช่น YOLOv8) เพื่อแก้ปัญหาเมล็ดทับซ้อน, พื้นหลังไม่สม่ำเสมอ และตัวอย่างในภาคสนาม ซึ่งให้ความแม่นยำสูงขึ้นเมื่อเทียบกับเทคนิค threshold-based เดิม โดยเฉพาะบนภาพที่ซับซ้อนหรือความแปรผันสูงของเมล็ด/สภาพแสง(Santiago,H., et,al, 2025)

Methodology

การศึกษาปัญหา

เนื่องจากปัจจุบันโลกมีแนวโน้มที่จะนำระบบอัตโนมัติเข้ามาใช้งานและประยุกต์ใช้งานมากขึ้น แต่ยังขาดแคลนระบบประมวลผลอัตโนมัติ และระบบอัจฉริยะที่มีประสิทธิภาพและยังขาดความหลากหลายในการใช้งาน หรือประสิทธิภาพยังคงไม่เที่ยงตรงมากนักสำหรับงานเชิงระบบ ที่มีความซับซ้อนมาก ๆ ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวยังต้องมีการพัฒนาอัลกอลิที่มของระบบคัดแยกวัตถุให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ในโลกแห่งการพัฒนา และจำเป็นต้องมีการพัฒนาและประยุกต์ใช้ระบบอัจฉริยะหรือระบบผู้เชี่ยวชาญในภาคเกษตรมากขึ้น เพื่อมาวิเคราะห์และปฏิบัติหน้าที่แทนมนุษย์ ซึ่งบุคคลที่ชำนาญเหล่านั้น มนุษย์อาจมีข้อจำกัดและต้องอาศัยความเชี่ยวชาญ ในการวิเคราะห์อย่างมาก จำเป็นต้องมีการประยุกต์ ใช้ระบบคัดแยกดังกล่าวในภาคเกษตร เพื่อความเป็นต่อและก้าวหน้าของเทคโนโลยีทางด้านการคัดแยกทางการเกษตร เข้ามาประยุกต์ใช้ในองค์กรต่าง ๆ ซึ่งทำให้ลดต้นทุนในการจัดหาบุคลากร ที่มีความชำนาญการดังกล่าวเข้ามาทำงานช่วยให้ลดคนลดเวลาการคำนวณ และเกิดประสิทธิ ภาพในการเพิ่มผลผลิตให้กับเกษตรกรมากขึ้น

เครื่องมือและเทคโนโลยีที่ใช้

ฮาร์ดแวร์:

คอมพิวเตอร์ที่มี GPU, กล้องดิจิทัล ซอฟต์แวร์และไลบรารี: Visual C#, OpenCV, TensorFlow, NumPy

ขั้นตอนการพัฒนา

1) เก็บรวบรวมข้อมูล

– ถ่ายภาพเมล็ดถั่วในสภาวะแวดล้อมที่ต่างกัน

2) การประมวลผลภาพ

– ใช้เทคนิคการแปลงภาพเป็นขาวดำ การลดสัญญาณรบกวน และการแยกพื้นหลังออกจากเมล็ดถั่ว

3) การใช้การกรองและนับใช้ค่า CvInvoke.ContourArea เพื่อกรองเฉพาะรูปร่างที่มีพื้นที่มากพอ (ลดการตรวจจับจุดเล็ก ๆ ที่ไม่ใช่เมล็ดพืช)

4) การทดสอบและประเมินผล

– เปรียบเทียบผลการนับกับการนับโดยมนุษย์

การออกแบบและพัฒนาระบบ

1. Context Diagram ของระบบแสดงใน Figure 1

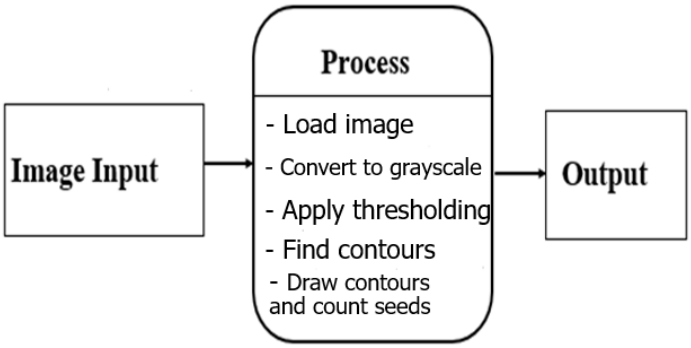


Figure 1 Overview of the context diagram of the system

จาก Figure 1 แสดงการทำงานของระบบ โดยระบบจะทำการรับข้อมูลภาพจากไฟล์ แล้วทำการส่งเข้าสู่ระบบเพื่อทำการประมวลผลตรวจนับวัตถุหรือเมล็ดพืช ตามขั้นตอนที่มีการประมวลของระบบ และส่งออกรายงานผลลัพธ์

2. โครงสร้างของระบบแสดงใน Figure 2

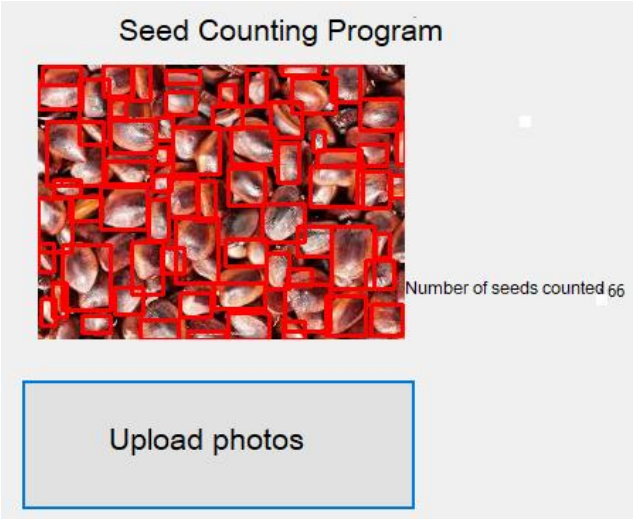


Figure 2 System structure

จาก Figure 2 โครงสร้างระบบจะประกอบไปด้วย 2 ส่วนคือ

1. Hardware ประกอบไปด้วย คอมพิวเตอร์และกล้องถ่ายภาพนิ่งความละเอียดสูง
2. Software คือระบบที่ผู้วิจัยได้ออกแบบและพัฒนา

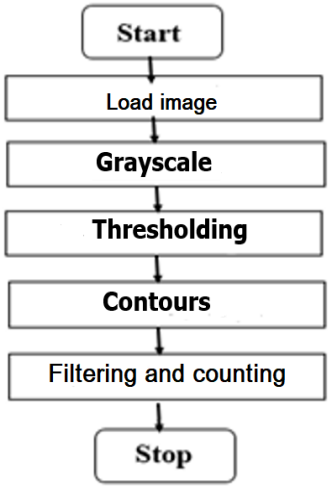


Figure 3 System processing

จาก Figure 3 ขั้นตอนของระบบมีรายละเอียดการทำงานดังนี้

1. (Image Input) การนำเข้าข้อมูลภาพซึ่งทำการเปิดจากแฟ้มภาพ
2. (Grayscale) ลดความซับซ้อนของภาพโดยแปลงเป็นภาพขาวดำ
3. (Thresholding) แปลงภาพเป็นแบบไบนารี (สีดำและสีขาว) โดยกำหนดค่า threshold.
4. การค้นหา(Contours) ใช้ CvInvoke.FindContours เพื่อตรวจจับรูปร่างในภาพ
5. การกรองและนับ ใช้ค่า CvInvoke.ContourArea เพื่อกรองเฉพาะรูปร่างที่มีพื้นที่มากพอ (ลดการตรวจจับจุดเล็ก ๆ ที่ไม่ใช่เมล็ดพืช) (Wang, et al., 2021), (Bradski, 2000)

3. รหัสเทียมหรือ (Coding) (Bradski, 2000), (Smith, et al., 2019)

```
private void CountSeeds(string imagePath)
    {
        // Load image
        Image<Bgr, byte> image = new Image<Bgr, byte>(imagePath);
        // Convert to grayscale
        Image<Gray, byte> grayImage = image.Convert<Gray, byte>();
        // Apply thresholding
        Image<Gray, byte> binaryImage = grayImage.ThresholdBinary(new Gray(120), new Gray(255));
        // Find contours
        using (VectorOfVectorOfPoint contours = new VectorOfVectorOfPoint())
        {
```

```
            CvInvoke.FindContours(binaryImage, contours, null, RetrType.External,
ChainApproxMethod.ChainApproxSimple); (Wang, et al., 2021)
                // Draw contours and count seeds
                int seedCount = 0;
                foreach (var contour in contours.ToArrayOfArray())
                {
                    double area = CvInvoke.ContourArea(new VectorOfPoint(contour));
                    if (area > 50) // Adjust threshold based on seed size
                    {
                        seedCount++;
                        var boundingRect = CvInvoke.BoundingRectangle(new VectorOfPoint(contour));
                        image.Draw(boundingRect, new Bgr(Color.Red), 2);
                    }
                }
                // Display result
                pictureBox.Image = image.ToBitmap();
                lblResult.Text = $"จำนวนเมล็ดถั่วที่ตรวจพบ: {seedCount}";
            }
```

4. การทดสอบระบบ

การวัดประสิทธิภาพของการค้นคืน (Munklang, 2012) สามารถทำได้โดยการใช้วิธี วัดค่าความแม่นยำ (Precision) ซึ่งเป็นการวัดความแม่นยำในการค้นหา(Contours) โดยใช้ CvInvoke.FindContours เพื่อตรวจจับรูปร่างในภาพในระบบโดยพิจารณาจาก จำนวนภาพที่ตรวจจับได้ เปรียบเทียบจากเมล็ดพืชที่มีอยู่จริง ที่ใช้เป็นข้อมูลทดสอบการนับได้ทั้งหมด(Unterkalmsteiner et al,. 2023) แล้วนำมาคำนวณ แสดงดังสมการ

$$\text{Precision} = \left| \frac{x_i - x_m}{x_m} \right|$$

$$x_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} x_i$$

โดยที่ X_m คือ ค่าเฉลี่ยของการวัด

X_i คือ ค่าการวัดแต่ละครั้ง

Results

1. ผลการทดสอบเปรียบเทียบ หน้าจอการทำงาน (User Interface) แสดงใน Figure 4

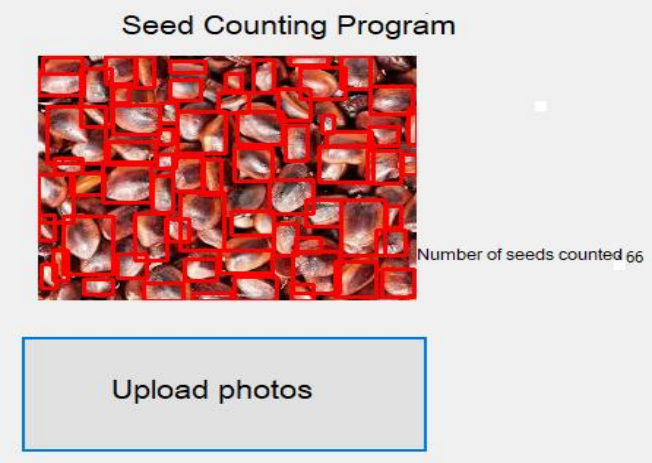


Figure 4 Prototype Screen

2. ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบ

การประเมินหาประสิทธิภาพ ของระบบในการตรวจสอบค้นหา(Contours) ใช้ CvInvoke.FindContours เพื่อตรวจจับรูปร่างในภาพ กรณีทดสอบจากกลุ่มตัวอย่างรูปภาพเมล็ดพืชต่าง ๆ แสดงค่าเฉลี่ยในเชิงปริมาณ และค่าเฉลี่ยในเชิงคุณภาพจากฐานข้อมูลรูปภาพเมล็ดพืชที่นำมาทดสอบ แบ่งเป็น 5 กลุ่ม กลุ่มละ 5 ภาพ ภาพละ 20 เมล็ด รวมตัวอย่างกลุ่มละ 100 เมล็ด จากตัวอย่าง 5 กลุ่ม รวมทั้งหมด 500 เมล็ด (Thaweepol, 2012)

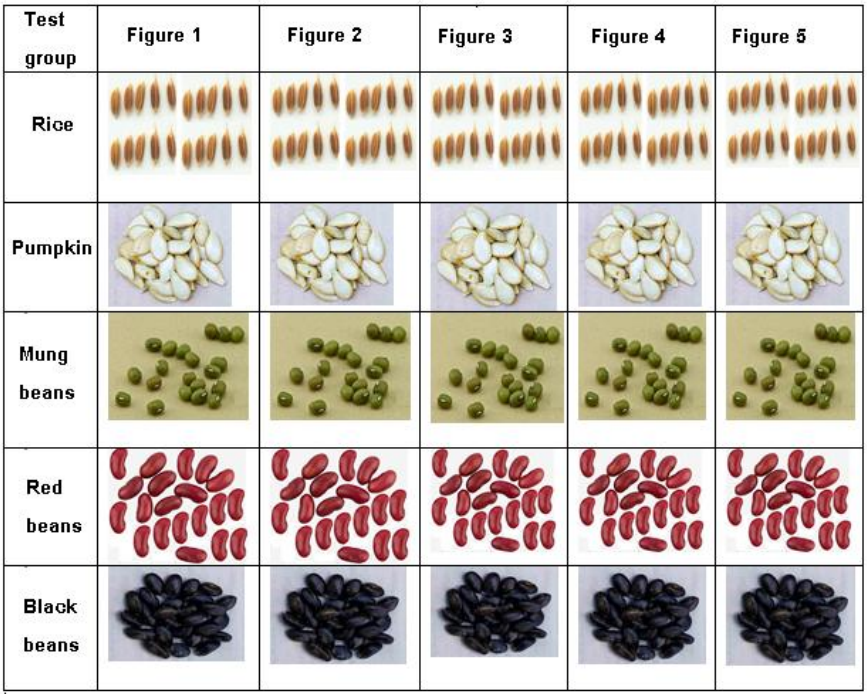


Figure 5 Group of test images

ที่มา: https://morkeaw.net/organic-agriculture

หลังจากที่ได้นำซอฟต์แวร์ ไปทดสอบตามวิธีการแบบ(Black Box) เรียบร้อยแล้วต่อไปจะเป็นการนำซอฟต์แวร์นี้ไปประเมิน เพื่อหาประสิทธิภาพของระบบซอฟต์แวร์ และเป็นการทดสอบ เพื่อยอมรับระบบโดยผู้ใช้ (Acceptance Test by User)

ซึ่งกระบวนการประเมินระบบนี้ เป็นการประเมินเพื่อหาประสิทธิภาพของผลงานทางระบบสารสนเทศ และซอฟต์แวร์ซึ่งจะแบ่งการประเมินระบบออกเป็น 4 ส่วนด้วยกันคือ

1) Function Requirement Test

2) Function Test

3) Usability Test

4) Security Test

แต่ในกรณีนี้ ต้องการทดสอบระบบหาประสิทธิภาพของระบบหรือซอฟต์แวร์อย่างเดียว จึงเลือกใช้การวัดประสิทธิภาพของโปรแกรม โดยใช้เกณฑ์ทดสอบทางประสิทธิภาพของการทำงานของซอฟต์แวร์คือ แบบทดสอบทาง (Function Test) ในการทดสอบ สำหรับการเตรียมข้อมูลที่ใช้โดยเป็นภาพดิจิตอลเมล็ดพืชทั่วไป ซึ่งในการทดลองนี้ได้ทดสอบข้อมูลภาพถ่ายเมล็ดพืช ซึ่งเป็นภาพที่มีนามสกุล *.jpg ทั้งหมดจากฐานข้อมูลรูปภาพที่นำมาทดสอบ แบ่งเป็น 5 กลุ่ม กลุ่มละ 5 ภาพ ภาพละ 20 เมล็ด รวมตัวอย่างกลุ่มละ 100 เมล็ด จากตัวอย่าง 5 กลุ่ม รวมทั้งหมด 500 เมล็ด

Table 1 Table comparing the efficiency of finding accuracy from 500 photos of the ripeness level of mangoes in all 5 groups

Types of seeds	Number of seeds (Actual count)	Number of seeds (counted by system)	Error (%)	Accuracy (%)
Rice	100	85	15 %	85 %
Pumpkin	100	95	5 %	95 %
Mung beans	100	95	5 %	95 %
Red beans	100	95	5 %	95 %
Black beans	100	95	5 %	95 %
Sun	500	465	7 %	93 %

จากตารางที่ 2 การทดสอบประสิทธิภาพ โดยการวัดค่าความแม่นยำ (Precision) ซึ่งเป็นการวัดความแม่นยำในการตรวจนับจำนวนเมล็ดพืชจากภาพถ่ายจากซอฟต์แวร์ต้นแบบที่พัฒนา และนำมาทดสอบกับภาพตัวอย่าง กับจำนวนภาพที่นำมาทดสอบทั้งหมด โดยทดลองใช้ตัวอย่างทดสอบ 5 กลุ่มกลุ่มละ 100 เมล็ด เพื่อหาประสิทธิภาพการตรวจสอบความถูกต้อง จากการตรวจนับจำนวนเมล็ดพืชจากภาพถ่าย ทั้ง 5 กลุ่ม โดยผลการวัดค่าความแม่นยำในการทดสอบมีดังนี้ ความแม่นยำของกลุ่มที่ 1 มีค่าเฉลี่ย 85% ความแม่นยำของกลุ่มที่ 2 มีค่าเฉลี่ย 95 % ความแม่นยำของกลุ่มที่ 3 มีค่าเฉลี่ย 95 % ความแม่นยำของกลุ่มที่ 4 มีค่าเฉลี่ย 95 % ความแม่นยำของกลุ่มที่ 5 มีค่าเฉลี่ย 95 % ค่าเฉลี่ยโดยรวม 93 % ซึ่งถือว่ามีประสิทธิภาพอยู่ในระดับดีมาก

ข้อเสนอแนะของระบบ เพื่อความเที่ยงตรงของขั้นตอนวิธีการในการทำงานของโปรแกรมตรวจนับจำนวนเมล็ดพืชจากภาพถ่ายที่ใช้ทดลองว่ามีความเหมาะสมหรือไม่เช่นความสว่าง หรือความเรียบร้อยของภาพ และพื้นหลังของภาพ

ควรเป็นสีที่เข้ม ตลอดจนความละเอียดของภาพข้อจำกัดอีกอย่างคือ ใช้ได้เฉพาะในเครื่องส่วนบุคคลทั่วไปเท่านั้น และต้องมีอุปกรณ์กล้องที่มีความละเอียดที่ได้มาตรฐานเพื่อความเที่ยงตรงในการใช้งาน ในกรณีรับข้อมูลผ่านกล้อง

Conclusion and Discussion

จากผลการวัดค่าความแม่นยำในการทดสอบระบบ เพื่อตรวจสอบความแม่นยำในการตรวจนับจำนวนเมล็ดพืชจากภาพถ่าย ที่ได้จากการประมวลผลของระบบที่พัฒนาขึ้นใหม่ จากกลุ่มภาพตัวอย่าง 5 กลุ่ม กลุ่มละ 100 เมล็ดในระดับความละเอียดของภาพ 640x480 Pixel โดยความแม่นยำ มีค่าเฉลี่ยรวม 93 % ซึ่งถือว่ามีประสิทธิภาพอยู่ในระดับดีมาก แสดงว่าประสิทธิภาพในการตรวจนับจากกลุ่มภาพทดสอบทั้ง 5 กลุ่ม อยู่ในระดับที่ค่อนข้างเที่ยงตรง และมีความเหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ ใช้งานในการประมวลผลในการตรวจนับจำนวนเมล็ดพืชจากภาพถ่าย โดยการใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ โดยการวิเคราะห์หาขอบของภาพควรพัฒนาหาเทคนิคใหม่ ๆ เพิ่มขึ้นเพื่อความเที่ยงตรงในการใช้งาน และให้มีความสะดวกในการใช้งานในคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ซึ่งควรนำระบบที่พัฒนาไปทดสอบเปรียบเทียบกับระบบอื่น ๆ หรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อหาความเที่ยงตรงของระบบที่พัฒนา ทำให้สามารถนำขั้นตอนวิธีการที่พัฒนาขึ้นใหม่ ไปประยุกต์ใช้งานให้เกิดประสิทธิภาพต่อไป

แต่วิธีที่ใช้เป็นวิธีพื้นฐานที่ซอฟต์แวร์ทั่วไปใช้ คือ Thresholding และ Contours (ImageJ, SeedCounter แบบคลาสสิก) ซึ่งเหมาะเมื่อพื้นหลังเรียบ แสงสม่ำเสมอ เมล็ดไม่ทับซ้อนกันมาก สามารถตั้งค่าได้เร็วและประมวลผลได้เร็ว (low compute). ข้อจำกัดชัดเจนคือความไวต่อแสงเงา พื้นผิวสีใกล้เคียง และการซ้อนกันของวัตถุ ทำให้เกิด under–/over–segmentation ได้ง่ายควรปรับไปใช้ แนวทางเชิงลึกจากงานวิจัย Deep Learning (detection/segmentation models เช่น YOLO, U–Net, custom CNNs เช่น SeedSeg) งานวิจัยใหม่ ๆ พัฒนาโมเดลที่เรียนรู้ “รูปร่าง–ลักษณะ” ของเมล็ดและแยกวัตถุแม้จะทับซ้อนหรือบนพื้นหลังซับซ้อน โมเดลพวกนี้มักให้ความแม่นยำสูงกว่าโดยเฉพาะกับภาพสนามจริง แต่อาศัยข้อมูลฝึก (labeled data) จำนวนมากและการตั้งค่าพารามิเตอร์/การเทรนที่ซับซ้อน นอกจากนี้ต้องการฮาร์ดแวร์ (GPU) สำหรับฝึกสอนหรือเร่งการประมวลผล ตัวอย่างงานที่พัฒนา SeedSeg หรือ YOLOv8–HD แสดงให้เห็นความแม่นยำและความเร็วที่ดีสำหรับการนับเมล็ดโดยอาศัยสถาปัตยกรรมสมัยใหม่

Acknowledgements

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจากคณบดี ทีมผู้บริหารคณะทุกท่านที่กรุณาให้การสนับสนุนทุนทำวิจัย คำแนะนำให้คำปรึกษา ตลอดจนสถานที่ทำวิจัย ห้องปฏิบัติการของคณะ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง ผู้วิจัยตระหนักถึง ความตั้งใจจริงและความทุ่มเทของผู้บริหารและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

References

Bishop, C. M. (2006). *Pattern Recognition and Machine Learning.* Springer.

Bradski, G. (2000). *The OpenCV library. Dr. Dobb's Journal: Software Tools for the Professional Programmer, 25*(11), 120–125.

Gonzalez, R. C., & Woods, R. E. (2018). *Digital Image Processing* (4th ed.). Pearson Education.

Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep Learning.* MIT Press.

LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436–444.

Munklang . Y (2012). *Image Retrieval using Feature Vec tors of Color Cluster*. King Mongkuts UniverSity of Technology Thonburi.Bangkok (Thailand). Graduate School. (in Thai)

Pathare, P.B., U.L. Oparaand and F.A. Al–Said. (2013). Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: A review. *Food and Bioprocess Technology, 6,* 36–60.

Santiago Hernández, Vivian Zhong & Jennifer A. N. Brophy. (2025). SeedSeg: image–based transgenic seed counting for segregation analysis of T–DNA loci. *journal of Crop Science and Biotechnology*.

Smith, J., et al. (2019). *Comparison of Edge Detection Techniques for Medical Imaging. Journal of Image Processing, 35(2),* 101–115.

Smith, J., et al. (2020). Automatic Seed Counting Using Deep Learning. *Journal of Agricultural Engineering ,45*(3), 120–130.

Thaweepol.N. (2012). *Accuracy and Precission*. Form http://www.foodnetwork solution.com /wiki/ word/4290/precision. (in Thai)

Trinderup, C.H. and Y.H.B. Kim. (2015). Fresh meat color evaluation using a structured light imaging system. *Food Research International, 71,* 100– 107.

Unterkalmsteiner, M., Gorschek, T., Islam, A. K. M. M., Cheng, C. K., Permadi, R. B., & Feldt, R. (2023). *Evaluation and measurement of software process improvement A systematic literature review*. arXiv.

Wang, L., et al. (2021). *Canny vs Laplacian: An Evaluation for Satellite Image Processing. In Proceedings of the International Conference on Computer Vision in Agriculture* (pp. 78–85).

Wang, L., et al. (2021). *Image Processing Techniques for Seed Counting. In Proceedings of the International Conference on Image Analysis* (pp. 87–95).

Zhang, Y., Wu, L., & He, D. (2020). Application of deep learning in agriculture: A review. *Computers and Electronics in Agriculture, 173*, Article 105387.

การพัฒนาระบบการจัดเตรียมอุปกรณ์และวัสดุวิทยาศาสตร์ผ่านระบบออนไลน์ สำหรับการเรียนการสอนปฏิบัติการ สาขาจุลชีววิทยาและปรสิตวิทยา คณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ มหาวิทยาลัยพะเยา

วาสนา เมืองวงค์[1*]

Development of Online System for Preparation of Instrument and Equipment for Laboratory Teaching at Division of Microbiology and Parasitology, School of Medical Sciences, University of Phayao

Wasana Muangwong[1*]

[1] Division of Microbiology and Parasitology, School of Medical Science, University of Phayao, Phayao, 56000

[*] Corresponding author: wasana.mu@up.ac.th

Received: 13 August 2025; Revised: 2 December 2025; Accepted: 13 December 2025

บทคัดย่อ

การจัดเตรียมอุปกรณ์และวัสดุวิทยาศาสตร์สำหรับการเรียนการสอนภาคปฏิบัติการด้านจุลชีววิทยาและปรสิตวิทยา เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของกระบวนการเรียนการสอน ระบบจัดเตรียมแบบเดิมมักประสบปัญหาด้านการประสานงาน ความถูกต้องของข้อมูล และระยะเวลาการดำเนินงาน ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพของการจัดการเรียนการสอนโดยรวม งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบการบันทึกข้อมูลการจัดเตรียมอุปกรณ์และวัสดุวิทยาศาสตร์สำหรับการเรียนการสอนปฏิบัติการ และศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อระบบ โดยประยุกต์ใช้เครื่องมือในชุด Google Applications ได้แก่ Gmail, Google Docs, Google Drive, Google Forms, Google Sheets และ Google Slides เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการข้อมูล และอำนวยความสะดวกในการเข้าถึงระบบ การประเมินประสิทธิภาพของระบบดำเนินการโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 15 คน ครอบคลุม 5 ด้าน ได้แก่ การออกแบบ ประสิทธิภาพ การใช้งาน ความปลอดภัย และด้านทรัพยากร พบว่า ระบบมีประสิทธิภาพในระดับดีมากทั้ง 4 ด้าน และด้านทรัพยากรอยู่ในระดับดีมากที่สุด นอกจากนี้ได้ประเมินความพึงพอใจของกลุ่มผู้ใช้งาน 13 คน ซึ่งเป็นอาจารย์และนักวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง ครอบคลุมทั้งหมด 6 ด้าน ได้แก่ การออกแบบ ประสิทธิภาพของระบบ การใช้งาน เนื้อหา และการรักษาความปลอดภัย และด้านทรัพยากร พบว่าผู้ใช้งานมีความพึงพอใจในระดับมากในด้านการออกแบบและความปลอดภัยของระบบ และมีความพึงพอใจในระดับมากที่สุดในด้านประสิทธิภาพของระบบ การใช้งาน เนื้อหา และทรัพยากร จากผลการศึกษางานวิจัยนี้ สามารถสรุปได้ว่าระบบที่ได้รับการพัฒนาขึ้นสามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งาน และมีส่วนช่วยในการยกระดับคุณภาพการจัดการอุปกรณ์วิทยาศาสตร์สำหรับการเรียนการสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: ระบบออนไลน์, กูเกิลแอพลิเคชั่น, การเรียนการสอน, การจัดเตรียมอุปกรณ์และวัสดุวิทยาศาสตร์

---

[1] สาขาวิชาจุลชีววิทยาและปรสิตวิทยา คณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

Abstract

The preparation of scientific equipment and materials for practical instruction in microbiology and parasitology is a critical factor influencing the effectiveness of the teaching and learning process. Traditional preparation systems often encounter issues related to coordination, data accuracy, and operational timelines, which may negatively impact the overall quality of instruction. This research aims to develop a data recording system for the preparation of scientific equipment and materials used in laboratory teaching, and to assess user satisfaction with the system. The system integrates tools from the Google Applications suite– namely Gmail, Google Docs, Google Drive, Google Forms, Google Sheets, and Google Slides–to enhance data management efficiency and facilitate system accessibility. System performance was evaluated by 15 experts across five dimensions: design, efficiency, usability, security, and resource utilization. The results indicated that the system achieved a 'very good' rating in four dimensions, with resource utilization rated as 'excellent'. Additionally, satisfaction was assessed among 13 users, including instructors and scientific staff, across six dimensions: design, system efficiency, usability, content, security, and resources. Users reported high satisfaction in system design and security, and the highest level of satisfaction in system efficiency, usability, content, and resource utilization. Based on the findings, the developed system effectively meets user needs and contributes to improving the quality of scientific equipment management for laboratory instruction.

Keywords: Online System, Google Applications, Teaching and Learning process, Preparation of Scientific Equipment and Materials

Introduction

การจัดเตรียมวัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือวิทยาศาสตร์สำหรับการเรียนการสอนภาคปฏิบัติการด้านจุลชีววิทยาและปรสิตวิทยา เป็นกระบวนการสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพของการเรียนรู้และการให้บริการทางวิชาการ ห้องปฏิบัติการจุลชีววิทยาและปรสิตวิทยา สาขาวิชาจุลชีววิทยาและปรสิตวิทยา คณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ มหาวิทยาลัยพะเยา เป็นหน่วยงานที่สนับสนุนการเรียนการสอนภาคปฏิบัติ การวิจัย และบริการวิชาการแก่คณาจารย์ บุคลากร และนิสิตจากหลายหลักสูตรและคณะ โดยกระบวนการเรียนการสอนภาคปฏิบัติการครอบคลุมการใช้วัสดุและอุปกรณ์ในหัวข้อที่หลากหลาย เช่น การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ การเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ การศึกษาการเจริญของจุลินทรีย์ การวิเคราะห์คุณสมบัติ และการควบคุมหรือตรวจแยกจุลินทรีย์ในสิ่งแวดล้อม แม้จะมีคู่มือปฏิบัติการเป็นแนวทางในการจัดการ แต่การจัดเตรียมวัสดุและอุปกรณ์ยังคงประสบปัญหา เช่น การสื่อสารที่ไม่ชัดเจนระหว่างผู้ใช้บริการและผู้ให้บริการ ความคลาดเคลื่อนของข้อมูล ความล่าช้าในการตรวจสอบ และการดำเนินงานที่ซ้ำซ้อน ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพโดยรวมของการเรียนการสอนในห้องปฏิบัติการ

ในยุคดิจิทัล เทคโนโลยีสารสนเทศได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานและการสื่อสารภายในองค์กร โดยเฉพาะการประยุกต์ใช้เครื่องมือออนไลน์ในการจัดการข้อมูล ซึ่งช่วยเสริมสร้างความร่วมมือและประสิทธิภาพในการทำงานของทีมงาน (Umoren & Ukpe, 2025) หนึ่งในเครื่องมือที่ได้รับความนิยมและใช้งานอย่างแพร่หลาย คือ Google Applications ซึ่งประกอบด้วย Google Forms, Google Sheets, Google Docs และ Google Drive ที่สามารถทำงาน

ร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ ใช้งานง่าย ไม่เสียค่าใช้จ่าย และไม่จำเป็นต้องมีความรู้ด้านการเขียนโปรแกรม (Google Workspace, 2025)

งานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่า Google Applications มีศักยภาพในการสนับสนุนกระบวนการทำงานทั้งด้านการจัดการเอกสาร การเรียนการสอน และการบริหารงาน ตัวอย่างเช่น Chansamut (2021) พบว่า Google Drive สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดเก็บและบริหารจัดการข้อมูลสำนักงานได้อย่างเป็นระบบ ลดความซ้ำซ้อนของข้อมูล และลดข้อผิดพลาดที่เกิดจากการทำงานแบบ Standalone นอกจากนี้ ระบบยังช่วยให้การเข้าถึงข้อมูล การค้นหา และการรายงานผลเป็นไปอย่างสะดวก รวดเร็ว และถูกต้อง ซึ่งส่งผลให้การทำงานสำนักงานมีความคล่องตัวและลดภาระงานซ้ำซ้อนของบุคลากรได้อย่างชัดเจน (Chansamut, 2021) ในด้านการเรียนการสอน งานวิจัยของ Lau Chia Wei et al. (2023) พบว่า Google Slides เป็นเครื่องมือที่สามารถส่งเสริมการเรียนรู้แบบร่วมมือ เพิ่มการมีส่วนร่วมของผู้เรียน และช่วยให้ครูออกแบบกิจกรรมการเรียนการสอนที่ยืดหยุ่นและทันสมัย โดยเฉพาะในช่วงที่มีการเรียนที่บ้านจากสถานการณ์ COVID-19 ผลการวิจัยยังชี้ให้เห็นว่า การใช้เครื่องมือนี้ช่วยพัฒนาความรู้ ทักษะ และทัศนคติของครูให้เหมาะสมกับการจัดการเรียนรู้ยุคดิจิทัล ทำให้ครูสามารถวางแผนและปรับปรุงการเรียนการสอนให้ตอบสนองต่อความต้องการและความแตกต่างของผู้เรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Lau Chia Wei et al., 2023) ในทำนองเดียวกัน Jeawkok (2022) พบว่าการใช้ Google Classroom ในการจัดการเรียนการสอนออนไลน์ช่วยเพิ่มผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาอย่างมีนัยสำคัญ และนักศึกษามีความพึงพอใจในระดับมาก ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่า Google Classroom เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการสนับสนุนการเรียนรู้และการจัดการเรียนการสอนในยุคดิจิทัล โดยเฉพาะในสถานการณ์การแพร่ระบาดของ COVID-19 (Jeawkok, 2022) นอกจากนี้ Tapiantong (2020) พบว่าการจัดการเรียนรู้ด้วย Google Application for Education ร่วมกับบทเรียนออนไลน์ช่วยเพิ่มผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้านทักษะการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศของนักเรียนอย่างมีนัยสำคัญ นักเรียนสามารถประยุกต์ใช้ความรู้และทักษะที่ได้รับไปกับงานจริง นอกจากนี้ แผนการจัดการเรียนรู้และบทเรียนออนไลน์ยังมีคุณภาพสูง ทั้งด้านเนื้อหาและเทคนิคการนำเสนอ และสามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้เรียนได้อย่างครบถ้วน (Tapiantong et al., 2020) ในทำนองเดียวกันงานวิจัยของ Mediana et al. (2025) พบว่า Google Classroom มีบทบาทสำคัญในการสนับสนุนการเรียนแบบผสมผสาน ช่วยเพิ่มการมีส่วนร่วมของผู้เรียน ความสะดวกในการสื่อสาร และพบว่าผู้เรียนมีความพึงพอใจสูงและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนดีขึ้นเมื่อใช้ Google Classroom (Mediana et al., 2025)

จากผลการศึกษาดังกล่าว สะท้อนให้เห็นว่า Google Applications มีศักยภาพทั้งในด้านการบริหารจัดการ การจัดการเรียนการสอน และการสนับสนุนการเรียนรู้แบบออนไลน์ ทำให้เป็นเครื่องมือที่เหมาะสมสำหรับนำมาประยุกต์ใช้ในการ จัดการข้อมูลและอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการเพื่อการเรียนการสอนภาคปฏิบัติ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม ยังไม่พบการศึกษาเชิงระบบเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ Google Applications ในการจัดการวัสดุและอุปกรณ์ของห้องปฏิบัติการ ซึ่งเป็นกระบวนการสำคัญที่ต้องการความถูกต้อง รวดเร็ว และสามารถตรวจสอบย้อนกลับได้

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งพัฒนาระบบออนไลน์สำหรับการจัดเตรียมวัสดุและอุปกรณ์โดยใช้ Google Applications เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสื่อสาร ลดข้อผิดพลาดในการดำเนินงาน และตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานได้อย่างเหมาะสม

Objectives

1. เพื่อพัฒนาระบบการบันทึกข้อมูลการจัดเตรียมอุปกรณ์และวัสดุสำหรับการเรียนการสอนปฏิบัติการผ่านระบบออนไลน์ คณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ มหาวิทยาลัยพะเยา

2. เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบการบันทึกข้อมูลการจัดเตรียมอุปกรณ์และวัสดุสำหรับการเรียนการสอนปฏิบัติการผ่านระบบออนไลน์ คณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ มหาวิทยาลัยพะเยา

3. เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบการบันทึกข้อมูลการจัดเตรียมอุปกรณ์และวัสดุสำหรับการเรียนการสอนปฏิบัติการผ่านระบบออนไลน์ คณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ มหาวิทยาลัยพะเยา

Methodology

ประชากรเป้าหมาย

– ผู้เชี่ยวชาญทางด้านเทคโนโลยีจำนวน 5 คน อาจารย์จำนวน 5 คน และนักวิทยาศาสตร์จำนวน 5 คน

– อาจารย์และนักวิทยาศาสตร์ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนการสอนภาคปฏิบัติในรายวิชาเทคนิคและการใช้เครื่องมือทางจุลชีววิทยา สาขาวิชาจุลชีววิทยาและปรสิตวิทยา คณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ มหาวิทยาลัยพะเยา รวมทั้งสิ้นจำนวน 13 คน

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลในการศึกษาครั้งนี้ ประกอบด้วย

1. ระบบการจัดเตรียมอุปกรณ์และวัสดุวิทยาศาสตร์ผ่านระบบออนไลน์ สำหรับการเรียนการสอนภาคปฏิบัติในรายวิชาเทคนิคและการใช้เครื่องมือทางจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ มหาวิทยาลัยพะเยา

2. แบบสอบถามประเมินประสิทธิภาพของระบบการจัดเตรียมอุปกรณ์และวัสดุวิทยาศาสตร์ผ่านระบบออนไลน์สำหรับการเรียนการสอนภาคปฏิบัติในรายวิชา ดังกล่าว

3. แบบสอบถามประเมินความพึงพอใจต่อการพัฒนาระบบการจัดเตรียมอุปกรณ์และวัสดุวิทยาศาสตร์ผ่านระบบออนไลน์ สำหรับการเรียนการสอนภาคปฏิบัติการในรายวิชาดังกล่าว

ผู้วิจัยได้ดำเนินการตรวจสอบความเที่ยงตรงของเครื่องมือโดยการหาดัชนีความสอดคล้อง (Item–Objective Congruence Index: IOC) โดยให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 7 ท่าน ทำการประเมินความสอดคล้องของข้อคำถามกับวัตถุประสงค์ของการวิจัย ผลการวิเคราะห์พบว่าค่าความสอดคล้องของแบบสอบถามมีค่าดัชนี IOC อยู่ในช่วง 0 ถึง 1 โดยผู้วิจัยได้คัดเลือกข้อคำถามที่มีค่าดัชนีตั้งแต่ 0.5 ขึ้นไปมาใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของระบบ และในการประเมินความพึงพอใจต่อการพัฒนาระบบการจัดเตรียมอุปกรณ์และวัสดุวิทยาศาสตร์ผ่านระบบออนไลน์

ขั้นตอนการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้ระบบการจัดเตรียมอุปกรณ์และวัสดุวิทยาศาสตร์ผ่านระบบออนไลน์ สำหรับการเรียนการสอนภาคปฏิบัติในสาขาจุลชีววิทยาและปรสิตวิทยา คณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างความเข้าใจที่สอดคล้องกันระหว่างผู้ใช้บริการและผู้ให้บริการ ทั้งนี้ ผู้เข้าร่วมการวิจัยทุกคนได้รับแบบสอบถามประเมินความพึงพอใจต่อระบบดังกล่าว พร้อมคำชี้แจงประกอบการกรอกข้อมูล โดยผลการประเมินที่ได้รับจะถูกนำไปใช้ในการพัฒนา ปรับปรุง และประยุกต์ใช้ระบบให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นต่อไปในอนาคต แสดงดังรูปที่ 1

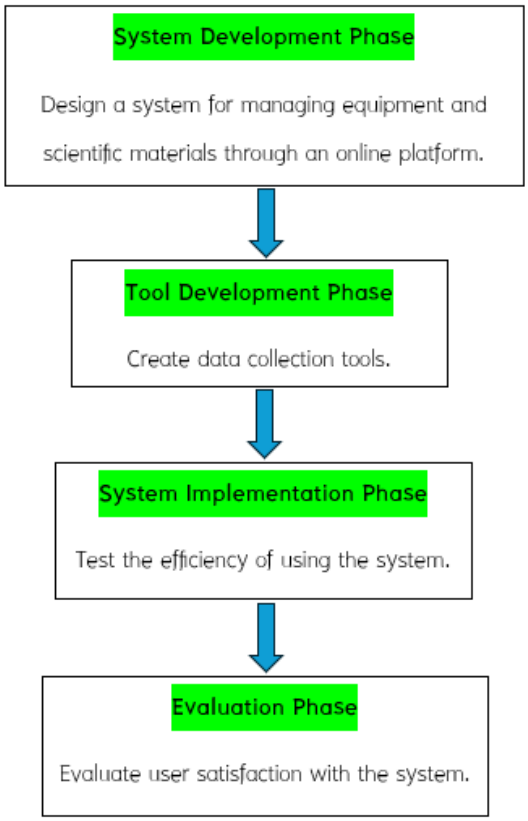


Figure 1 Flowchart of the research procedures.

ขั้นตอนที่ 1 ออกแบบระบบการจัดเตรียมอุปกรณ์และวัสดุวิทยาศาสตร์ผ่านระบบออนไลน์ (แสดงดังรูปที่ 2) โดยประยุกต์ใช้เครื่องมือในชุด Google Workspace เพื่ออำนวยความสะดวกในการขอใช้อุปกรณ์วิทยาศาสตร์สำหรับการเรียนการสอนภาคปฏิบัติ มีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดความถูกต้อง รวดเร็ว และลดข้อผิดพลาดในการจัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์ โครงสร้างระบบประกอบด้วย

1. Google Sites และ Google Drive ใช้สำหรับสร้างหน้าเว็บไซต์กลางในการแสดงรายการวัสดุอุปกรณ์ที่ให้บริการ พร้อมภาพประกอบ และลิงค์เข้าสู่แบบฟอร์มการขอใช้บริการ

2. Google Forms ใช้สำหรับให้ผู้ใช้งานกรอกรายละเอียดข้อมูลที่จำเป็นต่อการจัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์ในการเรียนการสอนปฏิบัติการ อาทิ ชื่อผู้แจ้ง วัน-เวลา จำนวนกลุ่มเรียน รายการวัสดุปกรณ์ ฯลฯ

3. Google Sheets ใช้สำหรับจัดเก็บและประมวลผลข้อมูลที่ได้รับจากแบบฟอร์มโดยอัตโนมัติ

4. Google Apps Script ใช้ในการสร้างระบบการแจ้งเตือนทางอีเมลอัตโนมัติไปยังเจ้าหน้าที่หรือผู้รับผิดชอบแต่ละหน่วย เพื่อให้สามารถดำเนินการจัดเตรียมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ระบบดังกล่าวได้ออกแบบให้สามารถใช้งานได้ผ่านอุปกรณ์หลากหลายประเภท ทั้งคอมพิวเตอร์ แท็บเล็ต และโทรศัพท์มือถือ และมีการทดสอบความถูกต้องของการเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างระบบก่อนนำไปใช้งานจริง

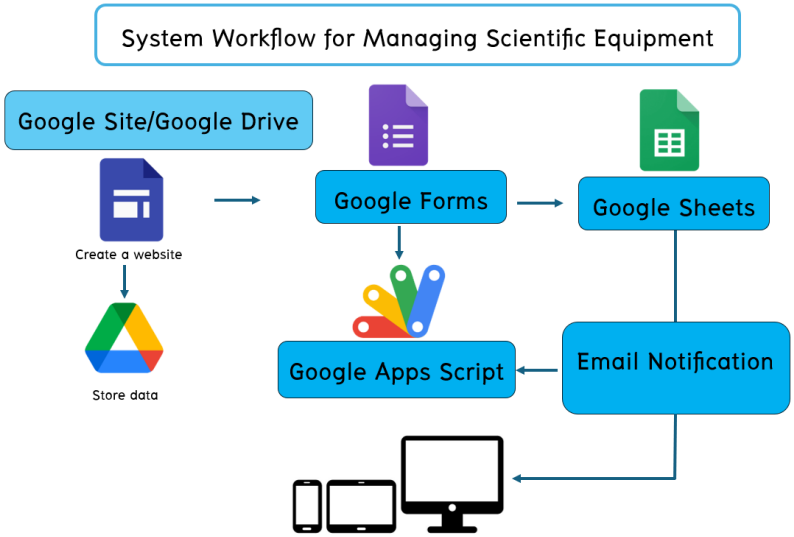


Figure 2 The Workflow of the Scientific Equipment and Material Preparation System Using Google Application Tools

ขั้นตอนที่ 2 การจัดสร้างเครื่องมือเก็บข้อมูล

ผู้วิจัยได้พัฒนาเครื่องมือเก็บข้อมูลในรูปแบบแบบประเมินออนไลน์ผ่าน Google Forms จำนวน 2 ฉบับ ได้แก่

1. แบบประเมินประสิทธิภาพของระบบ: ประกอบด้วยคำถาม 5 ด้าน ได้แก่ ด้านการออกแบบระบบ ด้านประสิทธิภาพการทำงาน ด้านการใช้งาน ด้านความปลอดภัยของระบบ และด้านทรัพยากร

2. แบบประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบ: ประกอบด้วยคำถาม 6 ด้าน ได้แก่ ความพึงพอใจด้านการออกแบบระบบ ด้านประสิทธิภาพ ด้านการใช้งาน ด้านเนื้อหา ด้านความปลอดภัยของระบบ และด้านทรัพยากร

ผู้วิจัยได้ตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาของแบบประเมินทั้งสองชุด ได้แก่ แบบประเมินประสิทธิภาพของระบบและแบบประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบ โดยใช้ดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับวัตถุประสงค์ของการวิจัย (Item–Objective Congruence: IOC) ซึ่งได้รับการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 7 ท่าน ผลการวิเคราะห์พบว่าค่าดัชนี IOC อยู่ในช่วง 0.50–1.00 ซึ่งอยู่ในระดับที่สามารถยอมรับได้ ผู้วิจัยจึงคัดเลือกข้อคำถามที่มีค่าดัชนีตั้งแต่ 0.50 ขึ้นไปมาใช้ในการวิจัย แสดงให้เห็นว่าแบบสอบถามมีความเชื่อถือได้ในระดับสูง และเหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นเครื่องมือในการวิจัย

ขั้นตอนที่ 3 การทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานระบบ

ผู้วิจัยได้ดำเนินการทดสอบประสิทธิภาพของระบบ จากผู้ประเมินจำนวน 15 คน ประกอบด้วยโดยผู้เชี่ยวชาญทางด้านเทคโนโลยีจำนวน 5 คน อาจารย์จำนวน 5 คน และนักวิทยาศาสตร์จำนวน 5 คน ซึ่งแบบประเมินครอบคลุม 5 ด้าน เพื่อให้ได้ข้อเสนอแนะที่สามารถนำมาปรับปรุงและพัฒนาระบบให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้นก่อนนำไปใช้งานจริง

ขั้นตอนที่ 4 การประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบ

หลังจากปรับปรุงระบบตามข้อเสนอแนะจากการประเมินประสิทธิภาพแล้ว ผู้วิจัยได้นำระบบไปประเมินความพึงพอใจของกลุ่มประชากรเป้าหมาย ซึ่งประกอบด้วย อาจารย์และนักวิทยาศาสตร์ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนการสอนภาคปฏิบัติในรายวิชาเทคนิคและการใช้เครื่องมือทางจุลชีววิทยา สาขาวิชาจุลชีววิทยาและปรสิตวิทยา คณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ มหาวิทยาลัยพะเยา รวมทั้งสิ้นจำนวน 13 คน เพื่อวิเคราะห์และสรุปผลการวิจัยต่อไป

การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้ใช้สถิติพาราเมตริกในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่ออธิบายคุณลักษณะของกลุ่มตัวอย่าง โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลทางสังคมศาสตร์ (SPSS: Statistical Package for the Social Sciences) ซึ่งประกอบด้วย ค่าร้อยละ (Percentage) ค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) โดยการวิเคราะห์ข้อมูลแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ดังนี้

1. ข้อมูลด้านประสิทธิภาพของระบบการจัดเตรียมอุปกรณ์และวัสดุวิทยาศาสตร์ผ่านระบบออนไลน์ สำหรับการจัดการเรียนการสอนภาคปฏิบัติ ในสาขาวิชาจุลชีววิทยาและปรสิตวิทยา คณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ มหาวิทยาลัยพะเยา

2. ข้อมูลด้านความพึงพอใจต่อการพัฒนาระบบการจัดเตรียมอุปกรณ์และวัสดุวิทยาศาสตร์ผ่านระบบออนไลน์สำหรับการจัดการเรียนการสอนภาคปฏิบัติ ในสาขาวิชาดังกล่าว

ในการดำเนินการดังกล่าว ผู้วิจัยได้จัดทำแบบสอบถามเพื่อใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของระบบโดยเก็บข้อมูลจากความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ รวมถึงการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบ โดยผลการประเมินจะถูกนำมาวิเคราะห์ระดับความเหมาะสมโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เปรียบเทียบกับเกณฑ์การแปลผลระดับความคิดเห็น ตามเกณฑ์ที่อ้างอิงจาก Thaingpak (2016) ซึ่งกำหนดระดับค่าเฉลี่ยไว้ดังนี้

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ	4.50–5.00	หมายความว่า	มีประสิทธิภาพมากที่สุด
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ	3.50–4.49	หมายความว่า	มีประสิทธิภาพมาก
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ	2.50–3.49	หมายความว่า	มีประสิทธิภาพปานกลาง
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ	1.50–2.49	หมายความว่า	มีประสิทธิภาพน้อย
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ	1.00–1.49	หมายความว่า	มีประสิทธิภาพน้อยที่สุด

ทั้งนี้ เกณฑ์ในการพิจารณาระดับความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อประสิทธิภาพของระบบ และผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน จะพิจารณาจากค่าเฉลี่ยคะแนนรวมตั้งแต่ 3.50 ขึ้นไป และมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานไม่เกิน 1.00 เพื่อให้สามารถสรุปได้ว่าระบบมีความเหมาะสมและสามารถนำไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Results

การวิจัยเรื่องการพัฒนาระบบการจัดเตรียมอุปกรณ์และวัสดุวิทยาศาสตร์ผ่านระบบออนไลน์ สำหรับการเรียนการสอนปฏิบัติการ สาขาจุลชีววิทยาและปรสิตวิทยา คณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ มหาวิทยาลัยพะเยา ได้ทำการศึกษากลุ่มประชากร ได้แก่ อาจารย์และนักวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องในรายวิชาเทคนิคและการใช้เครื่องมือทางจุลชีววิทยา จำนวน 13 คน ผลของการพัฒนาระบบการจัดเตรียมอุปกรณ์และวัสดุวิทยาศาสตร์ผ่านระบบออนไลน์ สำหรับการเรียนการสอนปฏิบัติการมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การสร้างเว็บไซต์ระบบการการจัดเตรียมอุปกรณ์และวัสดุวิทยาศาสตร์ผ่านระบบออนไลน์

ผู้วิจัยได้พัฒนาระบบสนับสนุนการจัดเตรียมอุปกรณ์และวัสดุวิทยาศาสตร์สำหรับการเรียนการสอนภาคปฏิบัติ โดยใช้ Google Sites เป็นเครื่องมือหลักในการออกแบบและสร้างเว็บไซต์ เนื่องจาก Google Sites เป็นแพลตฟอร์มที่สามารถใช้งานได้ง่าย รองรับการทำงานในลักษณะ Web Service และมีพื้นที่สำหรับจัดเก็บข้อมูล ทั้งยังสามารถเผยแพร่เว็บไซต์ผ่านระบบของ Google ได้อย่างสะดวกและเข้าถึงได้ง่ายสำหรับทั้งอาจารย์ผู้สอนและผู้ปฏิบัติงาน ระบบเว็บไซต์ที่พัฒนาขึ้นได้รับการออกแบบให้มีความสอดคล้องกับบทเรียนภาคปฏิบัติ โดยมีเป้าหมายเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการจัดเตรียมอุปกรณ์และวัสดุวิทยาศาสตร์ได้อย่างเป็นระบบและเข้าใจง่าย ภายในเว็บไซต์ประกอบด้วยเนื้อหาหลัก ได้แก่ วัตถุประสงค์ระบบ การใช้งานระบบ รายละเอียดบทปฏิบัติการ รวมไปถึงการจัดเตรียมปฏิบัติการออนไลน์ โดยในแต่ละหัวข้อจะมีการเชื่อมโยงไปยังรายละเอียดของเนื้อหาในแต่ละส่วนอย่างชัดเจนผ่านระบบลิงก์ภายในเว็บไซต์ แสดงดังรูปที่ 3



Figure 3 Screenshot of the online system website for the preparation of scientific equipment and materials, created using Google Sites

เมื่อผู้ใช้งานคลิกลิงก์ “วัตถุประสงค์ของระบบ” ระบบจะแสดงเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับเป้าหมายของบทปฏิบัติการแต่ละบท ส่วนลิงก์ “การใช้งานระบบ” จะแสดงข้อมูลเกี่ยวกับกลไกการทำงานของระบบที่พัฒนาขึ้น โดยอาศัยการบูรณาการเครื่องมือในกลุ่ม Google Applications เพื่อสนับสนุนการจัดการข้อมูล ในส่วนของลิงก์ “บทปฏิบัติการ” เมื่อเข้าสู่ระบบจะปรากฏรายการบทปฏิบัติการแต่ละหัวข้อ ดังแสดงในรูปที่ 4 โดยแต่ละบทประกอบด้วย 3 หมวดเนื้อหา ได้แก่ (1) ข้อมูลเนื้อหาของบทปฏิบัติการ (2) รายการอุปกรณ์และวัสดุวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในการปฏิบัติการ และ (3) รายละเอียดการเตรียมอุปกรณ์และวัสดุวิทยาศาสตร์ หมวดที่ (1) และ (2) จะแสดงเนื้อหาของบทปฏิบัติการพร้อมภาพประกอบรายการอุปกรณ์ วัสดุวิทยาศาสตร์ อาหารเลี้ยงเชื้อ และจุลินทรีย์ตัวอย่าง ดังแสดงในรูปที่ 5 เพื่อเพิ่มความเข้าใจและสนับสนุนการวางแผนการจัดเตรียมอย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ เอกสารประกอบที่เกี่ยวข้องทั้งหมดถูกจัดเก็บในรูปแบบดิจิทัลผ่าน Google Drive เพื่อให้สามารถเรียกใช้งานและสืบค้นได้สะดวกและมีประสิทธิผล



Figure 4 Screenshot of the online system website for the preparation of scientific equipment and materials – Practical Operations section.



Figure 5 Example list of scientific instruments used in Practical 1 for the course Techniques and use of Microbiological Instruments.

สำหรับหมวดที่ (3) “รายละเอียดการเตรียมอุปกรณ์และวัสดุวิทยาศาสตร์” ได้เชื่อมโยงไปยังแบบฟอร์มออนไลน์ที่จัดทำโดยใช้ Google Forms ดังแสดงในรูปที่ 6 ซึ่งเปิดโอกาสให้ผู้ใช้งานกรอกข้อมูลการจัดเตรียมได้โดยตรงผ่านระบบออนไลน์



Figure 6 Google Form system for entering detailed information and preparing scientific equipment and materials

จากการพัฒนาระบบแบบฟอร์มโดยใช้เครื่องมือ Google Forms ร่วมกับ Google Sheets พบว่าระบบสามารถรับข้อมูลจากผู้ใช้งานที่กรอกแบบฟอร์มได้อย่างถูกต้อง โดยข้อมูลที่กรอกจะถูกบันทึกลงใน Google Sheets โดยอัตโนมัติ และมีการตั้งค่าการตอบกลับไปยังอีเมลของผู้ใช้งานในรูปแบบเอกสาร PDF เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบในการจัดเตรียมการเรียนการสอนภาคปฏิบัติอย่างเป็นระบบและมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น Google Forms ใช้สำหรับให้ผู้ใช้งานกรอกรายละเอียดข้อมูลที่จำเป็นต่อการจัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์ในการเรียนการสอนปฏิบัติการ อาทิ ชื่อผู้แจ้ง วัน–เวลา จำนวนกลุ่มเรียน รายการวัสดุปกรณ์ และข้อมูลอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง Google Sheets ใช้สำหรับจัดเก็บและประมวลผลข้อมูลที่ได้รับจากแบบฟอร์มโดยอัตโนมัติ Google Apps Script ใช้ในการสร้างระบบการแจ้งเตือนทางอีเมลอัตโนมัติไปยังเจ้าหน้าที่หรือผู้รับผิดชอบแต่ละหน่วย เพื่อให้สามารถดำเนินการจัดเตรียมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ระบบที่พัฒนาขึ้นใช้ Google Sheets สำหรับจัดเก็บและประมวลผลข้อมูลที่ได้รับจากแบบฟอร์ม Google Forms โดยข้อมูลที่ผู้ใช้งานกรอกจะถูกบันทึกลงใน Google Sheets โดยอัตโนมัติ พร้อมทั้งมีการตอบกลับทางอีเมลไปยังผู้ใช้งานในรูปแบบไฟล์เอกสาร PDF แสดงดังรูปที่ 7 เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบในการเตรียมการเรียนการสอนภาคปฏิบัติอย่างเป็นระบบ นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้ Google Apps Script ในการพัฒนาระบบแจ้งเตือนทางอีเมลโดยอัตโนมัติไปยังเจ้าหน้าที่หรือผู้รับผิดชอบ เพื่อให้สามารถดำเนินการจัดเตรียมวัสดุ อุปกรณ์ และสิ่งสนับสนุนต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพและทันต่อความต้องการใช้งาน ในส่วนของการสื่อสารข้อมูลได้มีการนำ Google Slides มาใช้เป็นเครื่องมือในการจัดทำสไลด์หรือเอกสารนำเสนอในรูปแบบ PDF เพื่อใช้ประกอบการเตรียมการสอนหรือรายงานผลการดำเนินงาน โดยสามารถนำเสนอหรือจัดส่งให้นักวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว

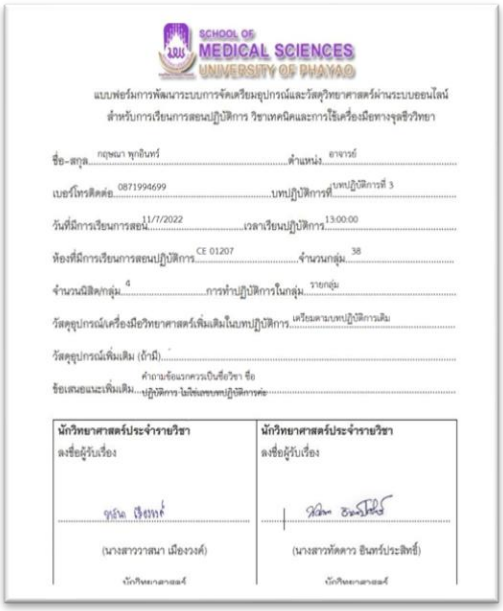


Figure 7 PDF–format email response document from the online system for preparing scientific equipment and materials

ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบการจัดเตรียมอุปกรณ์และวัสดุวิทยาศาสตร์ผ่านระบบออนไลน์

ผลการประเมินจากผู้ประเมินจำนวน 15 คน ประกอบด้วยนักวิชาการคอมพิวเตอร์ จำนวน 5 คน (ร้อยละ 33.33) อาจารย์ผู้สอน 5 คน (ร้อยละ 33.33) และนักวิทยาศาสตร์ 5 คน (ร้อยละ 33.33) ได้มีการดำเนินการประเมิน 5 ด้าน ได้แก่ ด้านการออกแบบระบบ ด้านประสิทธิภาพของระบบ ด้านการใช้งาน ด้านการรักษาความปลอดภัยของระบบ และด้านทรัพยากร ผลการประเมินพบว่า ด้านการออกแบบระบบ ด้านประสิทธิภาพของระบบ ด้านการใช้งาน และการรักษาความปลอดภัยของระบบ ทั้ง 4 ด้านอยู่ในระดับ “มีประสิทธิภาพมาก” ส่วนด้านทรัพยากร ได้รับการประเมิน “มีประสิทธิภาพมากที่สุด” รายละเอียดแสดงใน ตารางที่ 1

Table 1 presents the mean ($\bar{x}$) and standard deviation (S.D.) for evaluating the efficiency of an online system designed for preparing scientific equipment and materials.

Evaluation Item	Mean ($\bar{x}$)	Standard Deviation (S.D.)	Interpretation
Form Design Aspect			
1. The system page has a pleasant and neat appearance.	4.20	0.67	High
2. The system page loads quickly, is easy to understand, and operates smoothly.	4.47	0.51	High
3. The layout of the system page is simple and easy to read and use.	4.33	0.48	High

Evaluation Item	Mean ($\bar{x}$)	Standard Deviation (S.D.)	Interpretation
4. The size and format of the page are easy to read and use.	4.53	0.51	Very High
5. The data entry format is appropriate and convenient.	4.27	0.59	High
Overall Mean	**4.36**	**0.55**	**High**
System Efficiency			
1. The system is accurate and reliable.	4.47	0.51	High
2. The system is fast in recording and updating data.	4.33	0.72	High
3. The system is fast in presenting data.	4.27	0.59	High
4. Overall system performance efficiency.	4.40	0.63	High
Overall Mean	**4.36**	**0.61**	**High**
System Usability			
1. The system allows timely and uncomplicated login.	4.33	0.72	High
2. Information search is convenient and fast.	4.27	0.59	High
3. The system usage is efficient, clear, and reliable.	4.40	0.63	High
Overall Mean	**4.33**	**0.64**	**High**
System Security			
1. User ID and password are set to control access.	4.20	0.94	High
2. Data backup is performed at scheduled intervals.	4.20	0.67	High
3. The system facilitates access and provides accurate information.	4.33	0.61	High
4. Overall system usability and reliability.	4.27	0.59	High
Overall Mean	**4.25**	**0.70**	**High**
Resources			
1. The equipment and materials used in service provision are sufficient to meet user needs.	4.67	0.48	Very High
2. Reduction in paper usage.	4.67	0.48	Very High
Overall Mean	**4.67**	**0.48**	**Very High**

ผลการประเมินความพึงพอใจต่อการพัฒนาระบบการจัดเตรียมอุปกรณ์และวัสดุวิทยาศาสตร์ผ่านระบบออนไลน์ สำหรับการเรียนการสอนปฏิบัติการ

ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานจำนวน 13 คน ประกอบด้วย อาจารย์จำนวน 8 คน และนักวิทยาศาสตร์จำนวน 5 คน ได้ดำเนินการประเมินความพึงพอใจระบบ โดยแบ่งออกเป็น 6 ด้าน ได้แก่ ด้านการออกแบบระบบ ด้านประสิทธิภาพของระบบ ด้านการใช้งานระบบ ด้านเนื้อหา ด้านการรักษาความปลอดภัยของระบบ และด้านทรัพยากร การประเมินดำเนินการโดยใช้แบบสอบถามชนิดมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ ผลการประเมินพบว่า ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจด้านการออกแบบ และด้านการรักษาความปลอดภัยของระบบ อยู่ในระดับ “พึงพอใจมาก” ส่วนด้านประสิทธิภาพของระบบ ด้านการใช้งานระบบ ด้านเนื้อหา และด้านทรัพยากร ได้รับผลการประเมินอยู่ในระดับ “พึงพอใจมากที่สุด” รายละเอียดของผลการประเมินในแต่ละด้านแสดงไว้ใน ตารางที่ 2

Table 2 presents the mean ($\bar{x}$) and standard deviation (S.D.) for the evaluation of satisfaction regarding the development of an online system for preparing scientific equipment and materials.

Evaluation Item	Mean ($\bar{x}$)	Standard Deviation S.D.	Interpretation
Evaluation Criteria: Satisfaction with the Design			
1. The appearance of the system is beautiful, modern, and attractive.	4.42	0.51	Very Satisfied
2. The layout is easy to read and use.	4.42	0.51	Very Satisfied
3. The size and shape of the buttons are easy to read and use.	4.50	0.52	Most Satisfied
4. The information is appropriately grouped.	4.42	0.51	Very Satisfied
Overall Mean	**4.44**	**0.51**	**Very Satisfied**
User Satisfaction with System Performance			
1. The system appropriately positions data.	4.42	0.51	Very Satisfied
2. The system is accurate and reliable.	4.42	0.51	Very Satisfied
3. The system is fast in recording and updating data.	4.50	0.52	Most Satisfied
4. The system is fast in presenting data.	4.58	0.51	Most Satisfied
5. Overall system performance is highly satisfactory.	4.58	0.51	Most Satisfied
Overall Mean	**4.50**	**0.51**	**Most Satisfie**
User Satisfaction with System Usability			
1. The login process is simple and straightforward.	4.58	0.51	Most Satisfied

Evaluation Item	Mean ($\bar{x}$)	Standard Deviation S.D.	Interpretation
2. The system operates conveniently and quickly.	4.58	0.51	Most Satisfied
3. The system stores data accurately and reliably.	4.50	0.52	Most Satisfied
4. The system is easy to understand and use.	4.50	0.52	Most Satisfied
Overall Mean	**4.54**	**0.51**	**Most Satisfied**
Content Satisfaction			
1. The information is comprehensive and meets user needs	4.50	0.52	Most Satisfied
2. The content is useful for practical application.	4.58	0.51	Most Satisfied
3. References are convenient for searching.	4.58	0.51	Most Satisfied
4. The presentation of content, including text and color, is appropriate.	4.58	0.51	Most Satisfied
Overall Mean	**4.56**	**0.51**	**Most Satisfied**
System Security Satisfaction			
1. User access is restricted through permissions and passwords.	4.42	0.51	Very Satisfied
2. Data access is limited to defined scopes.	4.42	0.51	Very Satisfied
Overall Mean	**4.42**	**0.51**	**Very Satisfied**
Resource Satisfaction			
1. Equipment and materials provided are sufficient to meet user needs.	4.42	0.51	Very Satisfied
2. Reduction in paper usage.	4.58	0.51	Most Satisfied
Overall Mean	**4.50**	**0.51**	**Most Satisfied**

Conclusion and Discussion

การวิจัยครั้งนี้มุ่งพัฒนาระบบออนไลน์สำหรับการจัดเตรียมอุปกรณ์และวัสดุวิทยาศาสตร์ในการเรียนการสอนภาคปฏิบัติ โดยใช้ชุดเครื่องมือ Google Applications เช่น Gmail, Google Docs, Google Drive, Google Forms, Google Sheets และ Google Slides ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าระบบดังกล่าวสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งด้านการจัดการข้อมูล การประสานงาน และการทำงานร่วมกันแบบเรียลไทม์ เนื่องจากเป็นระบบที่เปิดให้ใช้งานโดยไม่เสียค่าใช้จ่าย มีความสะดวกในการใช้งาน และสามารถเข้าถึงได้จากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หลากหลายประเภท เช่น คอมพิวเตอร์ โน้ตบุ๊ก แท็บเล็ต หรือสมาร์ตโฟน ระบบที่พัฒนาขึ้นมีการออกแบบให้รองรับการมีส่วนร่วมของผู้ใช้งานหลากหลายกลุ่ม ได้แก่ อาจารย์ นักวิทยาศาสตร์ และเจ้าหน้าที่ โดยสามารถเข้าถึงข้อมูลร่วมกันผ่านระบบออนไลน์ ส่งผลให้เกิดความโปร่งใสใน

การดำเนินงาน และสามารถตรวจสอบย้อนหลังได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ ระบบยังมีศักยภาพในการขยายผลไปใช้ในรายวิชาอื่นหรือคณะอื่นที่มีลักษณะการเรียนการสอนภาคปฏิบัติคล้ายคลึงกัน ถือเป็นการเพิ่มแนวทางที่สามารถต่อยอดไปสู่การจัดการเรียนการสอนในระดับคณะหรือมหาวิทยาลัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ การออกแบบระบบที่รวมเครื่องมือหลายชนิดของ Google เช่น Google Sites สำหรับการจัดทำหน้าเว็บไซต์, Google Forms สำหรับรวบรวมคำร้องขอ, Google Sheets สำหรับจัดการข้อมูล และ Google Drive สำหรับการจัดเก็บไฟล์ต่าง ๆ ทำให้สามารถประยุกต์ใช้ในกระบวนการจัดเตรียมอุปกรณ์ได้อย่างครบวงจร สอดคล้องกับงานวิจัยของ Chansamut (2021) และมีแนวคิดการประเมินประสิทธิภาพและความพึงพอใจของการใช้งานระบบสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sea pun et al. (2021)

ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบดำเนินการโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 15 คน ประกอบด้วยนักวิชาการคอมพิวเตอร์ 5 คน (ร้อยละ 33.33), อาจารย์ 5 คน (ร้อยละ 33.33) และนักวิทยาศาสตร์ 5 คน (ร้อยละ 33.33) พบว่า ด้านการออกแบบ ด้านประสิทธิภาพของระบบ ด้านการใช้งาน และด้านความปลอดภัย อยู่ในระดับ “มีประสิทธิภาพมาก” ขณะที่ด้านการใช้ทรัพยากรอยู่ในระดับ “มีประสิทธิภาพมากที่สุด” สะท้อนให้เห็นว่าระบบดังกล่าวสามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานในบริบทของการเรียนการสอนภาคปฏิบัติได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลลัพธ์ดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ Saimi และ Mohamad (2022) ที่ได้ศึกษาประสิทธิภาพของ Google Classroom ในสภาพแวดล้อมการเรียนรู้เสมือนจริง (Virtual Learning Environment: VLE) สำหรับครูระดับโรงเรียน และพบว่า Google Classroom เป็นเครื่องมือที่มีศักยภาพในการพัฒนาแนวทางการเรียนรู้แบบออนไลน์ และสามารถช่วยอำนวยความสะดวกในการเรียนการสอน เป็นวิธีที่เหมาะสมและและมีประสิทธิภาพ (Saimi and Mohamad 2022) นอกจากนี้ ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chiablaem (2021) ที่ศึกษาความคิดเห็นของนักศึกษามหาวิทยาลัยไทยต่อการใช้ Google Classroom, Google Meet, Google Docs และ Google Forms ในการเรียนภาษาอังกฤษออนไลน์ช่วงโควิด–19 ผลการวิจัยพบว่านักศึกษามีทัศนคติเชิงบวกต่อการใช้งาน และเห็นว่าการรวมฟังก์ชันของแอปต่าง ๆ ช่วยส่งเสริมทักษะภาษาอังกฤษทั้ง 4 ด้าน (ฟัง พูด อ่าน เขียน) รวมถึงความรู้ด้านไวยากรณ์และคำศัพท์ พร้อมเสนอแนวทางการออกแบบกิจกรรมออนไลน์โดยใช้ GAFE (Google Apps for Education) เพื่อสร้างสรรค์งานภาษาอังกฤษในสภาพแวดล้อมการเรียนแบบออนไลน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Chiablaem, 2021) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้เครื่องมือ Google Applications และ GAFE สามารถสนับสนุนการเรียนการสอนทั้งในระดับมหาวิทยาลัยและโรงเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

อย่างไรก็ตาม ยังพบข้อจำกัดบางประการ เช่น ระบบยังไม่มีการเชื่อมต่อกับแอปพลิเคชันภายนอก เช่น LINE หรือระบบแจ้งเตือนผ่านโทรศัพท์มือถือโดยตรง ซึ่งอาจเป็นแนวทางในการพัฒนาเพิ่มเติม เพื่อให้สอดคล้องกับพฤติกรรมการใช้งานของผู้ใช้ในปัจจุบัน และเพิ่มความสะดวกในการบริหารจัดการให้มากยิ่งขึ้น จากการนำระบบไปใช้งานจริง พบว่า ระบบสามารถช่วยลดเวลาในการประสานงานระหว่างอาจารย์และเจ้าหน้าที่ ลดความผิดพลาดในการจัดเตรียมวัสดุ และทำให้สามารถติดตามความคืบหน้าของกระบวนการจัดเตรียมวัสดุได้อย่างชัดเจน อีกทั้งยังส่งเสริมให้เกิดการทำงานร่วมกันแบบออนไลน์ในลักษณะที่โปร่งใส สามารถตรวจสอบย้อนหลังได้ ซึ่งส่งผลดีต่อภาพรวมของกระบวนการเรียนการสอนภาคปฏิบัติ

ภายหลังการปรับปรุงระบบตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ ได้มีการประเมินความพึงพอใจจากกลุ่มผู้ใช้งานจริง ได้แก่ อาจารย์และเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับรายวิชาเทคนิคและการใช้เครื่องมือทางจุลชีววิทยา ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2565 จำนวน 15 คน โดยแบ่งเป็นอาจารย์ 8 คน (ร้อยละ 58.30) และนักวิทยาศาสตร์ 5 คน (ร้อยละ 41.70) ผลการประเมินพบว่า ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจในระดับ “มาก” ในด้านการออกแบบ และ “มากที่สุด” ในด้านประสิทธิภาพของระบบการใช้งาน เนื้อหา ความปลอดภัย และการใช้ทรัพยากร สะท้อนถึงความเหมาะสมและประสิทธิภาพของระบบที่พัฒนาขึ้น

เพื่อยกระดับประสิทธิภาพของระบบให้ครอบคลุมและตอบสนองพฤติกรรมการใช้งานของผู้ใช้ได้ดียิ่งขึ้น ควรมีการพัฒนาเพิ่มเติมในด้านต่าง ๆ อาทิ การขยายระบบแจ้งเตือนให้รองรับช่องทางอื่นเพิ่มเติม เช่น แอปพลิเคชัน LINE หรือการแจ้งเตือนแบบ Push Notification ผ่านอุปกรณ์เคลื่อนที่ ตลอดจนการพัฒนา Mobile Application เพื่อเพิ่มความสะดวกในการเข้าถึงระบบในทุกสถานการณ์ รวมถึงการเชื่อมโยงข้อมูลกับระบบคลังวัสดุกลาง เพื่อให้สามารถติดตามปริมาณวัสดุคงเหลือแบบเรียลไทม์ได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น นอกจากนี้ ระบบยังมีความคุ้มค่าในการลงทุน เนื่องจากอาศัยเครื่องมือที่ให้บริการฟรีผ่าน Google Application โดยไม่จำเป็นต้องพัฒนาโปรแกรมเฉพาะทางใหม่ ช่วยลดต้นทุนด้านงบประมาณและเวลา อีกทั้งยังสอดคล้องกับแนวทางการบริหารจัดการอย่างยั่งยืน เนื่องจากสามารถลดการใช้ทรัพยากร เช่น กระดาษ และลดขั้นตอนการดำเนินงานที่ซ้ำซ้อน

สรุปได้ว่า ระบบการจัดเตรียมอุปกรณ์และวัสดุวิทยาศาสตร์ผ่านระบบออนไลน์ที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ Google Applications เป็นเครื่องมือสนับสนุนการเรียนการสอนภาคปฏิบัติอย่างมีประสิทธิภาพ ส่งเสริมการทำงานร่วมกันในรูปแบบดิจิทัล เพิ่มความสะดวกในการบริหารจัดการ และสามารถปรับใช้ได้กับกระบวนการเรียนการสอนในระดับต่าง ๆ ซึ่งสอดคล้องกับข้อค้นพบของ Tapiantong และคณะ (2020) ที่ได้ศึกษาการจัดการเรียนรู้ด้วย Google Application for Education และพบว่าแผนการจัดการเรียนรู้และบทเรียนโดยใช้ออนไลน์เป็นเครื่องมือหลัก ทำให้การจัดการเรียนรู้และบทเรียนมีคุณภาพในระดับดีมาก และช่วยให้นักเรียนมีความรู้ ความเข้าใจ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้ (Tapiantong et al., 2020)

Acknowledgements

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤตปภัช ตันติอมรกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธัชพล เมธารัชกุล และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัชราภรณ์ ปรีดาภิรมย์ จี้ฟู ซึ่งได้กรุณาให้คำแนะนำ สนับสนุน และให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ตลอดระยะเวลาการดำเนินโครงการวิจัยนี้ จนแล้วเสร็จด้วยดี ขอบพระคุณคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ ที่ให้เกียรติพิจารณา ให้คำแนะนำในการปรับปรุงพัฒนารูปแบบงานวิจัย และแนวทางการนำไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างสูงสุด ขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ มหาวิทยาลัยพะเยา ที่ให้การสนับสนุนทรัพยากร วัสดุอุปกรณ์ และสถานที่ในการดำเนินการทดลอง รวมถึงขอบคุณอาจารย์และบุคลากรทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องในกระบวนการดำเนินงานวิจัย นอกจากนี้ ข้าพเจ้าขอขอบคุณ ผู้เชี่ยวชาญ อาจารย์ และนักวิทยาศาสตร์ ที่เข้าร่วมประเมินและทดลองใช้ระบบที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยฉบับนี้ ซึ่งความร่วมมือและข้อเสนอแนะของท่านมีส่วนสำคัญต่อความสมบูรณ์ของงานวิจัย

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบคุณ ครอบครัวและผู้ที่ให้กำลังใจ มาโดยตลอด ที่เป็นแรงผลักดันในการดำเนินงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ทุกประการ

References

Chiablaem, P. (2021). Enhancing English communication skills of Thai university students through Google Apps for Education (GAFE) in a digital era during COVID–19 pandemic. *Shanlax International Journal of Education, 9*(3), 91–98.

Chansamut, A. (2021). A Google Sheet application for document management of Dean Office, Faculty of Home Economics Technology, Rajamangala University of Technology Krungthep. *Journal of Social Innovation and Development, 2*(2), 12–23.

Google Workspace. (2025). Google Workspace: Productivity and collaboration tools. Form https://workspace.google.com/

Jeawkok, J. (2022). Using Google Classroom to improve academic achievement in community health management courses for students of social development program, Faculty of Humanities and Social Sciences, Prince of Songkla University, Pattani Campus. *ARU Research Journal, 9*(1), 65–75. (in Thai)

Lau, C. W., Wong, K.–T., Abdullah, N., & Hamzah, M. (2023). Exploring the readiness of Google Slides pedagogical practices: Perspective of primary teachers. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences, 13*(11), 1286–1294.

Mediana Jr., N. L., Llanto, M. H., Ebuenga, J. C., Deladia, J. D., Manila, M. E. F., Regiso, R. M., & Digo, G. S. (2025). Assessing the efficacy of Google Classroom as an instructional medium in blended learning environments: A systematic review and meta–synthesis. *International Journal of Multidisciplinary Research and Growth Evaluation, 6*(4), 582–593.

Saimi, W. M. S. A., & Mohamad, M. (2022). The effectiveness of Google Classroom as a virtual learning environment (VLE) for schoolteachers: Literature review. *International Journal of Linguistics, Literature and Translation, 5*(3), 172–175.

Sea pun, T., Simangunsong, V. H., Gultom, D. I., Warni, R., Limbong, C., Naibaho, T., & Simanjuntak, R. (2021). The effectiveness of implementation on learning evaluation through Google Form during COVID–19 pandemic. *European Journal of Humanities and Educational Advancements, 2*(7), 16–23.

Tapiantong, S., Kantathanawat, T., & Innoi, S. (2020). The learning management with Google Application for Education collaboration networking lessons to promote learning achievement in related skills on the information technology in presentation method for Grade 9. *Journal of Industrial Education, 19*(1), 15–24. (in Thai)

Thaingpak, T. (2016). *Development of a lending and borrowing system for durable materials*. Faculty of Information Technology, Maha Sarakham Rajabhat University [Research report]. Maha Sarakham Rajabhat University. (in Thai)

Umoren, I. F., & Ukpe, E. (2025). Digital communication in organizations: Trends, strengths, and weaknesses. *Journal of Information Technology Research, 18*(2), 45–62.

การพัฒนาแชทบอทแบบ Rule-Based เพื่อควบคุมมาตรฐานการจัดทำรายงานโครงการวิจัยของนักศึกษา

ทิพย์วรรณ ฟูเฟื่อง[1*], สาธิต สุวรรณเวช[1] และ ขนิษฐา สิทธิเทียมจันทร์[1]

Development of a Rule-Based Chatbot for Standardizing Undergraduate Research Project Report Preparation

Thipwan Fufaung[1*], Sathit Suwannawach[1] and Khanittha Sittitiamjan[1]

[1] Information Technology Program, Faculty of Computer Science and Information Technology, Rambhai Barni Rajabhat University, Chantaburi 22000

* Corresponding author: thipwan.f@rbru.ac.th

Received: 8 July 2025; Revised: 16 November 2025; Accepted: 25 November 2025

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพแชทบอทโดยใช้แนวทางพัฒนาแบบอิงกฎ (Rule-Based Approach) สำหรับควบคุมมาตรฐานการจัดทำรายงานโครงการวิจัยของนักศึกษาปริญญาตรี การดำเนินงานวิจัยประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ได้แก่ การวิเคราะห์ การออกแบบ การพัฒนา การทดลอง และการประเมินผล พัฒนาต้นแบบด้วยแพลตฟอร์ม Chatfuel และอธิบายกลไกการทำงานด้วยแนวคิดสถาปัตยกรรมแบบสามชั้น (3-Tier Architecture) เครื่องมือวิจัยผ่านการตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (IOC) จากผู้เชี่ยวชาญ 2 ท่าน ได้ค่าดัชนีอยู่ระหว่าง 0.50 ถึง 1.00 การประเมินผลโดยผู้ใช้ 20 คน พบว่าแชทบอทได้รับคะแนนประสิทธิภาพจากผู้เชี่ยวชาญในระดับดี (ค่าเฉลี่ย = 4.00 จากสเกล 5 ระดับ) และความพึงพอใจของผู้ใช้อยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย = 3.81, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 0.93) ด้านเนื้อหาได้รับคะแนนเฉลี่ยต่ำที่สุด (3.80) ผลการวิเคราะห์เชิงคุณภาพพบว่า ปัญหามาจากอุปสรรคด้านการนำทาง มากกว่าคุณภาพเนื้อหา ผลการวิจัยยืนยันว่าแนวทางแบบอิงกฎมีประสิทธิภาพเพียงพอในการควบคุมคุณภาพการจัดทำรายงานวิจัย พร้อมเสนอแนะให้มีการปรับปรุงประสบการณ์ผู้ใช้ เพื่อพัฒนาสู่รูปแบบไฮบริด (Hybrid Model) ต่อไป

คำสำคัญ: แชทบอท, การจัดรูปแบบรายงาน, โครงการวิจัย, ผู้ช่วยเสมือน, การพัฒนาแบบอิงกฎ

[1] สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จังหวัดจันทบุรี 22000

Abstract

This research aims to develop and evaluate the performance of a chatbot utilizing a Rule–Based Approach to control the formatting standards of undergraduate research project reports. The research methodology comprised five stages: analysis, design, development, experimentation, and evaluation. The prototype was developed on the Chatfuel platform, with its operational mechanism described using the 3–Tier Architecture concept. The research instruments were validated for content validity (IOC) by two experts, yielding indices ranging from 0.50 to 1.00. The evaluation, involving 20 users, revealed that the chatbot received a good efficiency rating from experts (Mean = 4.00 on a 5–point scale), while user satisfaction was at a high level (Mean = 3.81, S.D. = 0.93). The content dimension received the lowest average score (3.80). Qualitative analysis indicated that the issues stemmed primarily from navigational obstacles rather than content quality. The results confirm that the Rule–Based Approach is sufficiently effective in controlling research report formatting quality. The study suggests enhancing the user experience to facilitate future development into a Hybrid Model.

Keywords: Chatbot, Report Formatting, Research Project, Virtual Assistant, Rule–Based Approach

Introduction

ในยุคที่เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในวงการศึกษาอย่างกว้างขวาง แชทบอท (Chatbot) ได้รับการพัฒนาให้มีความสามารถในการประมวลผลคำถาม การให้คำแนะนำเฉพาะด้านและการโต้ตอบแบบสองทางอย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้เกิดแนวโน้มในการประยุกต์ใช้แชทบอทเป็นผู้ช่วยเสมือน (Virtual Assistant) สำหรับการศึกษารูปแบบใหม่ โดยเฉพาะในบริบทของการสนับสนุนงานวิชาการของนักศึกษาในระดับอุดมศึกษา

อย่างไรก็ตาม สถาบันอุดมศึกษายังคงเผชิญความท้าทายด้านการจัดทำโครงการวิจัยของนักศึกษา แม้นักศึกษามีความสามารถด้านเทคนิคและการวิเคราะห์ แต่กลับประสบปัญหาการจัดรูปแบบเล่มรายงานวิจัย ซึ่งต้องการความแม่นยำตามเกณฑ์มาตรฐานทางวิชาการ ปัญหาดังกล่าวไม่เพียงส่งผลต่อคุณภาพงานวิจัย แต่ยังสร้างความล่าช้าในกระบวนการเรียนรู้ และเพิ่มภาระให้อาจารย์ที่ปรึกษา

จากการวิเคราะห์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง พบว่าการประยุกต์ใช้แชทบอทในสถาบันอุดมศึกษาสามารถจำแนกเป็น 2 แนวทาง ได้แก่ แชทบอทให้บริการข้อมูลข่าวสารทั่วไป (Sudsanguan & Tangwanwit, 2023; Butsabok et al., 2020) และแชทบอทเชิงปัญญาประดิษฐ์สำหรับให้คำปรึกษาขั้นสูง (Chaatpreecha & Uttamasirisoni, 2024) แม้ว่างานวิจัยเหล่านี้จะแสดงถึงศักยภาพของเทคโนโลยีแชทบอท แต่ยังคงมีข้อจำกัดคือ แชทบอทกลุ่มแรกขาดความสามารถในการให้คำตอบที่อิงตามหลักเกณฑ์มาตรฐาน ในขณะที่แชทบอทเชิงปัญญาประดิษฐ์ แม้จะมีศักยภาพในการตอบคำถามเชิงซับซ้อน แต่ยังคงมีความเสี่ยงต่อการให้ข้อมูลคลาดเคลื่อน (hallucination) และมีต้นทุนพัฒนาสูง

ช่องว่างความรู้ที่สำคัญประการหนึ่งคือ ขาดงานวิจัยที่มุ่งแก้ปัญหาเฉพาะทางด้านการจัดรูปแบบรายงานวิจัย ซึ่งเป็นปัญหาที่มีกฎเกณฑ์ตายตัว (Rule–Based) และต้องการความแม่นยำสูง โดยยังขาดเครื่องมือที่ออกแบบมาเฉพาะสำหรับการให้คำแนะนำเชิงเทคนิคด้านการควบคุมมาตรฐานการจัดรูปแบบเอกสารวิชาการ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีคุณลักษณะใหม่ผ่านการพัฒนาแชทบอทแบบอิงกฎ (Rule–Based Chatbot) ที่ออกแบบมาเฉพาะสำหรับการให้

คำแนะนำเชิงเทคนิคด้านการควบคุมมาตรฐานการจัดรูปแบบเอกสารวิชาการ โดยมีจุดแตกต่างจากงานวิจัยก่อนหน้าที่เน้นการให้บริการข้อมูลข่าวสารทั่วไปหรือการให้คำปรึกษาเชิงลึกที่ซับซ้อน

การวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของแชทบอทต้นแบบที่ใช้แนวทางแบบอิงกฎ โดยออกแบบให้ทำหน้าที่เป็นผู้ช่วยเสมือนในการดำเนินโครงการวิจัยสำหรับนักศึกษาคณะวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

Objectives

1. เพื่อพัฒนาแชทบอทแบบอิงกฎ เพื่อควบคุมมาตรฐานการจัดทำรายงานโครงการวิจัยของนักศึกษา
2. เพื่อศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้แชทบอทแบบอิงกฎ เพื่อควบคุมมาตรฐานการจัดทำรายงานโครงการวิจัยของนักศึกษา

Concept and Literature review

งานวิจัยในระดับอุดมศึกษาเป็นกลไกสำคัญในการสร้างองค์ความรู้ใหม่ ซึ่งมีบทบาทในการขับเคลื่อนการพัฒนาด้านเศรษฐกิจ สังคม และวัฒนธรรมของประเทศ โดยถือเป็นหนึ่งในภารกิจหลักของสถาบันอุดมศึกษา ควบคู่กับการเรียนการสอนและการบริการวิชาการแก่สังคม งานวิจัยยังเป็นเครื่องมือสำคัญที่ช่วยพัฒนาศักยภาพของนักศึกษา ทั้งทักษะการคิดวิเคราะห์ การแก้ปัญหา การสื่อสารเชิงวิชาการ และการเรียนรู้ตลอดชีวิต ซึ่งเป็นคุณลักษณะสำคัญของผู้เรียนในสังคมฐานความรู้และเศรษฐกิจเชิงนวัตกรรม (Punpiboon, 2019)

อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติพบว่า นักศึกษาจำนวนมากประสบปัญหาเกี่ยวกับการจัดรูปแบบรายงานวิจัย แม้จะมีคู่มือรูปแบบที่ชัดเจนของคณะฯ แต่ความซับซ้อนของโครงสร้างงานวิจัย รายละเอียดการจัดหน้า การอ้างอิง และกฎเกณฑ์อื่นๆ ทำให้ผู้เรียนใช้เวลาอย่างมากในการตรวจสอบความถูกต้อง ขณะที่อาจารย์ผู้สอนต้องใช้เวลาในการตรวจแก้ซ้ำๆ เป็นจำนวนมาก

ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา มีความพยายามนำเทคโนโลยีแชทบอทมาใช้ในการสนับสนุนกระบวนการเรียนรู้และบริการในอุดมศึกษาหลากหลายรูปแบบ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องสามารถแบ่งออกเป็นสองกลุ่มหลัก ดังนี้

1. แชทบอทสำหรับการให้บริการข้อมูลทั่วไปในมหาวิทยาลัย งานวิจัยกลุ่มแรกมุ่งเน้นการใช้แชทบอทเป็นเครื่องมือในการให้บริการข้อมูล (Information Service) และลดภาระงานของบุคลากร ดังเช่นงานของ นฤทธิ์ตา สุดสงวน และศักดิ์ชาย ตั้งวรรณวิทย์ (Sudsanguan & Tangwanwit, 2023) ที่พัฒนาแชทบอทบน LINE Application เพื่อสื่อสารข้อมูลข่าวสารมหาวิทยาลัย และงานของสุมนา บุษบก และคณะ (Butsabok et al., 2020) ที่พัฒนาแชทบอทสำหรับงานบริการนักศึกษา ผลการประเมินจากงานวิจัยเหล่านี้ชี้ตรงกันว่า แชทบอทสามารถลดภาระการตอบคำถามซ้ำ ๆ และผู้ใช้งานมีความพึงพอใจในระดับสูง

อย่างไรก็ตาม แชทบอทในกลุ่มนี้ถูกออกแบบมาเพื่อให้ข้อมูลข้อเท็จจริงที่ไม่ซับซ้อน เช่น การลงทะเบียน กิจกรรม ไม่ได้ถูกออกแบบมาเพื่อสอน หรือแนะนำกระบวนการทางวิชาการที่มีความซับซ้อนและมีหลายขั้นตอน เช่น การทำวิจัย

2. แชทบอทเชิงปัญญาประดิษฐ์ สำหรับการให้คำปรึกษาที่ซับซ้อน งานวิจัยกลุ่มที่สองแสดงถึงความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี โดยมุ่งใช้ปัญญาประดิษฐ์และการประมวลผลภาษาธรรมชาติ (NLP) เพื่อให้คำปรึกษาที่ซับซ้อนขึ้น ดังเช่นงานของพรสิริ ชาติปรีชา และชุติธารรัฐ อุตมะสิริเสนี (Chaatpreecha & Uttamasirisoni, 2024) ที่พัฒนา

แชทบอทอัจฉริยะเพื่อให้คำปรึกษาด้านการฝึกงานและอาชีพ ซึ่งแสดงถึงศักยภาพในการเป็นที่ปรึกษาเสมือนที่ตอบสนองความต้องการเชิงลึกได้

แม้ว่าแนวทางปัญญาประดิษฐ์และการประมวลผลภาษาธรรมชาติจะมีประสิทธิภาพ แต่มีความซับซ้อนเกินจำเป็นสำหรับงานที่มีคำตอบที่อิงตามหลักเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งต้องการความถูกต้องเฉพาะเจาะจงเพียงหนึ่งเดียว อีกทั้งยังมีต้นทุนในการพัฒนาที่สูงและมีความเสี่ยงต่อความคลาดเคลื่อนของข้อมูล จึงทำให้ไม่เหมาะกับงานที่ต้องการคำตอบที่อิงตามหลักเกณฑ์มาตรฐาน

จากการสังเคราะห์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง พบว่างานวิจัยด้านแชทบอทในอุดมศึกษาส่วนใหญ่มุ่งเน้นการให้บริการข้อมูลข่าวสารทั่วไป หรือพัฒนาระบบที่ใช้ปัญญาประดิษฐ์ขั้นสูง เพื่อให้คำปรึกษาที่มีความซับซ้อน อย่างไรก็ตาม งานเหล่านี้ไม่ได้ออกแบบมาเพื่อรองรับงานที่ต้องการคำตอบที่อิงตามหลักเกณฑ์มาตรฐาน เช่น การตรวจสอบการจัดรูปแบบรายงานวิจัยตามคู่มือของคณะ ซึ่งมีมาตรฐานเฉพาะของคณะและต้องการคำตอบที่แน่นอนเพียงหนึ่งเดียว ด้วยเหตุนี้ แชทบอทแบบอิงกฎจึงเป็นแนวทางที่เหมาะสมที่สุดสำหรับแก้ปัญหาเฉพาะด้านการจัดรูปแบบรายงาน เนื่องจากสามารถควบคุมเนื้อหาได้ครบถ้วน แม่นยำ และสอดคล้องกับมาตรฐานของคณะ อีกทั้งรองรับปัญหาที่มีขอบเขตความรู้ชัดเจน ซึ่งเป็นลักษณะงานที่แชทบอทแบบอิงกฎ ได้รับการยอมรับว่ามีประสิทธิภาพสูงสุด (Adamopoulou & Moussiades, 2020) ช่องว่างทางความรู้ดังกล่าว แสดงให้เห็นถึงความจำเป็นในการพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของแชทบอทประเภทนี้ เพื่อใช้เป็นผู้ช่วยเสมือนสำหรับการตรวจสอบรูปแบบรายงานของนักศึกษาอย่างเป็นระบบและเชื่อถือได้

Conceptual Framework

การพัฒนาแชทบอทแบบอิงกฎ เพื่อควบคุมมาตรฐานการจัดทำรายงานโครงการวิจัยของนักศึกษาสำหรับนักศึกษาคณะวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ได้กำหนดกรอบแนวคิดการวิจัย แสดงใน Figure 1

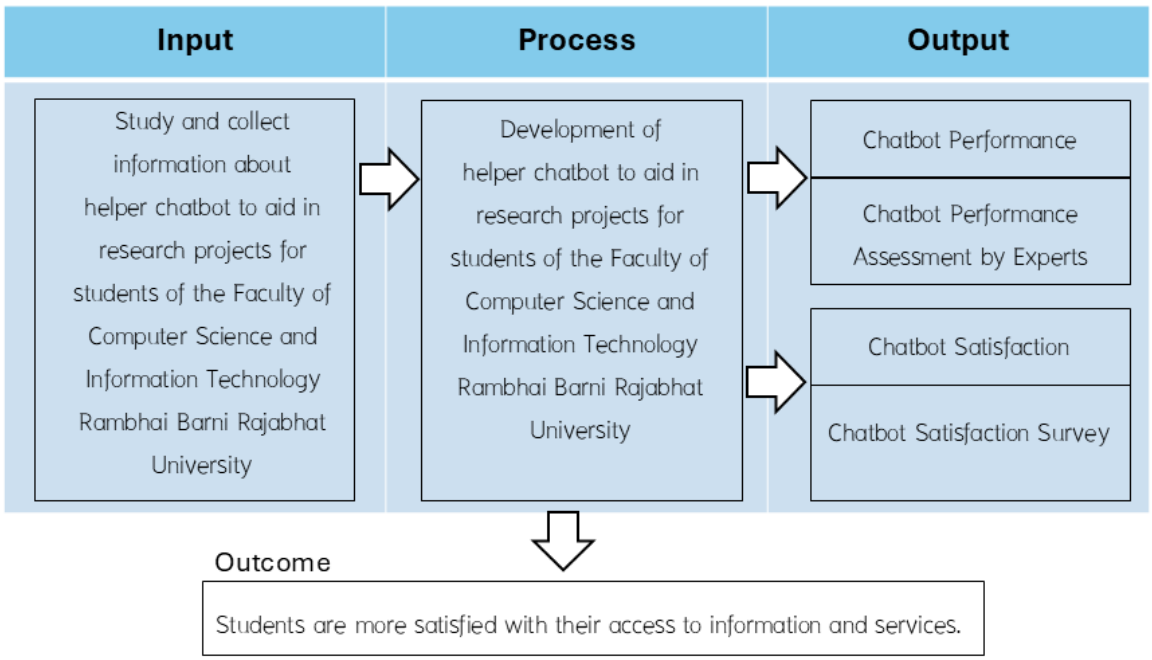


Figure 1 Research conceptual framework

Methodology

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรในการวิจัย คือ นักศึกษาคณะวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จำนวน 100 คน คัดเลือกกลุ่มตัวอย่างจำนวน 20 คน (คิดเป็นร้อยละ 20 ของประชากร) โดยการสุ่มอย่างง่าย (Simple Random Sampling) ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์จากรายชื่อประชากรทั้งหมด

กลุ่มตัวอย่างประกอบด้วยนักศึกษาจาก 2 สาขาวิชา ได้แก่ สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ (3 คน คิดเป็นร้อยละ 15) และสาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ (17 คน คิดเป็นร้อยละ 85) โดยมีสัดส่วนจากทุกชั้นปี คือ ชั้นปีที่ 1 (6 คน ร้อยละ 30) ชั้นปีที่ 2 (3 คน ร้อยละ 15) ชั้นปีที่ 3 (3 คน ร้อยละ 15) และชั้นปีที่ 4 (8 คน ร้อยละ 40)

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือเครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินการทดลอง และเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ดังนี้

1. เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินการทดลอง คือ แชทบอทแบบอิงกฎ เพื่อควบคุมมาตรฐานการจัดทำรายงานโครงการวิจัยของนักศึกษา

2. เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่ แบบประเมินประสิทธิภาพแชทบอท และแบบสอบถามความพึงพอใจของผู้ใช้

วิธีสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินการทดลอง

การพัฒนาแชทบอทแบบอิงกฎเพื่อควบคุมมาตรฐานการจัดทำรายงานโครงการวิจัยของนักศึกษา มีขั้นตอนดำเนินงาน 5 ขั้นตอน ดังนี้

1. ขั้นการวิเคราะห์ (Analysis) ในการวิเคราะห์ปัญหาเบื้องต้น คณะผู้วิจัยได้ศึกษาปัญหาจริงที่นักศึกษาประสบในการจัดทำรายงานโครงการวิจัย โดยมุ่งเน้นปัญหาเฉพาะด้านการจัดรูปแบบเล่มทางวิชาการ ซึ่งจำแนกปัญหาได้ 3 กลุ่มหลัก ดังนี้

(1) ปัญหาการขาดความเข้าใจพื้นฐานเกี่ยวกับโครงการวิจัย เช่น การไม่เข้าใจความหมายและประเภทของโครงการวิจัย การไม่รู้แนวทางการทำโครงการวิจัยที่เหมาะสมกับสาขาวิชา การขาดแหล่งเรียนรู้ที่น่าเชื่อถือ

(2) ปัญหาการจัดรูปแบบเล่มรายงานวิจัย เช่น การจัดทำหน้าปก บทคัดย่อ การอ้างอิงที่ถูกต้อง และการจัดโครงสร้างบทต่าง ๆ ไม่ครบถ้วนตามมาตรฐาน

(3) ปัญหาการขาดตัวอย่างที่เป็นแนวทาง เช่น การไม่มีแบบฟอร์มที่ถูกต้องสำหรับการจัดรูปแบบ และการไม่มีตัวอย่างโครงการวิจัยให้ศึกษา

จากการวิเคราะห์ปัญหาข้างต้น พบว่าปัญหาการจัดรูปแบบรายงานวิจัยมีลักษณะเฉพาะคือ มีกฎเกณฑ์ที่ชัดเจนและคำตอบที่ถูกต้องเพียงหนึ่งเดียว ตามที่กำหนดในคู่มือการทำโครงการวิจัย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้แนวทางการพัฒนาแบบอิงกฎ (Rule-Based Approach) ซึ่งสอดคล้องกับข้อเสนอของ Adamopoulou & Moussiades (2020) ที่ระบุว่าแชทบอทแบบอิงกฎมีความเหมาะสมสำหรับงานเฉพาะทาง (Domain-Specific) ที่มีขอบเขตความรู้แน่นอน โดยพิจารณาจากปัจจัยต่อไปนี้

(1) ลักษณะของปัญหาที่ชัดเจน การจัดรูปแบบรายงานวิจัยมีคำตอบที่อิงตามหลักเกณฑ์มาตรฐาน เช่น รูปแบบหน้าปก การจัดเรียงบท และรูปแบบการอ้างอิง ซึ่งแต่ละประเด็นมีคำตอบมาตรฐานเพียงหนึ่งเดียว

(2) ความแม่นยำและความน่าเชื่อถือ แชทบอทแบบอิงกฎให้คำตอบที่ถูกต้องสมบูรณ์ เนื่องจากใช้การจับคู่รูปแบบคำถามกับคำตอบที่เตรียมไว้ล่วงหน้า ซึ่งสำคัญต่อการให้คำแนะนำทางวิชาการ

(3) ความเรียบง่ายและประสิทธิภาพ การพัฒนาแบบอิงกฎมีข้อดีด้านความเร็วในการตอบสนอง เนื่องจากไม่ต้องการการประมวลผลที่ซับซ้อน

(4) ความเหมาะสมกับทรัพยากร การพัฒนาแบบอิงกฎ มีต้นทุนต่ำกว่าและใช้เวลาพัฒนาน้อยกว่า

(5) การควบคุมคำตอบได้เต็มที่ ผู้พัฒนาสามารถควบคุมเนื้อหาทุกคำตอบได้อย่างแม่นยำ ตามมาตรฐานของคณะฯ

การวิเคราะห์ปัญหาเฉพาะเหล่านี้เป็นพื้นฐานสำคัญในการออกแบบโครงสร้างเนื้อหาของแชทบอท โดยแต่ละปัญหาจะถูกแปลงเป็นชุดคำถามและคำตอบที่ครอบคลุมใน 91 บล็อก

2. ขั้นการออกแบบการทำงานของโปรแกรม (Design) จากการวิเคราะห์ปัญหาเฉพาะข้างต้น คณะผู้วิจัยได้ออกแบบการทำงานของแชทบอทโดยใช้แนวคิดสถาปัตยกรรมระบบแบบ 3 ชั้น ดังแสดงใน Figure 2 ซึ่งเป็นโครงสร้างมาตรฐานในการพัฒนาแอปพลิเคชัน ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ดังนี้

(1) ชั้นการนำเสนอ (Presentation Layer) ทำหน้าที่เป็นส่วนติดต่อผู้ใช้ (User Interface) โดยคณะผู้วิจัยเลือกใช้แพลตฟอร์ม Facebook Messenger เนื่องจากเป็นแอปพลิเคชันที่ผู้ใช้มีความคุ้นเคยและเข้าถึงได้ง่าย

(2) ชั้นตรรกะแอปพลิเคชัน (Application Layer) ทำหน้าที่เป็นกลไกประมวลผลหลักของระบบ โดยใช้ Chatfuel Platform ทำหน้าที่เสมือน Rules Engine ที่ควบคุมลำดับการสนทนาและใช้แนวทางการพัฒนาแบบอิงกฎ การออกแบบกฎการสนทนาอิงจากปัญหาจริงที่พบในขั้นวิเคราะห์ โดยแบ่งเป็น 3 เมนูหลัก ได้แก่ เมนู “น.ศ.ควรรู้อะไรบ้าง” สำหรับปัญหาการเริ่มต้นโครงการ เมนู “พิมพ์เล่มงานวิจัย” สำหรับปัญหาการจัดรูปแบบ และเมนู “ตัวอย่าง” สำหรับปัญหาการขาดแนวทาง แต่ละเมนูมีคำถามย่อยและคำตอบที่เจาะจงแก้ไขปัญหาแต่ละประเด็น โดยเนื้อหาทั้งหมดถูกจัดเก็บใน 91 บล็อกที่กระจายอยู่ใน 3 เมนูหลักนี้

(3) ชั้นข้อมูล (Data Layer) ทำหน้าที่จัดเก็บโครงสร้างกฎเกณฑ์ (Rules) ลำดับการสนทนา (Flows) และชุดเนื้อหา (Content) ภายในระบบของ Chatfuel ระบบจะเชื่อมต่อกับผู้ใช้ผ่านการผสานรวม (Integration) ระหว่าง Chatfuel และ Facebook Messenger โดยอัตโนมัติผ่าน Facebook Page ที่กำหนดไว้

โดย Chatfuel สามารถประมวลผลกฎและเงื่อนไขที่ผู้พัฒนากำหนดไว้ล่วงหน้า ผ่านกลไกการจับคู่คำการกำหนดเงื่อนไขแบบ If–Else และการจัดลำดับการสนทนา จึงทำให้ Chatfuel สามารถทำหน้าที่เป็น Rule–Based Logic Processor ได้อย่างสมบูรณ์ในบริบทของแชทบอทเพื่อการศึกษา

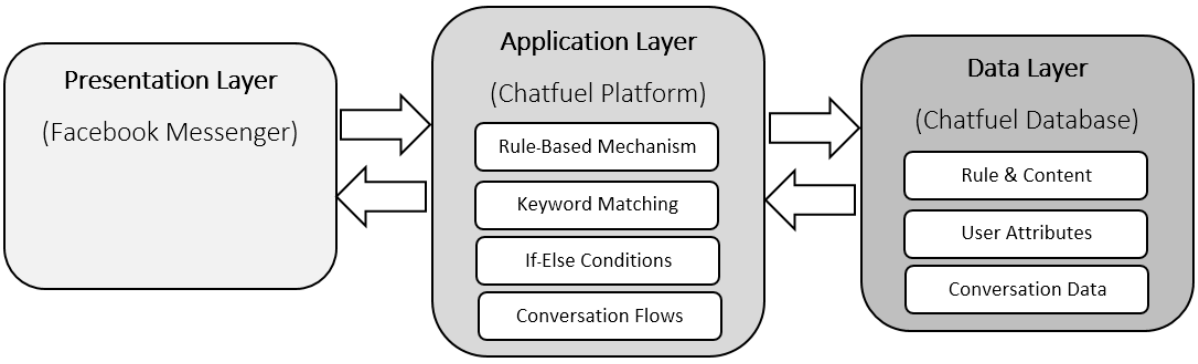


Figure 2 System Architecture Design

จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนการวิเคราะห์ มาออกแบบผังงานภาพรวม (Chatbot Overview Flowchart) ของแชทบอทแบบอิงกฎ ซึ่งแสดงรายละเอียดใน Figure 3

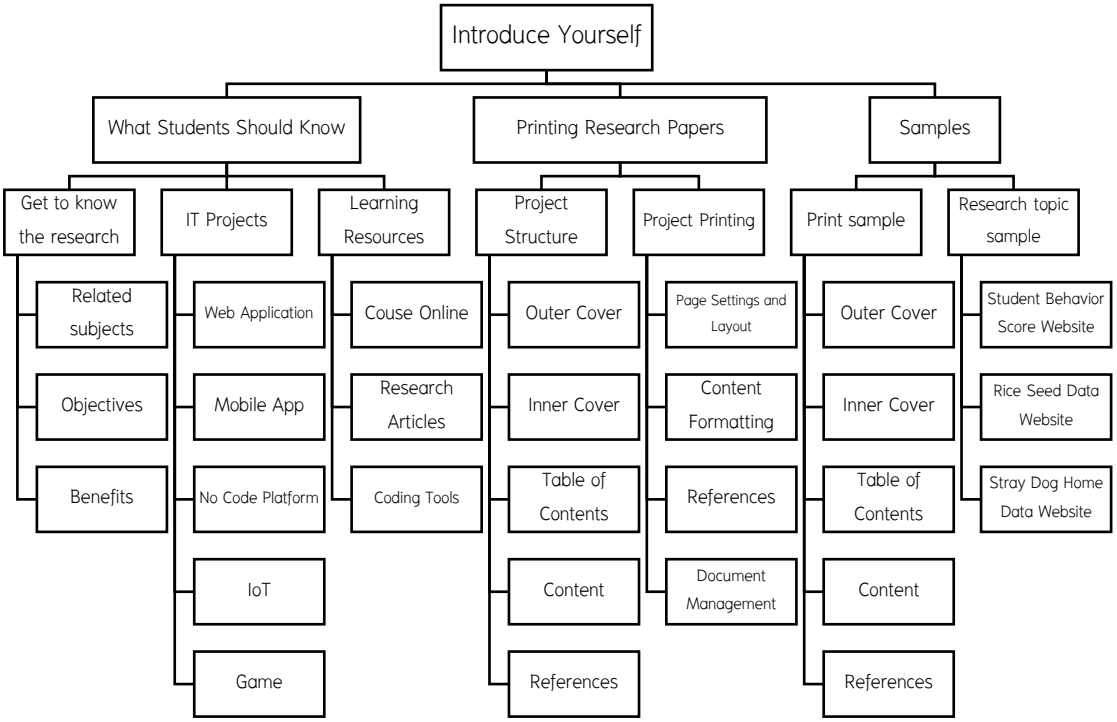


Figure 3 Chatbot Overview Flowchart the Rule-Based Chatbot for Standardizing Undergraduate Research Report Writing

3. ขั้นการพัฒนา (Development) ในขั้นตอนนี้ ได้นำแบบจำลองที่ออกแบบมาสร้างแชทบอทจริงบนแพลตฟอร์ม Chatfuel โดยใช้แนวทางการพัฒนาแบบอิงกฎ เนื่องจากแชทบอทที่พัฒนาขึ้นใช้การนำทางผ่านเมนู (Menu-Driven Navigation) เป็นหลัก การประเมินประสิทธิภาพเชิงเทคนิคจึงมุ่งเน้นที่ความถูกต้องของฟังก์ชันการทำงาน (Functional Accuracy)

คณะผู้วิจัยได้ทำการทดสอบความสมบูรณ์ของบล็อก (Block Integrity Test) เพื่อยืนยันว่าทุกเส้นทางในเมนูสามารถนำทางไปยังบล็อกเนื้อหาที่ถูกต้องตามที่ออกแบบไว้ ผลการตรวจสอบบล็อกเนื้อหาและฟังก์ชันทั้งหมด 91 บล็อก พบว่าแชทบอททำงานได้อย่างถูกต้องครบถ้วน โดยทุกเมนูสามารถนำทางได้ถูกต้องและไม่พบข้อผิดพลาด แสดงการตั้งค่า Welcome Message บนแพลตฟอร์ม Chatfuel ใน Figure 4

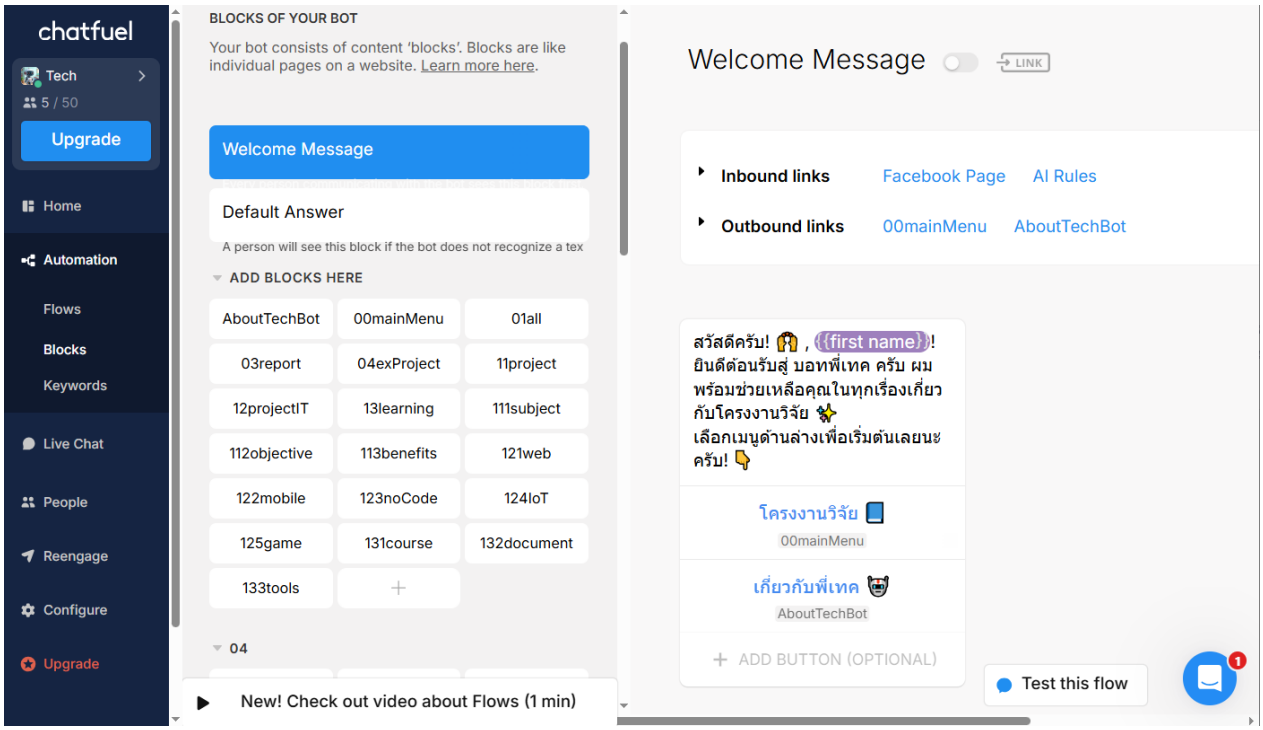
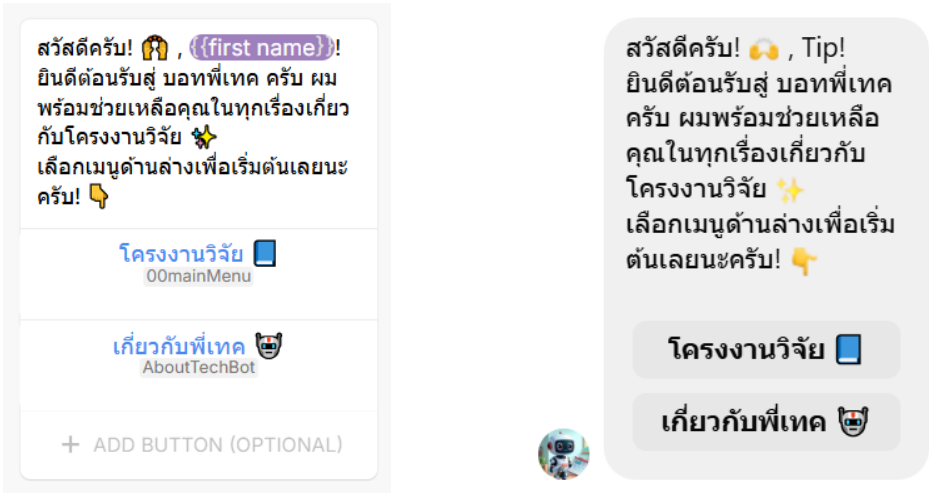


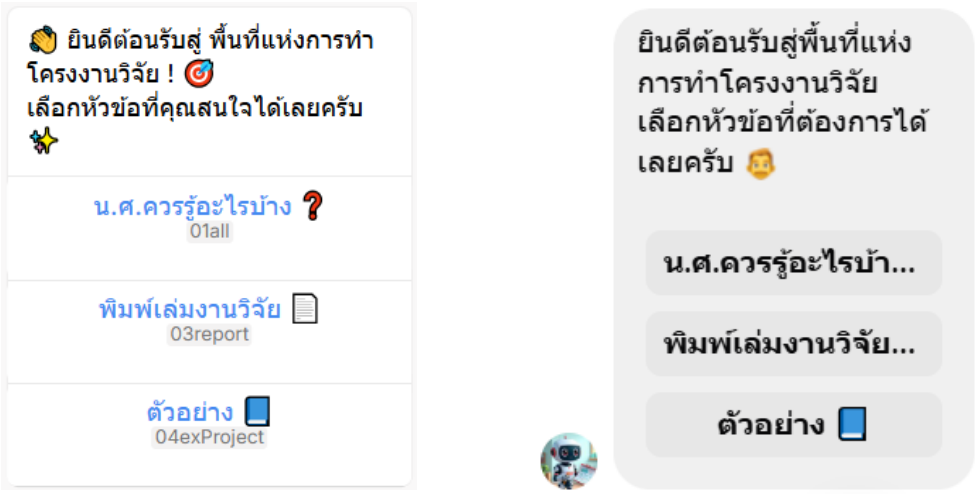
Figure 4 Chatfuel platform displays Welcome Message

แสดงหน้าจอข้อความต้อนรับของแชทบอทใน Figure 5 แสดงหน้าจอเมนูหลักของแชทบอทใน Figure 6 และแสดงหน้าจอรายละเอียดการจัดทำปกนอก พร้อมคำอธิบายและตัวอย่างใน Figure 7



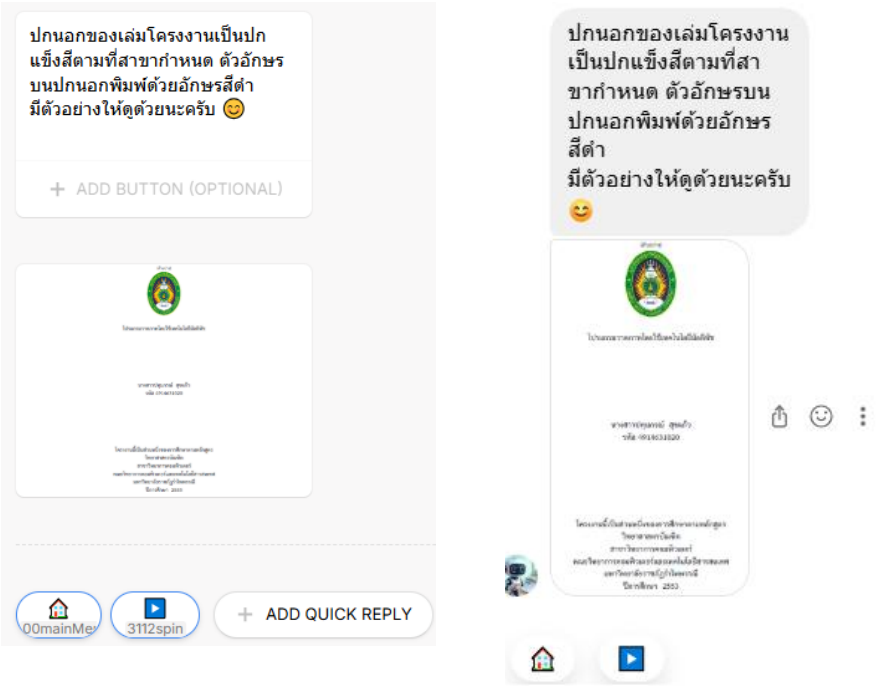
Design view Live View

Figure 5 Chatbot welcome message screen



Design view Live View

Figure 6 Chatbot main menu screen



Design view Live View

Figure 7 Screen showing details of the outer cover

4. ขั้นการทดลอง (Implementation) ในขั้นตอนนี้ประกอบด้วย 2 ส่วนสำคัญ ได้แก่ การตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ และการประเมินประสิทธิภาพแชทบอทโดยผู้เชี่ยวชาญ

การตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ (Instrument Validation) ก่อนการเก็บข้อมูลจริง คณะผู้วิจัยได้นำเครื่องมือฉบับร่าง ซึ่งประกอบด้วยแบบประเมินประสิทธิภาพแชทบอท และแบบประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ ไปให้ผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีสารสนเทศจำนวน 2 ท่าน ตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity)

ผู้เชี่ยวชาญทั้งสองท่านเป็นคณาจารย์ประจำคณะฯ ประกอบด้วยผู้ช่วยศาสตราจารย์ 1 ท่าน และอาจารย์ 1 ท่าน ซึ่งมีประสบการณ์การสอนและประสบการณ์ตรงในการให้คำปรึกษาโครงการวิจัยของนักศึกษามากกว่า 10 ปี

ผลการคำนวณค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) พบว่าแบบประเมินทั้งสองฉบับ มีค่า IOC อยู่ระหว่าง 0.50 ถึง 1.00 ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน (IOC ≥ 0.5) แสดงว่ามีความเที่ยงตรงและสามารถนำไปใช้เก็บข้อมูลจริงได้

แม้ว่าการตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือจะดำเนินการโดยผู้เชี่ยวชาญ 2 ท่าน ซึ่งถือว่าเพียงพอตามเกณฑ์ขั้นต่ำ แต่ตามแนวปฏิบัติมาตรฐานของงานวิจัยด้านเทคโนโลยีการศึกษา มักแนะนำให้ใช้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3–5 ท่าน เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของดัชนีความตรงเชิงเนื้อหา ดังนั้น จำนวนผู้เชี่ยวชาญที่จำกัดในงานวิจัยนี้จึงถือเป็นข้อจำกัดที่ควรพิจารณาในการพัฒนางานวิจัยในครั้งต่อไป

การประเมินประสิทธิภาพโดยผู้เชี่ยวชาญ หลังจากตรวจสอบเครื่องมือแล้ว คณะผู้วิจัยได้นำแชทบอทไปให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินประสิทธิภาพ ผลการประเมินดังแสดงใน Table 1

Table 1 Chatbot Quality Assessment Results for Information Technology Professionals

Evaluation Items	Experts		Mean	S.D.
	1	2		
1. Content				
1.1 Consistency between questions and answers.	4	4	4.00	0.00
1.2 The text used can be understood by users.	4	5	4.50	0.71
1.3 Appropriateness of the presentation sequence.	4	4	4.00	0.00
1.4 Appropriateness of the content to users.	4	4	4.00	0.00
	Overall Content		4.13	0.35
2. Presentation				
2.1 Ease of use.	4	5	4.50	0.71
2.2 Appropriateness of symbols used with text.	4	4	4.00	0.00
2.3 Appropriateness of interaction between chatbot and user.	3	4	3.50	0.71
2.4 Interest and engaging content.	3	4	3.50	0.71
	Overall Presentation		3.88	0.64
		Total	4.00	0.58

ผลการประเมินใน Table 1 พบว่าแชทบอทได้รับคะแนนประเมินคุณภาพโดยรวมอยู่ในระดับดี (ค่าเฉลี่ย = 4.00, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 0.58)

5. ขั้นประเมินผล (Evaluation) คณะผู้วิจัยนำแชทบอทไปทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่างซึ่งเป็นนักศึกษาคณะวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จำนวน 20 คน ข้อมูลที่ได้ถูกนำมาวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่อประเมินประสิทธิภาพและความพึงพอใจของผู้ใช้ จากนั้นจึงสรุปผลการศึกษาและจัดทำรายงานวิจัยพร้อมคู่มือประกอบการใช้งาน

การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิเคราะห์ผลการวัดความคิดเห็นของผู้ใช้ระบบและประเมินคุณภาพแชทบอท ใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) โดยกำหนดเกณฑ์การประเมินแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ (Rating Scale) ตามวิธีของลิเคิร์ท (Likert) ดังนี้

ค่าเฉลี่ย 4.50 – 5.00 หมายถึง มีความคิดเห็นในระดับมากที่สุด

ค่าเฉลี่ย 3.50 – 4.49 หมายถึง มีความคิดเห็นในระดับมาก

ค่าเฉลี่ย 2.50 – 3.49 หมายถึง มีความคิดเห็นในระดับปานกลาง

ค่าเฉลี่ย 1.50 – 2.49 หมายถึง มีความคิดเห็นในระดับน้อย

ค่าเฉลี่ย 1.00 – 1.49 หมายถึง มีความคิดเห็นในระดับน้อยที่สุด

Results

ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้แชทบอท แสดงได้ใน Table 2

Table 2 Chatbot user satisfaction assessment results

Evaluation Items	Mean	S.D.	Level
1. Content			
1.1 Consistency between questions and answers.	3.70	0.98	High
1.2 The text used can be understood by users.	3.85	1.04	High
1.3 Content appropriateness to users.	3.85	0.99	High
Overall Content	3.80	0.98	High
2. Service			
2.1 The chatbot is user–friendly and easy to understand.	3.80	1.00	High
2.2 The chatbot provides quick and convenient information about the research project.	3.75	0.97	High
2.3 Overall satisfaction with the chatbot.	3.90	1.02	High
Overall Service	3.82	0.97	High
3. Benefits			
3.1 The information obtained from the chatbot is reliable and accurate.	3.75	0.79	High
3.2 The chatbot effectively increases knowledge about the research project.	3.85	0.81	High
3.3 The results obtained from the chatbot meet the needs of the users.	3.90	0.97	High
Overall Benefits	3.83	0.84	High
Total	**3.81**	**0.93**	**High**

จาก Table 2 สรุปได้ว่าความพึงพอใจโดยรวมของผู้ใช้แชทบอทอยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย = 3.81, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 0.93) โดยด้านประโยชน์ที่ได้รับมีคะแนนสูงสุด (ค่าเฉลี่ย = 3.83, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 0.84) รองลงมาคือด้านการให้บริการ (ค่าเฉลี่ย = 3.82, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 0.97) และด้านเนื้อหาได้รับคะแนนเฉลี่ยต่ำสุด (ค่าเฉลี่ย = 3.80, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 0.98)

การวิเคราะห์เชิงคุณภาพจากข้อเสนอแนะปลายเปิด นอกจากข้อมูลเชิงปริมาณแล้ว คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ (Qualitative Analysis) กับข้อเสนอแนะปลายเปิดจากกลุ่มตัวอย่าง เพื่อเจาะลึกถึงสาเหตุและบริบทของคะแนนประเมิน โดยจำแนกประเด็นสำคัญออกเป็น 2 ประเด็นหลัก ดังนี้

1. ปัญหาด้านการนำทางในระบบเมนู ข้อเสนอแนะในกลุ่มนี้ชี้ให้เห็นถึงความยากลำบากในการค้นหาและเข้าถึงเนื้อหาที่ต้องการภายในแชทบอท ตัวอย่างข้อความจากผู้ใช้ เช่น "ไม่รู้ว่าอันไหนคืออันที่เราต้องการ" และ "ใช้ง่ายจริง แต่หาเมนูไม่เจอ" ข้อเสนอแนะเหล่านี้ชี้ให้เห็นว่าแม้แชทบอทจะมีเนื้อหาครบถ้วน 91 บล็อก แต่การออกแบบโครงสร้างเมนูและการนำทางยังไม่เอื้อต่อการค้นหาข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสอดคล้องกับผลการประเมินเชิงปริมาณที่ด้านเนื้อหาได้รับคะแนนเฉลี่ยต่ำที่สุด (3.80) ว่ามีสาเหตุมาจากอุปสรรคในการเข้าถึงมากกว่าคุณภาพของตัวเนื้อหาเอง

2. ความต้องการการโต้ตอบแบบอิสระ ข้อเสนอแนะในกลุ่มนี้แสดงถึงความคาดหวังของผู้ใช้ยุคใหม่ที่ต้องการประสบการณ์การใช้งานที่ยืดหยุ่นและเป็นธรรมชาติมากขึ้น ตัวอย่างที่ชัดเจนคือข้อความ "อยากให้ง่ายเหมือนส่งแชท" ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผู้ใช้ต้องการความสามารถในการป้อนคำถามแบบอิสระด้วยภาษาธรรมชาติ แทนการเลือกตอบเพียงจากเมนูที่กำหนดไว้ล่วงหน้า ข้อเสนอแนะนี้ชี้ให้เห็นถึงข้อจำกัดโดยธรรมชาติของแชทบอทแบบอิงกฎ และแสดงถึงความต้องการระบบที่สามารถเข้าใจและตอบสนองต่อการสนทนาแบบเปิดได้มากขึ้นในอนาคต

การวิเคราะห์เชิงคุณภาพครั้งนี้ไม่เพียงช่วยอธิบายผลคะแนนเชิงปริมาณ แต่ยังให้ข้อมูลเชิงลึกที่มีคุณค่าสำหรับการออกแบบและพัฒนาแชทบอทในระยะต่อไป โดยเฉพาะความจำเป็นในการปรับปรุงการนำทางและการพัฒนาสู่ระบบที่มีความยืดหยุ่นมากขึ้น (Hybrid Model)

Conclusion and Discussion

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและประเมินแชทบอทโดยใช้แนวทางพัฒนาแบบอิงกฎ ผลการประเมินความพึงพอใจโดยรวมอยู่ใน ระดับมาก (3.81) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแนวทางกฎเกณฑ์ตายตัวที่เรียบง่าย สามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ในระดับที่น่าพึงพอใจ ผลความพึงพอใจในระดับสูงนี้สอดคล้องกับแนวคิดทฤษฎีการยอมรับเทคโนโลยี (Technology Acceptance Model : TAM) (Davis, 1989) เนื่องจากผู้ใช้รับรู้ถึงประโยชน์ใช้สอย (Perceived Usefulness) จากการได้รับคำแนะนำที่ถูกต้องตามมาตรฐาน และรับรู้ถึงความง่ายในการใช้ (Perceived Ease of Use) จากระบบเมนูที่ตรงไปตรงมา

เมื่อพิจารณารายด้าน พบประเด็นที่น่าสนใจว่าด้านเนื้อหาได้คะแนนเฉลี่ยต่ำสุด (3.80) ซึ่งสอดคล้องกับข้อเสนอแนะปลายเปิดที่ว่า "ไม่รู้ว่าอันไหนคืออันที่เราต้องการ" และ "ใช้ง่ายจริง แต่หาเมนูไม่เจอ" ประเด็นนี้สามารถอภิปรายได้โดยใช้หลักการออกแบบเพื่อความใช้งานได้ (Usability Heuristics) ของ Nielsen (1994) โดยเฉพาะหลักการการมองเห็นสถานะระบบ (Visibility of System Status) และ การจดจำมากกว่าการเรียกคืน (Recognition Rather than Recall) ซึ่งชี้ให้เห็นว่าผู้ใช้ต้องการโครงสร้างเมนูที่มองเห็นได้ชัดเจนและลดภาระในการจดจำเส้นทางการเข้าถึงข้อมูล จึงสรุปได้ว่าคะแนนที่ต่ำในด้านเนื้อหา ไม่ได้เกิดจากคุณภาพของเนื้อหาไม่ถูกต้อง แต่เกิดจากข้อจำกัดด้านการออกแบบการนำทาง (Navigation Design) ที่ทำให้ผู้ใช้เข้าถึงเนื้อหาที่ซ่อนอยู่ใน 91 บล็อกได้ยาก

ผลลัพธ์ความพึงพอใจโดยรวมที่อยู่ในระดับมาก (3.81) สอดคล้องกับงานวิจัยในอดีต เช่น งานของนฤทธิ์ตา สุดสงวน และศักดิ์ชาย ตั้งวรรณวิทย์ (Sudsanguan & Tangwanwit, 2023) ที่พบว่าแชทบอทช่วยลดภาระงานบริการทั่วไปได้ดี แต่สิ่งที่งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างชัดเจน คือ จุดแข็งของแชทบอทแบบอิงกฎในการแก้ปัญหาเฉพาะทาง อย่างการจัดรูปแบบรายงานวิจัย ความสำเร็จของแชทบอทต้นแบบนี้อยู่ที่ความถูกต้องแม่นยำในการให้คำแนะนำตามมาตรฐานที่กำหนด ซึ่งระบบปัญญาประดิษฐ์ทั่วไปอาจมีความเสี่ยงต่อการให้คำตอบที่คลาดเคลื่อนในบริบทที่ต้องการความแม่นยำสูงเช่นนี้

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ก็เผยให้เห็นข้อจำกัดของแนวทางแบบอิงกฎ จากข้อเสนอแนะที่ผู้ใช้ระบุว่า "อยากให้ง่ายเหมือนส่งแชท" สะท้อนให้เห็นถึงความคาดหวังในประสบการณ์ผู้ใช้ (User Experience) ยุคใหม่ ที่ต้องการการโต้ตอบที่ยืดหยุ่นและเป็นธรรมชาติ (Conversational Interaction) มากกว่าการกดเลือกเมนู ซึ่งเป็นจุดอ่อนสำคัญที่ระบบปัจจุบันยังไม่สามารถตอบสนองได้

นอกจากข้อจำกัดด้านเทคโนโลยีแล้ว การวิจัยนี้ยังมีข้อควรพิจารณาในเรื่องขนาดกลุ่มตัวอย่าง (n = 20) ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 20 ของประชากร แม้ว่าขนาดกลุ่มตัวอย่างดังกล่าวจะเหมาะสมสำหรับการประเมินความพึงพอใจและการทดสอบการใช้งานเบื้องต้น (Usability Testing) ตามมาตรฐานการประเมินระบบสารสนเทศ แต่การนำผลวิจัยไปสรุปอ้างอิงกับประชากรกลุ่มใหญ่หรือบริบทอื่น (Generalizability) ควรทำด้วยความระมัดระวัง เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของผลลัพธ์ในเชิงสถิติและการขยายผลในวงกว้าง งานวิจัยในอนาคตจึงควรพิจารณาเพิ่มขนาดกลุ่มตัวอย่างและขอบเขตการทดสอบให้หลากหลายยิ่งขึ้น

Suggestion

จากผลการอภิปรายข้างต้น คณะผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะเพื่อการปรับปรุงระบบและการวิจัยในอนาคต ดังนี้

1. ข้อเสนอแนะด้านการออกแบบระบบ เพื่อแก้ไขปัญหาการค้นหาเนื้อหา การพัฒนาระยะต่อไปควรปรับปรุงการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้ เช่น การเพิ่มฟังก์ชันค้นหา หรือการจัดกลุ่มเมนูใหม่ให้เข้าถึง 91 บล็อกได้ง่ายขึ้น

2. ข้อเสนอแนะด้านเทคโนโลยี เพื่อก้าวข้ามข้อจำกัดของความไม่ยืดหยุ่น ควรพัฒนาระบบสู่รูปแบบไฮบริด (Hybrid Model) โดยการผสานจุดแข็งของระบบอิงกฎที่ให้คำตอบถูกต้องแม่นยำ เข้ากับความสามารถของโมเดลภาษาขนาดใหญ่ (LLM) ในการประมวลผลภาษาธรรมชาติ เพื่อให้ระบบสามารถเข้าใจคำถามแบบพิมพ์เองได้

3. ข้อเสนอแนะด้านความน่าเชื่อถือของเครื่องมือ ในการวิจัยครั้งต่อไป ควรเพิ่มจำนวนผู้เชี่ยวชาญในการตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือและประเมินระบบให้เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานสากล เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือทางสถิติและความเที่ยงตรงของผลการประเมินให้ดียิ่งขึ้น

4. ข้อเสนอแนะด้านระเบียบวิธีวิจัย ควรขยายขนาดกลุ่มตัวอย่างและความหลากหลายของประชากร เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือทางสถิติและขยายผลการวิจัยไปยังบริบทที่กว้างขึ้น

References

Adamopoulou, E., & Moussiades, L. (2020). Chatbots: History, technology, and applications. *Machine Learning with Applications, 2*, 100006. Form https://doi.org/10.1016/j.mlwa.2020.100006

Butsabok, S., Phetphong, N., & Singtokaew, J. (2020). Development of a chatbot application for student services: A case study of the student development division, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi. *RMUTT Research Journal, 19(2)*, 85–94. (in Thai)

Chaatpreecha, P., & Uttamasirisoni, C. (2024). Development of an intelligent chatbot prototype for undergraduate student counseling. *Thonburi University Journal of Science and Technology, 8(1)*, 28–43. (in Thai)

Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly, 13*(3), 319–340.

Nielsen, J. (1994). Enhancing the explanatory power of usability heuristics. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 152–158). https://doi.org/10.1145/191666.191729

Punpiboon, W. (2019). *Doing research beyond academics*. From https://dcc.wu.ac.th/2019/10/21/รศ-ดร-วรวรรณ-พันพิบูลย์-ก/. (in Thai)

Sudsanguan, N., & Tangwanwit, S. (2023). The development of a chatbot for university news and information communication. *Journal of Information Technology Application, 9(2)*, 97–110. (in Thai)

การประยุกต์ใช้การเรียนรู้เชิงลึกและการประมาณค่าความหนาแน่นแบบเคอร์เนลเพื่อระบุพื้นที่วิกฤต: กรณีศึกษาการจัดการการท่องเที่ยวอย่างยั่งยืนในภาคเหนือ

ทบทอง ชั้นเจริญ[1*], สุวิชยะ รัตตะรมย์[2], ทวีศักดิ์ สัมมา[1] และ ภูมิพัฒน์ อุ่นบ้าน[1]

Deep Learning and Kernel Density Estimation for Critical Area Identification: A Sustainable Tourism Management Case Study in Northern Thailand

Tobthong Chancharoen[1*], Suwitchaya Rattarom[2], Taweesak Samma[1] and Phummipat Oonban[1]

[1] Geoinformatics Program, Faculty of Computer Science and Information Technology, Rambhai Barni Rajabhat University, Chanthaburi, 22000

[2] Computer Science Program, Faculty of Computer Science and Information Technology, Rambhai Barni Rajabhat University, Chanthaburi, 22000

[*] Corresponding author: tobthong.c@rbru.ac.th

Received: 8 December 2025; Revised: 27 January 2026; Accepted: 20 April 2026

บทคัดย่อ

การท่องเที่ยวในภาคเหนือของไทยมีความสำคัญเชิงยุทธศาสตร์ต่อเศรษฐกิจภูมิภาค แต่การจัดการเพื่อความยั่งยืนยังคงเป็นความท้าทายสำคัญ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยความไม่พึงพอใจของนักท่องเที่ยวต่างชาติต่อแหล่งท่องเที่ยวทางธรรมชาติในภาคเหนือ โดยรวบรวมบทวิจารณ์ 8,193 บทวิจารณ์ จาก TripAdvisor (พ.ศ. 2557–2566)

การศึกษานี้สร้างแนวทางใหม่ โดยการบูรณาการแบบจำลอง BERT-based Deep Learning เพื่อจำแนกความรู้สึกเชิงลบ ซึ่งเป็นเป้าหมายหลักของการวิเคราะห์ โดยแบบจำลองให้ค่าความแม่นยำ (Precision) สูงถึงร้อยละ 87 ในการระบุกลุ่มข้อมูลเชิงลบ จากนั้นประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ N-Gram เพื่อจัดกลุ่มประเด็นปัญหา และเทคนิค Kernel Density Estimation (KDE) ด้วยแบนด์วิดท์ (*h*) 0.3 กม. เพื่อเปลี่ยนข้อมูลข้อความ (Textual data) ให้กลายเป็นพื้นผิวความหนาแน่นเชิงพื้นที่ (Density surface) ที่ระบุพิกัดวิกฤตได้อย่างแม่นยำ

ผลการศึกษาพบว่าปัจจัยหลักที่ขับเคลื่อนความไม่พึงพอใจคือ ความคุ้มค่าและราคา (Value & Pricing) โดยมีหลักฐานเชิงประจักษ์จากกวลี 'not worth' (83 ครั้ง) และข้อร้องเรียนเรื่องราคาค่าเข้าชมสูง (‘300 บาท’) ซึ่งมีความสัมพันธ์เชิงพื้นที่สอดคล้องกับปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมและการบำรุงรักษา (เช่น 'no water' และ 'dirty') โดยพื้นที่วิกฤต (Hotspots) กระจุกตัวอย่างเข้มข้นในบริเวณอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ และอำเภอปาย จังหวัดแม่ฮ่องสอน

ผลลัพธ์จากการระบุ Hotspot นี้ทำหน้าที่เป็น ข้อมูลเชิงลึกเชิงพื้นที่ (Actionable Spatial Insights) ที่ช่วยสนับสนุนหน่วยงานภาครัฐในการตัดสินใจเชิงนโยบายอย่างตรงจุด ทั้งการทบทวนโครงสร้างค่าธรรมเนียมให้สอดคล้องกับคุณค่า และการจัดการขีดความสามารถในการรองรับนักท่องเที่ยว (Carrying Capacity) ในระดับท้องถิ่นเพื่อยกระดับความยั่งยืนของการท่องเที่ยวในพื้นที่วิกฤตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: การวิเคราะห์ความรู้สึก, BERT, การประมาณค่าความหนาแน่นแบบเคอร์เนล, ภาคเหนือของประเทศไทย, นโยบายการท่องเที่ยวอย่างยั่งยืน

---

[1] สาขาวิชาภูมิสารสนเทศ คณะวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จังหวัดจันทบุรี 22000

[2] สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จังหวัดจันทบุรี 22000

Abstract

Tourism in Northern Thailand is a strategic pillar of the regional economy, yet managing its sustainability remains a critical challenge. This research aims to analyze the factors driving dissatisfaction among international tourists toward natural attractions in Northern Thailand. A dataset of 8,193 reviews was collected from TripAdvisor, spanning a ten–year period from 2014 to 2023.

This study presents an academic contribution by integrating a BERT–based Deep Learning model to classify negative sentiments—the primary focus of this analysis. The model achieved a high precision of 87% in identifying negative class data. Subsequently, N–Gram Analysis was employed for issue clustering, and Kernel Density Estimation (KDE) with a bandwidth (h) of 0.3 km was applied to transform textual data into a continuous spatial density surface, enabling the precise identification of dissatisfaction hotspots.

The findings reveal that the primary driver of dissatisfaction is Value & Pricing, evidenced by the prevalence of the phrase 'not worth' (83 mentions) and specific complaints regarding high entry fees (e.g., '300 baht'). These issues are spatially correlated with environmental and maintenance concerns (e.g., 'no water' and 'dirty'). Negative hotspots are intensely concentrated in key locations, notably Doi Inthanon National Park and Pai District in Mae Hong Son Province.

The results provide actionable spatial insights to support government agencies in targeted policymaking. By identifying these crisis zones, the study facilitates informed decisions on revising entry fee structures and managing tourist carrying capacity within hotspots to enhance the long–term sustainability of Northern Thailand's natural tourism.

Keywords: Sentiment Analysis, BERT, Kernel Density Estimation (KDE), Northern Thailand, Sustainable Tourism Policy

Introduction

ภาคเหนือของประเทศไทยเป็นหนึ่งในเสาหลักของการท่องเที่ยวของประเทศ โดยมีบทบาทสำคัญในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจในระดับภูมิภาค แหล่งท่องเที่ยวทางธรรมชาติ เช่น อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ (เชียงใหม่) และปายแคนยอน (แม่ฮ่องสอน) ดึงดูดนักท่องเที่ยวต่างชาติจำนวนมากด้วยทัศนียภาพภูเขาที่สวยงาม ภูมิอากาศที่เย็นสบาย และความหลากหลายทางชีวภาพ (Ministry of Tourism and Sports, 2016; 2020; 2023) อย่างไรก็ตาม ความสำเร็จด้านจำนวนนักท่องเที่ยวมาพร้อมกับความท้าทายที่เร่งด่วน โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาด้าน ความยั่งยืน ซึ่งรวมถึงการเสื่อมโทรมของทรัพยากรธรรมชาติ ปัญหาความแออัด (Overcrowding) ในช่วงฤดูท่องเที่ยว และปัญหาคุณภาพอากาศและมลภาวะที่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อประสบการณ์ของนักท่องเที่ยว (Secretariat of Cabinet, 2011; Ministry of Tourism and Sports, 2016;)

ในยุคปัจจุบัน สื่อออนไลน์ได้กลายเป็นช่องทางหลักที่นักท่องเที่ยวใช้ในการค้นคว้าข้อมูลและแบ่งปันประสบการณ์การเดินทาง (Cui & He, 2019; Lassen et al., 2014; Ministry of Tourism and Sports, 2021) แพลตฟอร์มอย่าง TripAdvisor ถือเป็นแหล่งข้อมูลขนาดใหญ่ที่รวบรวมความคิดเห็นแบบเรียลไทม์ ซึ่งรู้จักกันในชื่อ Electronic Word–of–Mouth (eWOM) (Li et al., 2017; Valdivia et al., 2017; Donthu et al., 2021) ข้อมูลเหล่านี้เป็นตัวชี้วัดที่ทรงคุณค่าและสะท้อนถึงพฤติกรรมและความพึงพอใจของนักท่องเที่ยวต่อคุณภาพของแหล่งท่องเที่ยวและบริการได้อย่างตรงไปตรงมา (Phithakkitnukoon, 2023; Ministry of Tourism and Sports, 2024) การวิเคราะห์ข้อมูลข้อความปริมาณมหาศาลนี้จึงเป็นโอกาสสำคัญในการทำความเข้าใจความต้องการและปัญหาที่แท้จริง

การจัดการและตีความข้อมูลข้อความขนาดใหญ่นี้ต้องอาศัยเทคนิคที่ซับซ้อน เช่น การวิเคราะห์ความรู้สึก (Sentiment Analysis) หรือการทำเหมืองความคิดเห็น (Opinion Mining) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการประมวลผลภาษาธรรมชาติ (Natural Language Processing – NLP) (Alaei et al., 2017; Sarker, 2021) งานวิจัยนี้เลือกใช้แบบจำลอง BERT-based Deep Learning (Pérez et al., 2024) เนื่องจากประสิทธิภาพที่เหนือกว่าในการทำความเข้าใจบริบท (Contextual Understanding) และการตีความอารมณ์ที่แฝงอยู่ในภาษาบทวิจารณ์การท่องเที่ยวซึ่งมักมีความซับซ้อนและกำกวม (Devlin et al., 2018; Yuan, 2024) เทคนิคนี้ไม่เพียงช่วยจำแนกขั้วอารมณ์ได้แม่นยำ แต่ยังช่วยระบุประเด็นปัญหาเฉพาะเจาะจง (Aspect-based issues) ที่ส่งผลต่อความไม่พึงพอใจได้อีกด้วย (Hashim et al., 2020)

อย่างไรก็ตาม แม้จะมีการนำการวิเคราะห์ความรู้สึกมาใช้ในบริบทการท่องเที่ยวไทยบ้างแล้ว แต่ส่วนใหญ่ยังคงมุ่งเน้นเพียงการจำแนกความรู้สึกโดยรวมในระดับมหาภาค (Kuhamanee, 2017; Leelawat, 2022) ช่องว่างงานวิจัย (Research Gap) ที่สำคัญคือ (1) การวิเคราะห์เชิงเนื้อหาแบบลงลึก (Aspect-Based) เพื่อระบุประเด็นปัญหา และ 2) ขาดการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ (Spatial Analysis) ที่เชื่อมโยงประเด็นปัญหาเข้ากับตำแหน่งทางภูมิศาสตร์อย่างชัดเจน ทำให้ยากต่อการกำหนดมาตรการแก้ไขที่ตรงจุด

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งปิดช่องว่างดังกล่าว โดยการนำเทคนิค Deep Learning ที่มีความแม่นยำสูง มาบูรณาการร่วมกับการวิเคราะห์ความหนาแน่นเชิงพื้นที่ด้วย Kernel Density Estimation (KDE) เพื่อเปลี่ยนข้อมูลความไม่พึงพอใจเชิงคุณภาพให้กลายเป็นพิกัดพื้นที่วิกฤต (Hotspots) ผลการวิจัยจะนำไปสู่ข้อเสนอแนะเชิงนโยบายที่เน้นการจัดสรรทรัพยากรและการจัดการความยั่งยืนในพื้นที่เป้าหมายได้อย่างมีประสิทธิภาพและแม่นยำยิ่งขึ้น

Objectives

1. เพื่อประเมินและจำแนกความรู้สึก (Sentiment Classification) ของนักท่องเที่ยวต่างชาติต่อแหล่งท่องเที่ยวทางธรรมชาติในภาคเหนือเชิงปริมาณ โดยเน้นประสิทธิภาพของแบบจำลองในการระบุความไม่พึงพอใจ

2. เพื่อระบุประเด็นปัญหาเฉพาะเจาะจง (Thematic Issues) และคำสำคัญเชิงบริบทที่สะท้อนถึงสาเหตุของความไม่พึงพอใจผ่านการวิเคราะห์ N-Gram ในข้อมูลระดับมหาภาค

3. เพื่อวิเคราะห์การกระจายตัวและความเข้มข้นเชิงพื้นที่ (Spatial Hotspots) ของความไม่พึงพอใจโดยใช้เทคนิค Kernel Density Estimation (KDE) เพื่อเป็นข้อมูลสนับสนุนการตัดสินใจเชิงนโยบายและการวางแผนเชิงพื้นที่อย่างยั่งยืน

Methodology

วิธีการวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ การรวบรวมข้อมูล การประมวลผลล่วงหน้าและการเข้ารหัสเชิงพื้นที่ การวิเคราะห์ความรู้สึกเชิงปริมาณ การวิเคราะห์เชิงเนื้อหาด้วย N-Gram และ การวิเคราะห์เชิงพื้นที่ด้วย Kernel Density Estimation (KDE) โดยมีกรอบการทำงานแสดงดัง Figure 1

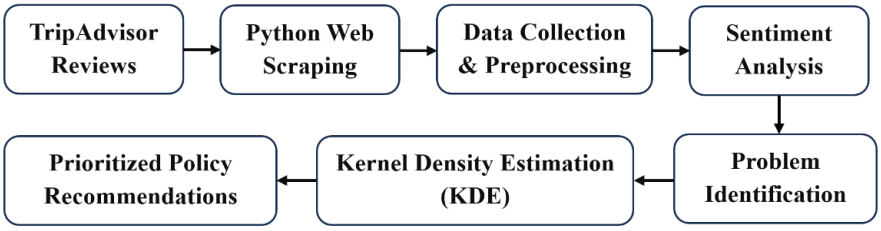


Figure 1 Research framework: Integration of deep learning and geospatial analysis

1. Data collection

ข้อมูลบทวิจารณ์รวมทั้งพิกัดทางภูมิศาสตร์ถูกรวบรวมจากแพลตฟอร์ม TripAdvisor ซึ่งเป็นแหล่งข้อมูล Electronic Word-of-Mouth (eWOM) ที่น่าเชื่อถือ (Jeacle & Carter, 2011; Filieri et al., 2015; Valdivia et al., 2017) โดยมีขอบเขตการรวบรวมเฉพาะแหล่งท่องเที่ยวทางธรรมชาติใน 9 จังหวัดภาคเหนือของประเทศไทย ได้แก่ เชียงราย เชียงใหม่ น่าน พะเยา แพร่ แม่ฮ่องสอน ลำปาง ลำพูน และ อุตรดิตถ์ (Figure 2) ข้อมูลที่รวบรวมประกอบด้วย: ชื่อสถานที่ ประเภทของแหล่งท่องเที่ยว วันที่ หัวข้อ บทวิจารณ์ (ภาษาอังกฤษ) และ พิกัดภูมิศาสตร์ (ละติจูด/ลองจิจูด) จำนวนบทวิจารณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์รวมทั้งสิ้น 8,193 บทวิจารณ์ ในช่วงปี พ.ศ. 2557 ถึง 2566 รวม 10 ปี

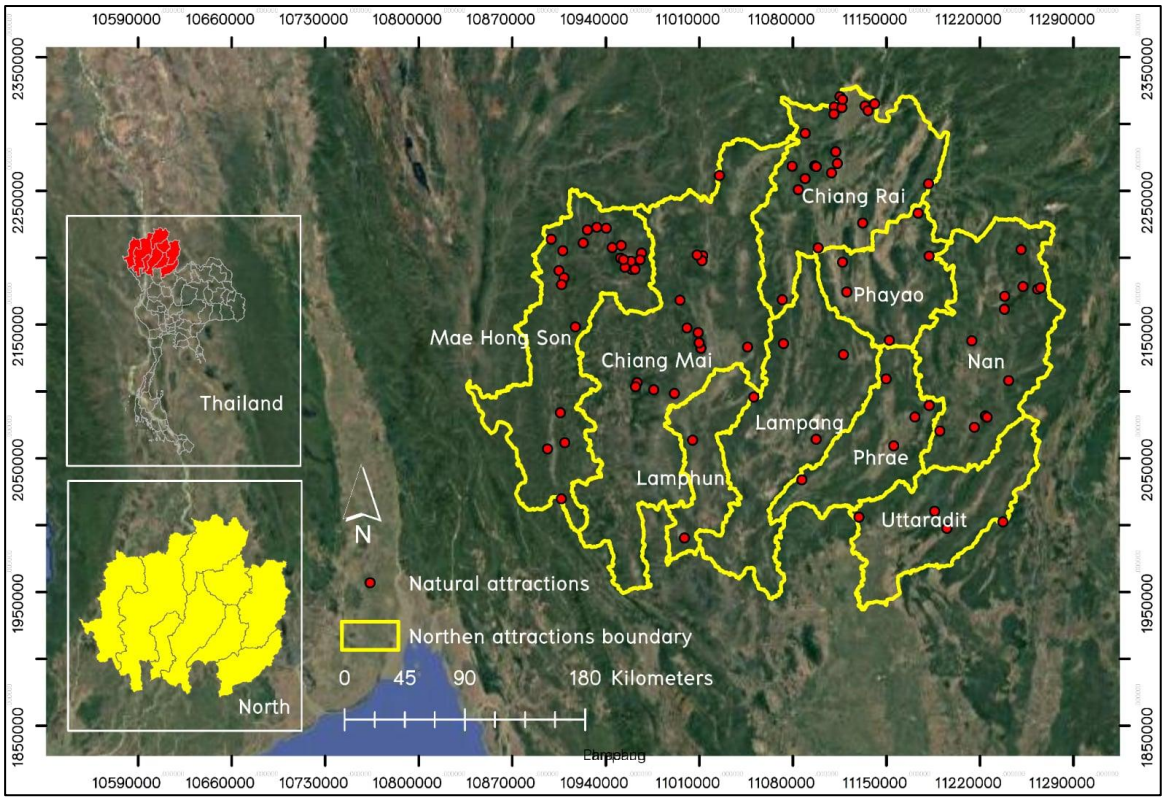


Figure 2 Study area map: natural attractions in Northern Thailand

ข้อมูล HTML ที่ไม่มีโครงสร้างจากหน้าเว็บจะถูกสกัด (Web scraping) ด้วย Python Libraries (Rossum, 1995) เช่น BeautifulSoup (Richardson, 2004) Pandas (McKinney, 2010) และ Selenium (Muthukadan, 2024) จะถูกจัดเก็บในฐานข้อมูลรูปแบบ csv

2. Preprocessing and geocoding

กรอบการทำเหมืองข้อความ (Text Mining) ของการศึกษานี้ดำเนินการตามลำดับขั้นตอนหลัก 3 ขั้นตอน ซึ่งเป็นการบูรณาการเทคนิค Deep Learning เข้ากับการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ (Geospatial Analysis):

2.1 การประมวลผลข้อความ: ทำความสะอาดข้อมูลข้อความ (Text Cleaning) โดยเริ่มจากการกำจัดอักขระพิเศษ (Special Characters) (Prabha & Srikanth, 2021) การลบ Stop-words (คำที่ไม่จำเป็น เช่น 'the', 'a') (Lima et al., 2021) และการปรับรูปแบบคำให้อยู่ในรูปแบบเดียวกัน (Lemmatization) (Ramadhani et al., 2021) และ แบ่งข้อความเป็นคำ (Tokenization)

2.2 การจำแนกประเภทบทวิจารณ์: บทวิจารณ์ทั้งหมดถูกแบ่งออกเป็น บทวิจารณ์เชิงบวก (Positive Reviews) เป็นกลาง (Neutral Reviews) และ เชิงลบ (Negative Reviews) (Pérez et al., 2024) โดยมีบทวิจารณ์เชิงลบจำนวน 640 บทวิจารณ์ ที่ถูกนำไปใช้ในการวิเคราะห์เชิงลึกต่อไป

2.3 การเข้ารหัสเชิงพื้นที่ (Geocoding): พิกัดภูมิศาสตร์ (ละติจูดและลองจิจูด) ของสถานที่ท่องเที่ยวแต่ละแห่งถูกใช้เป็นข้อมูลจุด (Point Features) เพื่อให้สามารถเชื่อมโยงข้อมูลข้อความเข้ากับตำแหน่งทางภูมิศาสตร์สำหรับการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ (Esri, 2021)

3. Quantitative sentiment analysis

การวิเคราะห์ความรู้สึกใช้แบบจำลอง Deep Learning (BERT-based Pysentimiento) ซึ่งได้รับการฝึกฝนมาเพื่อจำแนกความรู้สึกในข้อความอย่างมีประสิทธิภาพ แบบจำลองนี้ถูกใช้เพื่อการจำแนก และการประเมินความถูกต้อง ของการจำแนกกลุ่มบทวิจารณ์ทั้งหมด (Devlin et al., 2018; Pérez et al., 2024)

ในการประเมินประสิทธิภาพใช้ชุดข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญ 4,509 บทวิจารณ์: สำหรับฝึกฝนแบบจำลอง 3,607 บทวิจารณ์ (80%) ทดสอบแบบจำลอง 451 บทวิจารณ์ (10%) และประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง 451 บทวิจารณ์ (10%) ด้วยค่า Hyperparameter: Epochs (3, 4, 5), Batch (32) และ Learning Rate (2e-5 to 1e-4)

นอกจากนี้ เพื่อจัดการกับปัญหาความไม่สมดุลของข้อมูล (Imbalanced Data) ระหว่างความคิดเห็นเชิงบวกและเชิงลบ งานวิจัยนี้ได้ใช้เทคนิค Class Weighting ในขั้นตอนการฝึกฝนแบบจำลอง เพื่อกำหนดน้ำหนักความสำคัญให้กับกลุ่มข้อมูลที่มีจำนวนน้อย (Minority Class) และป้องกันอคติ (Bias) ในการทำนายของแบบจำลอง (Henning et al., 2023; Wu et al., 2024) รวมถึงใช้การวัดผลด้วยเมทริกซ์ความคลุมเครือ (Confusion Matrix) นอกเหนือการพิจารณาค่าความถูกต้องโดยรวม (Accuracy) เพียงอย่างเดียว และเพื่อยืนยันประสิทธิภาพในการจำแนกความคิดเห็นเชิงลบอย่างแม่นยำ งานวิจัยนี้จึงเน้นที่ผลการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองจากค่าความแม่นยำ (Precision) ในการจำแนกความคิดเห็นเชิงลบเป็นหลัก

Table 1 นอกจากการพิจารณาค่าความถูกต้องโดยรวม (Accuracy) เพื่อสะท้อนประสิทธิภาพของแบบจำลองในการระบุความคิดเห็นเชิงลบอย่างแม่นยำ งานวิจัยนี้จึงคำนวณค่าดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพตามสมการดังนี้: (Pleerux, 2023)

Table 1 The confusion matrix used to verify Pysentimiento analysis

Actual / Prediction	Positive	Neutral	Negative
Positive	*a*	*b*	*c*
Neutral	*d*	*e*	*f*
Negative	*g*	*h*	*i*

$$Precision_{negative} = \frac{i}{(c+f+i)} \quad \text{(Equation 1)}$$

$$Recall_{negative} = \frac{i}{(g+h+i)} \quad \text{(Equation 2)}$$

$$F1 - score_{negative} = 2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision+Recall} \quad \text{(Equation 3)}$$

$$A = \frac{a+e+i}{a+b+c+d+e+f+g+h+i} \quad \text{(Equation 4)}$$

4. Content analysis: N–Gram analysis

เพื่อระบุประเด็นปัญหาที่เฉพาะเจาะจง (Thematic Issues) ที่ผลักดันความไม่พึงพอใจ จึงทำการวิเคราะห์ N–Gram (Bird et al., 2009) เฉพาะในชุดข้อมูลบทวิจารณ์เชิงลบที่ได้รับการประมวลผลแล้ว การวิเคราะห์นี้มุ่งเน้นการค้นหาวลีหรือคำที่มีความถี่สูง (High Frequency Keywords) ที่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับประสบการณ์เชิงลบ จากนั้นจึงใช้การจัดกลุ่มหัวข้อโดยการตัดสินใจ (Manual Thematic Grouping) เพื่อจัดหมวดหมู่ปัญหาออกเป็นกลุ่มหลัก ได้แก่ I. ความคุ้มค่าและราคา (Value & Pricing) II. สิ่งแวดล้อมและการบำรุงรักษา (Environmental & Maintenance) และ III. การเข้าถึงและโครงสร้างพื้นฐาน (Accessibility & Infrastructure)

5. Spatial analysis: Kernel Density Estimation (KDE)

เพื่อจัดทำข้อมูลเชิงพื้นที่สำหรับการจัดการการท่องเที่ยว (Actionable Spatial Insights) การกระจายตัวทางภูมิศาสตร์ของความรู้สึกเชิงลบจึงถูกวิเคราะห์โดยใช้ Kernel Density Estimation (KDE) KDE เป็นวิธีการวิเคราะห์เชิงพื้นที่แบบไม่พารามิเตอร์ที่ใช้ประมาณการฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของข้อมูลจุด โดยเปลี่ยนจุดแยกส่วน (ตำแหน่งของสถานที่ท่องเที่ยวที่มีบทวิจารณ์เชิงลบ) ให้เป็นพื้นผิวต่อเนื่องที่แสดงความเข้มข้นทางภูมิศาสตร์ของปัญหา (Hotspots) (Rogel–Salazar, 2022)

ความหนาแน่นโดยประมาณ ณ ตำแหน่ง x คำนวณได้โดยใช้ Equation 5 (Mission, 2024):

$$\hat{f}(x) = \frac{1}{nh^2} \sum_{i=1}^{n} K\left(\frac{x-x_i}{h}\right) \quad \text{(Equation 5)}$$

โดยที่: $\hat{f}(x)$ คือ ความหนาแน่นโดยประมาณที่ตำแหน่ง x

n คือ จำนวนจุดสังเกตการวิจารณ์เชิงลบ

h คือ แบนด์วิดท์ (หรือพารามิเตอร์การปรับให้เรียบ) ซึ่งกำหนดรัศมีอิทธิพลรอบแต่ละจุด

K คือ ฟังก์ชันเคอร์เนล (ฟังก์ชันน้ำหนัก ซึ่งมักเป็นเคอร์เนลแบบเกาส์เซียนหรือควอร์ติก)

x_i คือ ตำแหน่งของการวิจารณ์เชิงลบครั้งที่ i

การตั้งค่าและการประยุกต์ใช้:

1. ข้อมูลนำเข้า: ใช้ข้อมูลพิกัดของบทวิจารณ์เชิงลบทั้งหมด โดยมีจำนวนบทวิจารณ์เชิงลบต่อสถานที่ ถูกใช้เป็น Population Field (Weight)

2. Bandwidth (*h*): พิจารณาจากลักษณะภูมิภาคทางกายภาพของแหล่งท่องเที่ยวภาคเหนือซึ่งมีลักษณะเป็นจุดท่องเที่ยวเฉพาะตัว (Discreet points) แบนด์วิดท์ (*h*) จึงถูกกำหนดที่ 0.3 กิโลเมตร เพื่อมุ่งเน้นการตรวจจับ Localized Clustering หรือการกระจุกตัวในระดับจุลภาค วิธีการนี้ช่วยรักษาความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ไม่ให้เกิดการกระจายตัวที่กว้างเกินไป (Over-smoothing) จนบดบังรายละเอียดความหนาแน่นในแต่ละจุดท่องเที่ยว ผลลัพธ์ที่ได้จึงมีความแม่นยำสูงในการระบุพิกัดวิกฤตเพื่อใช้ในการกำหนดเขตปฏิบัติการ (Action Zones) ในการบริหารจัดการพื้นที่

3. ซอฟต์แวร์: การวิเคราะห์ KDE ดำเนินการโดยใช้โปรแกรมประยุกต์ด้านภูมิสารสนเทส เช่น ArcGIS หรือ QGIS ผลลัพธ์ของ KDE คือแผนที่ความหนาแน่นที่เน้นย้ำภูมิภาคที่ความไม่พอใจของนักท่องเที่ยวมีความเข้มข้นสูงสุด ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการกำหนดนโยบายและข้อเสนอแนะในเชิงพื้นที่

Results

1. Overview and statistics of the data

ในการรวบรวมบทวิจารณ์ทั้งหมด 8,193 บทวิจารณ์ จากแหล่งท่องเที่ยวทางธรรมชาติใน 9 จังหวัดภาคเหนือ ผลการวิเคราะห์ความรู้สึกใน 3 ประเภท คือ ความคิดเห็นเชิงบวก เชิงลบ และเป็นกลาง โดยพบการกระจายตัวของความรู้สึกแสดงดัง Table 2 ผลการวิเคราะห์ยืนยันว่า บทวิจารณ์เชิงลบมีสัดส่วนร้อยละ 7.81 ของบทวิจารณ์ทั้งหมด ซึ่งเป็นชุดข้อมูลหลักที่ใช้ในการวิเคราะห์เชิงลึกเพื่อระบุประเด็นปัญหา

Table 2 The results of sentiment analysis of natural attractions in Northern Thailand

Sentiment Category	Number of Reviews	%
Positive	6,150	75.06
Neutral	1,403	17.12
Negative	640	7.81
Total	**8,193**	**100**

โดยผลการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองจากจำนวนบทวิจารณ์ทั้งหมด 451 บทวิจารณ์ เมทริกซ์ความคลุมเครือแสดงค่าความถูกต้องโดยรวม (Accuracy) ร้อยละ 76 และค่าความแม่นยำ (Precision) ของบทวิจารณ์เชิงลบร้อยละ 87 แสดงดัง Table 3

Table 3 Performance metrics of Pysentimiento model for sentiment classification

Actual / Prediction	Positive	Neutral	Negative	Recall	F1–score	Total
Positive	235	27	3	0.89	0.86	265
Neutral	29	33	8	0.47	0.42	70
Negative	15	26	75	0.66	0.74	116
Precision	0.84	0.38	0.87			
Accuracy					**0.76**	**451**

2. Thematic results from N–Gram analysis

การวิเคราะห์ N–Gram เฉพาะในชุดข้อมูลบทวิจารณ์เชิงลบจำนวน 640 บทวิจารณ์ ได้ระบุคำและวลีที่มีความถี่สูงสุด โดยสามารถจัดกลุ่มปัญหาหลักออกได้เป็น 3 หมวดหมู่ (Table 4) โดยกลุ่มปัญหาสิ่งแวดล้อมและการบำรุงรักษา มีความถี่ของคำที่รุนแรงและแสดงอารมณ์เชิงลบสูงที่สุดในชุดข้อมูล

Table 4 Thematic results of N–Gram analysis driving negative sentiment

Sentiment category	Representative keywords & N–Grams	Description of the main issues
I. Value & Pricing	not worth (83), 300 baht (28), entrance fee (35), per person (37), money (69)	Highest Driver of Dissatisfaction. The most frequent N–gram, "not worth" (83), serves as a conclusive judgment that the high cost (specifically the 300 baht entry fee) does not align with the perceived value of the experience.
II. Environmental & Maintenance	water (205), dirty (57), dry season (21), no water (11), smell bad	High Frequency of Physical Issues. The high frequency of descriptive terms like water and dirty indicates immediate, visible issues with cleanliness and poor maintenance. Seasonal factors (no water / dry season) heavily compound the negative experience.
III. Accessibility & Infrastructure	chiang mai (69), waste time (33), not recommend (31), too many people	Management and Travel–Related Issues. Long travel times to destinations (e.g., from chiang mai) were frequently evaluated as a waste of time, leading to explicit negative recommendations (not recommend), signaling issues with site management and capacity.

3. Spatial results from Kernel Density Estimation (KDE)

การประยุกต์ใช้ Kernel Density Estimation (KDE) กับพิกัดภูมิศาสตร์ของบทวิจารณ์เชิงลบทั้งหมด โดยใช้ Bandwidth (*h*) ที่ 0.3 กิโลเมตร แสดงให้เห็นการกระจุกตัวของความไม่พึงพอใจในภูมิภาค ดังแสดงในแผนที่ความหนาแน่นความรู้สึกเชิงลบ (Figure 3)

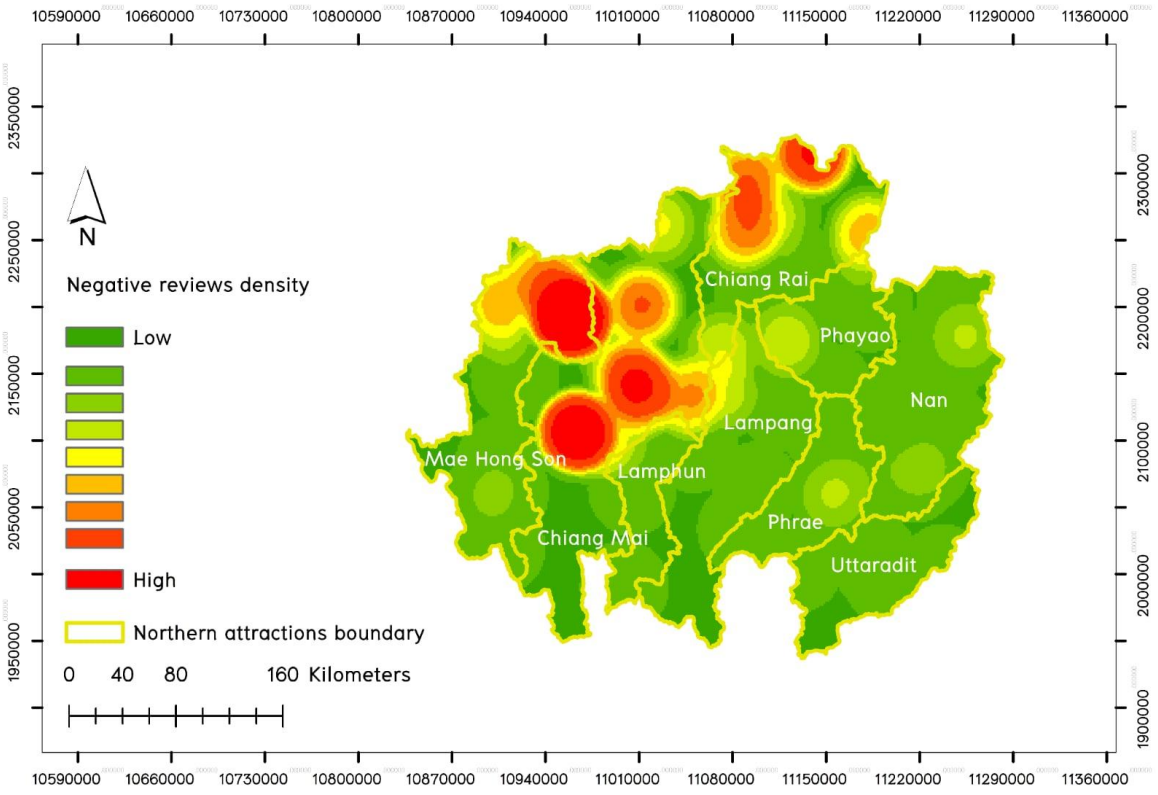


Figure 3 Kernel density map of negative reviews in Northern Thailand

ผลการวิเคราะห์ KDE ระบุการกระจุกตัวของความรู้สึกเชิงลบ (Hotspots) อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสะท้อนถึงพื้นที่ที่มีปัญหาการจัดการเชิงพื้นที่อย่างเข้มข้น ดังนี้:

- Hotspot A (ศูนย์กลางวิกฤต): พื้นที่อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ และดอยสุเทพ–ปุย จังหวัดเชียงใหม่ แสดงค่าความหนาแน่นสูงสุด ซึ่งสัมพันธ์กับจำนวนนักท่องเที่ยวที่หนาแน่นและความคาดหวังต่อบริการในระดับสูง
- Hotspot B (พื้นที่วิกฤตต่อเนื่อง): อำเภอปาย จังหวัดแม่ฮ่องสอน พบการกระจุกตัวของปัญหาในแหล่งท่องเที่ยวทางธรรมชาติหลายจุดที่อยู่ใกล้เคียงกัน สะท้อนถึงปัญหาในระดับ Clister ของแหล่งท่องเที่ยว
- Hotspot C (พื้นที่เฝ้าระวัง): บริเวณสามเหลี่ยมทองคำ จังหวัดเชียงราย แม้จะมีค่าความหนาแน่นรองลงมา แต่ยังคงเป็นจุดยุทธศาสตร์ที่ต้องการการปรับปรุงคุณภาพบริการเฉพาะจุด

Conclusion and Discussion

1. Interpretation of quantitative and thematic results

ผลการวิเคราะห์ความรู้สึกที่มีสัดส่วนบทวิจารณ์เชิงลบถึงร้อยละ 7.81 ชี้ให้เห็นว่าแม้ภาคเหนือจะยังคงเป็นที่นิยม แต่ปัญหาที่สะสมอยู่เริ่มส่งผลกระทบต่อความพึงพอใจโดยรวมของนักท่องเที่ยวต่างชาติ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้าที่ระบุว่าการจัดการคุณภาพประสบการณ์ท่องเที่ยวในประเทศไทยเป็นสิ่งท้าทาย (Thongsawang, 2021)

การวิเคราะห์ N-Gram ยืนยันว่า ประเด็นด้านความคุ้มค่าและราคา (I. Value & Pricing) คือปัจจัยหลักที่ก่อให้เกิดความไม่พึงพอใจสูงสุด โดยมีหลักฐานเชิงประจักษ์จากวลี "not worth" (83) และการระบุราคาที่สูง (เช่น 300 baht) ซึ่งเน้นย้ำว่าความคาดหวังด้านคุณภาพไม่สอดคล้องกับค่าใช้จ่าย ที่ถูกเรียกเก็บ ปัญหานี้ถูกเชื่อมโยงอย่างมีนัยสำคัญกับ ประเด็นสิ่งแวดล้อมและการบำรุงรักษา (II. Environmental & Maintenance) โดยเฉพาะปัญหาคุณภาพน้ำ (water, dirty) และการลดลงของปริมาณน้ำตกในช่วง 'dry season' ซึ่งส่งผลกระทบต่อประสบการณ์ทางกายภาพและตอกย้ำความรู้สึกว่าไม่คุ้มค่า (Chumwatana & Chuaychoo, 2016) ในทางตรงกันข้าม ปัญหาด้านการเข้าถึงและโครงสร้างพื้นฐาน (III. Accessibility & Infrastructure) ซึ่งเป็นปัญหาเชิงโครงสร้าง ก็ยังคงมีความสำคัญ โดยเฉพาะในด้านความแออัด ซึ่งหมายถึงการจัดการด้านความสามารถในการรองรับ (Carrying capacity) ยังไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ (Tokarchuk et al., 2021)

2. Spatial integration and policy implications

ผลการวิเคราะห์ Kernel Density Estimation (KDE) ถือเป็นส่วนเสริมที่สำคัญที่สุดของงานวิจัยนี้ โดยแปลงปัญหาเชิงเนื้อหาให้เป็นข้อมูลเชิงพื้นที่ Hotspot A (ดอยอินทนนท์/ดอยสุเทพ-ปุย, เชียงใหม่) และ Hotspot B (อำเภอปาย, แม่ฮ่องสอน) ไม่เพียงแต่เป็นจุดที่มีจำนวนนักท่องเที่ยวมากเท่านั้น แต่ยังเป็นบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงสุดของปัญหาเชิงลบ งานวิจัยนี้ต่อยอดองค์ความรู้โดยการเปลี่ยนข้อมูลข้อความ (Textual Data) ให้กลายเป็นพื้นผิวความหนาแน่นเชิงพื้นที่ (Density Surface) การบูรณาการข้อมูลเชิงเนื้อหาและเชิงพื้นที่นี้มีนัยสำคัญต่อการจัดการความยั่งยืนดังนี้:

- การจัดสรรทรัพยากรแบบเจาะจงพื้นที่: ข้อมูล Hotspot ที่ชัดเจนใน Figure 3 ช่วยให้หน่วยงานภาครัฐ (เช่น กรมอุทยานแห่งชาติ, องค์การบริหารส่วนจังหวัด) สามารถมุ่งเน้นงบประมาณและทรัพยากรในการแก้ไขปัญหา กลุ่มสิ่งแวดล้อมและการบำรุงรักษา ไปยังพื้นที่ Hotspot A และ B เป็นอันดับแรก การดำเนินการที่แม่นยำนี้จะช่วยเพิ่มผลกระทบของนโยบาย (Policy Impact) ได้สูงสุด

- การจัดการความแออัด: การกระจุกตัวของปัญหาใน Hotspot ชี้ให้เห็นถึงความจำเป็นในการใช้ระบบจองล่วงหน้า หรือ การกำหนดจำนวนนักท่องเที่ยวสูงสุด (Visitor quotas) ในช่วงที่มีจำนวนนักท่องเที่ยวสูง (Peak season) ในบริเวณเหล่านี้ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดความแออัด (ตามปัญหาในกลุ่มการเข้าถึงและโครงสร้างพื้นฐาน) โดยเฉพาะในจุดที่มีความอ่อนไหวทางธรรมชาติสูง

- การพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานรองรับ: รัฐบาลควรพิจารณาการลงทุนในโครงสร้างพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการจัดการของเสียและสิ่งอำนวยความสะดวกที่ยั่งยืนในพื้นที่ Hotspot (เช่น ระบบจัดการน้ำเสีย, ห้องน้ำมาตรฐาน) เพื่อยกระดับประสบการณ์โดยรวมอย่างเร่งด่วน

การเลือกใช้ Kernel Density Estimation (KDE) มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นของปัญหา (Intensity of Dissatisfaction) ในเชิงพื้นที่ การใช้ KDE ยังช่วยให้ผู้วางแผนนโยบายสามารถเห็นภาพรวมของพื้นที่อิทธิพล (Area of Influence) ที่ปัญหาหนึ่ง ๆ ส่งผลกระทบต่อพื้นที่ข้างเคียง โดยจะเป็นประโยชน์ในการกำหนดเขตวิกฤต (Action Zones) เพื่อบริหารจัดการสิ่งแวดล้อมในระดับพื้นที่ มากกว่าการมุ่งเน้นเพียงจุดพิกัดเดียว (Isolated point) นอกจากนี้ การกำหนดแบนด์วิดท์ (*h*) ที่ 0.3 กม. มีวัตถุประสงค์เพื่อจำกัดวงวิเคราะห์ให้อยู่ในระดับ Localized Clustering สำหรับระบุจุดบกพร่องภายในแหล่งท่องเที่ยวที่มีความละเอียดสูง เช่น บริเวณศูนย์บริการนักท่องเที่ยวหรือจุดชมวิวหลัก และจำกัดค่าความหนาแน่นไม่ให้กระจายตัวกว้างเกินไปในภูมิประเทศภูเขา

ผลการศึกษาสอดคล้องกับกรณีอุทยานแห่งชาติหวู่หยี่ซาน ประเทศจีน (Fu & Zhou, 2024) ที่แสดงให้เห็นว่าแม้ความพึงพอใจในทรัพยากรธรรมชาติจะอยู่ในระดับสูง แต่ความรู้สึกเชิงลบมักเกิดจากจุดบกพร่องด้านสิ่งอำนวยความสะดวก ระบบการจอง และการจัดการที่ไม่คุ้มค่าเมื่อเทียบกับราคาและเวลา ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ทำหน้าที่เป็นสัญญาณเตือนให้ผู้บริหารจัดการสามารถปรับปรุงโครงสร้างพื้นฐานได้ตรงจุด

นอกจากนี้ ปัญหาความเสื่อมโทรมตามฤดูกาล (เช่น น้ำตกแห้งในหน้าแล้ง) ใน Hotspot A และ B ยังสอดคล้องกับข้อค้นพบในมณฑลฝูเจี้ยน (Lu et al., 2025) ที่ระบุว่าความแปรผันตามฤดูกาลส่งผลลบต่อความพึงพอใจอย่างรุนแรง อย่างไรก็ตาม ในขณะที่ปัญหาในต่างประเทศมักเกิดจากพฤติกรรมนักท่องเที่ยวเป็นหลัก แต่กรณีภาคเหนือของไทยกลับพบว่าอุปสรรคสำคัญคือ การบำรุงรักษาเชิงกายภาพและความคุ้มค่าในการเข้าชม ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการจัดการการท่องเที่ยวเชิงนิเวศของไทยจำเป็นต้องยกระดับมาตรฐานการจัดการความคาดหวังควบคู่ไปกับการฟื้นฟูระบบนิเวศ

3. Limitations and conclusion

งานวิจัยนี้มีข้อจำกัดบางประการที่ควรพิจารณา ประการแรกคือแหล่งข้อมูลที่รวบรวมจาก TripAdvisor เพียงแหล่งเดียว ซึ่งสะท้อนมุมมองของนักท่องเที่ยวต่างชาติที่สื่อสารด้วยภาษาอังกฤษเป็นหลัก แต่อาจไม่ครอบคลุมพฤติกรรมของนักท่องเที่ยวกลุ่มอื่น ประการต่อมา การใช้พิกัดที่ตั้งคงที่ (Point Location) เป็นตัวแทนจุดเกิดปัญหาอาจยังไม่ครอบคลุมประสบการณ์เชิงพื้นที่ตลอดเส้นทางท่องเที่ยว (Spatial Journey) และสุดท้ายคือปัจจัยด้านความผันผวนตามฤดูกาล เช่น ปัญหาหมอกควันหรือปริมาณน้ำที่จำกัดในฤดูแล้ง ซึ่งส่งผลต่อความเข้มข้นของปัญหาในช่วงเวลาที่ต่างกัน อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาที่ได้ยังคงเป็นแนวทางสำคัญที่ให้ความแม่นยำสูงในการชี้เป้าพื้นที่วิกฤต (Crisis Mapping) ได้อย่างเป็นรูปธรรม

งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการบูรณาการเทคนิค Deep Learning (BERT-based) ร่วมกับการวิเคราะห์ N-Gram เพื่อถอดรหัสความไม่พึงพอใจเชิงลึก และการใช้ Kernel Density Estimation (KDE) เพื่อระบุตำแหน่งเชิงยุทธศาสตร์ ผลการศึกษาพบว่าประเด็นด้านความคุ้มค่าและราคามีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับปัญหาสิ่งแวดล้อมและการบำรุงรักษา โดยมีความเข้มข้นสูงสุดในพื้นที่ Hotspot หลักของเชียงใหม่ (ดอยอินทนนท์ และดอยสุเทพ-ปุย) และแม่ฮ่องสอน (ปาย)

งานวิจัยนี้ได้ส่งมอบ แนวทางใหม่ (Policy Contribution) โดยการเปลี่ยนข้อมูลข้อความที่กระจัดกระจายให้กลายเป็นแผนที่นำทางสำหรับการตัดสินใจ ช่วยให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถจัดสรรงบประมาณและทรัพยากรเพื่อจัดการความยั่งยืนในพื้นที่ Hotspot ได้อย่างแม่นยำ ตรงจุด และสอดคล้องกับความคาดหวังของนักท่องเที่ยวในระดับสากล

Acknowledgements

ผู้เขียนขอขอบคุณเว็บไซต์ TripAdvisor สำหรับข้อมูลอันมีค่าที่ใช้ในการวิจัยนี้ ขอขอบคุณเป็นพิเศษแก่ผู้ทรงคุณวุฒิของวารสารวิชาการเพื่อการพัฒนานวัตกรรมเชิงพื้นที่ สำหรับความคิดเห็นและข้อเสนอแนะเชิงสร้างสรรค์ ซึ่งช่วยพัฒนาคุณภาพของต้นฉบับบทความนี้

References

Alaei, A., Becken, S. & Stantic, B. (2017). Sentiment Analysis in Tourism: Capitalising on Big Data. Sage Journals. *Journal of Travel Research, 8*. DOI: 10.1177/0047287517747753.

Bird, S., Klein, E. and Loper, E. (2009). *Natural Language Processing with Python*. O'Reilly Media, Inc.

Chumwatana, T. & Chuaychoo, I. (2016). Automatic filtering non–English complaint emails in tourism industry using N–gram extraction and classification techniques. 4th International Symposium on Computational and Business Intelligence (ISCBI), September 5–7, 2016, Olten, Switzerland.

Cui, Y. & He, Q. (2019). Travel Behavior Analysis with Social Media Data and Smartphone GPS Data. *Final Report*. Transportation Informatics Tier I University Transportation Center, University of Buffalo, NY, USA.

Devlin, J., Chang, M. W., Lee, K. & Toutanova, K. (2018). BERT: Pre–training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding. *arXiv*. DOI: 10.48550/arXiv.1810.04805.

Donthu, N., Kumar, S., Pandey, N., Pandey, N. & Mishra, A. (2021). Mapping the Electronic Word–of–Mouth (eWOM) research: A Systematic Review and Bibliometric Analysis. *Journal of Business Research, 135*, 758–773. DOI: 10.1016/j.jbusres.2021.07.015.

Esri. (2025, Dec 12). *What is geocoding? 2021*. Form https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/manage–data/geocoding/ what–is–geocoding.htm

Filieri, R., Alguezaui, S. & McLeay, F. (2015). Why do Travelers Trust TripAdvisor? Antecedents of Trust Towards Consumer–generated Media and its Influence on Recommendation Adoption and Word of Mouth. Tourism Management, 51. DOI: 10.1016/j.tourman.2015.05.007.

Fu, W. & Zhou, B. (2024). Theme Exploration and Sentiment Analysis of Online Reviews of Wuyishan National Park. *Land, 13*, 629. DOI: 10.3390/land13050629.

Hashim, R., Omar, B. & Al–Samarraie, H. (2020). The Application of Sentiment Analysis in Tourism Research: A Brief Review. *Journal of Business Tourism and Applied Sciences (JBTS), 8*(1), 51–60.

Henning, S., Beluch, W., Fraser, A. & Friedrich, A. (2023). *A Survey of Methods for Addressing Class Imbalance in Deep–Learning Based Natural Language Processing*. Proceedings of the 17th Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics, Dubrovnik, Croatia, 523–540.

Jeacle, I. & Carter, C. (2011). In TripAdvisor We Trust: Rankings, Calculative Regimes and Abstract Systems. *Accounting Organizations and Society, 36*(4–5), 293–309. DOI: 10.1016/j.aos.2011.04.002.

Kuhamanee, T., Talmongkol, N., Chaisuriyakul, K., San-Um, W., Pongpisuttinun, N. & Pongyupinpanich, S. (2017). *Sentiment analysis of foreign tourists to Bangkok using data mining through online social network*. IEEE 15th International Conference on Industrial Informatics (INDIN), Emden, Germany.

Lassen, N. B., Madsen, R. & Vatrapu, R. (2014). *Predicting iPhone Sales from iPhone Tweets*. IEEE 18th International Enterprise Distributed Object Computing Conference, Ulm, Germany.

Leelawat, N., Jariyapongpaiboon, S., Promjun, A., Boonyarak, S., Saengtabtim, K., Laosunthara, A., Yudha, A. K. & Tang, J. (2022). Twitter data sentiment analysis of tourism in Thailand during the COVID-19 pandemic using machine learning. *Heliyon, 8*(10), e10894. DOI: 10.1016/j.heliyon.2022.e10894.

Li, X., Pan, B., Law, R. & Huang, X. (2017). Forecasting Tourism Demand with Composite Search Index. *Tourism Management, 59*, 57-66. DOI: 10.1016/j.tourman.2016.07.005.

Lima, T. O., Colaço, M. Jr., Prado, K. H. J., Jesus, I. D. Jr. & Oliveira, F. R. (2021). *A Big Data Experiment to Evaluate the Effectiveness of Traditional Machine Learning Techniques Against LSTM Neural Networks in the Hotels Clients Opinion Mining*. IEEE International Conference on Big Data (Big Data), December 15-18, 2021, Orlando, FL, USA.

Lu, Z., Chen, S., Qiu, C., Lin, Y., Lu, Y. & Xu, Y. (2025). Exploring the impact of landscape environments on tourists' emotional fluctuations in Fujian's Coastal National Parks using machine learning. *PLoS One, 20*(8), e0329118. DOI: 10.1371/journal.pone.0329118.

McKinney, W., (2010). *Data Structures for Statistical Computing in Python*. Proceedings of the 9th Python in Science Conference (SCIPY 2010), June 28, 2010, Tacoma Convention Center | Tacoma, WA, USA.

Ministry of Tourism and Sports. (2025, Dec 12). *National Tourism Development Plan No. 2 (2017-2021) 2016*. Form https://secretary.mots.go.th/strategy/more_news.php?cid=9. (in Thai)

_____. (2025, Dec 12). *Tourism Economic Review. Tourism Economic Report, Year 1, Issue 3/2020 2020*. Form https://www.mots.go.th/more_news_new.php?cid=605. (in Thai)

_____. (2025, Dec 12). Development Strategy. National Tourism Development Plan No. 3 (2023-2027) 2023. Form https://anyflip.com/zzfck/kiel. (in Thai)

_____. (2025, Dec 12). *Survey Project for Analysis of International Tourist Behavior 2024. Final Report*. Form https://intelligencecenter.tat.or.th/articles/35286. (in Thai)

_____. (2025, Dec 12). *Tourism Economic Review. Tourism Economic Report, Year 2, Issue 1/2021*. Form https://www.mots.go.th/news/category/708. (in Thai)

Mission, R. S. (2024). Spatial Analysis Leveraging Geographic Information System and Kernel Density Estimation for Crime Prediction. *Journal of Innovative Technology Convergence, 6*(1), 95-104. DOI: 10.69478/JITC2024v6n2a10.

Muthukadan, B., (2025, Dec 12). *Selenium Python Bindings 2024*. Form https://selenium-python.readthedocs.io/

Pérez, J. M., Rajngewerc, M., Giudici, J. C., Furman, D. A., Luque, F., Alemany, L. A. & Martinez, M. V. (2024). pysentimiento: A Python Toolkit for Opinion Mining and Social NLP tasks. *arXiv*. DOI: 10.48550/arXiv.2106.09462.

Phithakkitnukoon, S. (2023). *Analysis of Tourist Behavior Using Mobile Phone GPS Data*. In: Urban Informatics Using Mobile Network Data. Springer Nature, 183–214.

Pleerux, N., Boonpook, W., Chaiyo, A. and Nardkulpat, A., (2023). *Trip Advisor Restaurant Customer Reviews Analysis in Bangkok, Thailand*. International Conference on Cyber Management and Engineering (CyMaEn), Jan 26–27, 2023, Bangkok, Thailand.

Prabha, M. I. & Srikanth, G. U. (2021). *Survey of Sentiment Analysis Using Deep Learning Techniques*. 1st International Conference on Innovations in Information and Communication Technology (ICIICT), April 25–26, 2019, Chennai, India.

Ramadhani, A., Sutoyo, E. & Widartha, V. P. (2021). *LSTM–based Deep Learning Architecture of Tourist Review in Tripadvisor*. Sixth International Conference on Informatics and Computing (ICIC), November 3–4, 2021, Jakarta, Indonesia.

Richardson, L. (2025, Dec 12). *Beautiful Soup 2004*. Form https://www.crummy.com/software/BeautifulSoup/.

Rogel–Salazar, J. (2025, Dec 12). *Density–Based Clustering 2022*. Form https://domino.ai/data–science–dictionary/density–based–clustering.

Rossum, G., van. (1995). *Python tutorial*. Department of Computer Science, College of Western Idaho, USA.

Sarker, I. H. (2021). Deep Learning: A Comprehensive Overview on Techniques, Taxonomy, Applications and Research Directions. Springer Nature Link, *Computer Science*, *2*, 420. DOI: 10.1007/s42979–021–00815–1.

Secretariat of Cabinet, the. (2025, Dec 12). National Tourism Development Plan 2012–2016 2011. Form https://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2554/E/067/14.PDF. (in Thai)

Thongsawang, S. (2021). GUIDELINES FOR PROMOTING THAILAND TOURISM FOR CHINESE TOURISTS IN THE CHONBURI PROVINCE. Journal of Social Science and Buddhistic Anthropology, 6(8). 307–324. (in Thai)

Tokarchuk, O., Gabriele, R. & Maurer, O. (2021). Estimating tourism social carrying capacity. Annals of Tourism Research, 86, 102971. DOI: 10.1016/j.annals.2020.102971.

Valdivia, A., Luzón, M. V. & Herrera, F. (2017). *Sentiment Analysis on TripAdvisor: Are There Inconsistencies in User Reviews?* In: Martínez de Pisón, F., Urraca, R., Quintián, H., Corchado, E. (eds). Hybrid Artificial Intelligence Systems. HAIS, Lecture Notes in Computer Science, 10334, 15–25.

Wu et al. (2024). Stratified random sampling for neural network test input selection. *Information and Software Technology, 165*, 107331. DOI: 10.1016/j.infsof.2023.107331

Yuan, X. (2024). Evaluation of Rural Tourism Development Level using BERT–enhanced Deep Learning Model and BP Algorithm. *Scientific Reports, 14*, 25748. DOI: 10.1038/s41598–024–77444–0.

การพัฒนาซอฟต์แวร์ตรวจจับวัตถุเคลื่อนที่และบันทึกภาพอัจฉริยะด้วยกล้อง webcam เพื่อการประยุกต์ใช้ในความปลอดภัยขององค์กรธุรกิจ

วิทยา บุญสุข[1*], จิ่ม ยืนนาน[1] และ วัฒนา ศรีวรมย์[1]

Development of Intelligent Motion–Detection and Image–Recording Software Using a Webcam for Application in Business Organization Security

Witthaya Boonsuk[1*], Jim Yuennan[1] and Watthana Sriwarom[1]

[1] Department of Information Technology, Faculty of Management Sciences and Information Technology, Nakhon Phanom University, Nakhon Phanom, 48000

*Corresponding author: witthaya5773@gmail.com

Received: 1 January 2026; Revised: 16 November 2025; Accepted: 20 April 2026

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ในการวิจัยนี้ 1)พัฒนาซอฟต์แวร์ที่ประยุกต์ใช้ในการเฝ้าระวังองค์กรธุรกิจ 2)สร้างระบบที่สามารถจับภาพนิ่งอัตโนมัติทุก 10 วินาที เพื่อใช้ในการจัดเก็บข้อมูลและตรวจสอบย้อนหลังได้อย่างสะดวก 3)พัฒนากลไกการตรวจจับการเคลื่อนไหวอัตโนมัติและบันทึกวิดีโอเฉพาะเมื่อมีการเคลื่อนไหวโดยบันทึกต่อเนื่องนาน 30 วินาที ก่อนหยุดการทำงานจนกว่าจะตรวจพบการเคลื่อนไหวครั้งใหม่ 4)เพื่อทดสอบและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการประหยัดพื้นที่จัดเก็บข้อมูลของซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้น

งานวิจัยนี้ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัล (Image Processing) ร่วมกับการตรวจจับการเคลื่อนไหวด้วยวิธี Frame Differencing และ Background Subtraction โดยพัฒนาระบบด้วยภาษา C# เชื่อมต่อกับ Webcam เพื่อบันทึกภาพนิ่งตามช่วงเวลาและวิดีโอเมื่อมีการเคลื่อนไหว พร้อมทั้งจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบไฟล์ดิจิทัลเพื่อการเรียกดูย้อนหลัง

ผลการประเมินประสิทธิภาพของซอฟต์แวร์ที่ได้พัฒนาจากการทดสอบบันทึกภาพจาก Webcam ของซอฟต์แวร์ที่พัฒนาซึ่ง ฟังก์ชั่นที่1)ถ่ายภาพนิ่ง ประหยัดพื้นที่ได้ 88.15% ฟังก์ชั่นที่อ 2)ถ่ายวิดีโอขณะมีวัตถุเคลื่อนไหว ประหยัดพื้นที่ได้ 98.75 % ถือว่ามีประสิทธิภาพอยู่ในระดับดีมาก แสดงว่าประสิทธิภาพในการประหยัดพื้นที่ในการบันทึกข้อมูลอยู่ในระดับที่ค่อนข้างดีมาก และมีความเหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้ในงานการตรวจตราและเฝ้าระวังองค์กรธุรกิจ

คำสำคัญ: การตรวจจับภาพเคลื่อนไหว, การประมวลผลภาพ, การเพิ่มประสิทธิภาพการจัดเก็บข้อมูล, ภาพดิจิทัล

[1] สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาการจัดการและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยนครพนม จังหวัดนครพนม 48000

Abstract

The objectives of this research are: 1) to develop software applied for the surveillance of business organizations 2) to design a system that can automatically capture still images every10 seconds, facilitating convenient data storage and retrospective examination 3) to develop an automatic motion detection mechanism that records video only when movement is detected, continuous for 30 seconds before stopping, until new movement is detected. and 4) to test and compare the storage space efficiency of the developed software This approach helps reduce storage usage and enhances practical efficiency.

This research employs digital image processing techniques in combination with motion detection methods, namely frame differencing and background subtraction. The system is developed using C# and connected to a webcam to capture still images at specified intervals and record video only when motion is detected. All data are stored in digital file formats for convenient retrieval and review.

The evaluation results of the developed software, based on webcam recording tests, indicate that: Function 1(still image capture) achieved 88.15% storage savings.and Function 2 (motion–triggered video recording) achieved 98.75% storage savings. These results demonstrate that the software provides highly effective storage optimization and is suitable for application in monitoring and surveillance of business organizations as well as for further development and commercial.

Keywords: Motion Detection, Image Processing, Storage Optimization, Digital Image

Introduction

ในปัจจุบันมีการนำระบบสารสนเทศเข้ามาประยุกต์ใช้ในการทำงานมากขึ้น และมีบทบาทต่อการทำงานค่อนข้างจะสูงขึ้น ซึ่งมีส่วนจำเป็นอย่างมากในการดำเนินชีวิตในปัจจุบัน ตลอดจนการประยุกต์ในงานด้านธุรกิจ อุตสาหกรรม ด้านวิทยาศาสตร์ ด้านการเกษตร ด้านความปลอดภัย และด้านการผลิต ซึ่งแนวคิดด้านการบริหารจัดการกับการประยุกต์ใช้กล้องรักษาความปลอดภัยในองค์กร ช่วยเสริมการควบคุมภายใน (Internal Control) ทำให้องค์กรสามารถติดตามความเสี่ยงและป้องกันการทุจริตได้อย่างเป็นระบบ และในการจัดการทรัพยากรองค์กร (Resource–Based View: RBV) ชี้ว่าการใช้เทคโนโลยีกล้องวงจรปิดเป็นทรัพยากรเชิงกลยุทธ์ที่เพิ่มความสามารถในการแข่งขัน (Laudon, et al, 2020)

ปัจจุบัน เทคโนโลยีกล้องดิจิทัลและระบบประมวลผลภาพ (Image Processing) มีบทบาทสำคัญในการเฝ้าระวังและรักษาความปลอดภัยในหลายด้าน ไม่ว่าจะเป็นการติดตั้งกล้องวงจรปิด (CCTV) ในสถานที่ราชการ สถานศึกษา หรือพื้นที่สาธารณะ ตลอดจนการนำมาใช้ในระบบอัจฉริยะต่าง ๆ เช่น บ้านอัจฉริยะ (Smart Home) และการจัดการข้อมูลวิดีโอเพื่อการวิเคราะห์เชิงลึก (Video Analytics) (Szeliski, 2010) การพัฒนาซอฟต์แวร์ที่สามารถบันทึกวิดีโอและจับภาพจาก Webcam จึงเป็นอีกแนวทางที่ได้รับความสนใจ เนื่องจากมีต้นทุนต่ำ ติดตั้งง่าย และสามารถพัฒนาต่อยอดให้สอดคล้องกับการใช้งานที่หลากหลาย (Gonzalez & Woods, 2018)

อย่างไรก็ตาม การบันทึกวิดีโอแบบต่อเนื่องอาจทำให้สิ้นเปลืองพื้นที่จัดเก็บข้อมูลจำนวนมาก รวมถึงเพิ่มภาระในการประมวลผลและการตรวจสอบย้อนหลัง (Rad, 2017) ดังนั้น การเพิ่มกลไกการตรวจจับวัตถุเคลื่อนไหว (Motion Detection) เพื่อบันทึกวิดีโอเฉพาะช่วงเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงในภาพ จึงเป็นแนวทางที่ช่วยลดการใช้ทรัพยากร และยังตอบสนองต่อความต้องการใช้งานจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Piccardi, 2004)

การวิจัยและพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อตรวจจับวัตถุเคลื่อนที่แบบอัตโนมัติ และบันทึกด้วยกล้อง webcam เป็นเรื่องที่มีความสำคัญและตอบโจทย์ความต้องการในยุคปัจจุบัน ในด้านรักษาความปลอดภัย ไม่ว่าจะเป็นในแง่ของการลดต้นทุน เพิ่มความเชื่อมั่นหรือความปลอดภัยและเฝ้าระวังในองค์กรธุรกิจ นอกจากนี้ยังช่วยสร้างนวัตกรรมใหม่ ๆ ในการวิเคราะห์ข้อมูลด้านความปลอดภัยและการปรับปรุงกระบวนการในภาคอุตสาหกรรมความปลอดภัย ซึ่งเป็นก้าวสำคัญต่อการพัฒนานวัตกรรมในอนาคต (Ratcliffe, 2011) ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีความสำคัญในการนำเสนอซอฟต์แวร์ที่ผสานทั้งความสามารถในการบันทึกวิดีโอ การจับภาพนิ่ง และการตรวจจับวัตถุเคลื่อนไหวเข้าด้วยกัน อันจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาระบบรักษาความปลอดภัย ระบบตรวจสอบอัตโนมัติในองค์กรธุรกิจ รวมถึงสามารถต่อยอดสู่การพัฒนาในเชิงพาณิชย์หรือด้านอื่น ๆ ในอนาคตได้

Objective

1. พัฒนาซอฟต์แวร์ที่สามารถบันทึกภาพจาก Webcam เป็นวิดีโอได้อย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครบถ้วนสำหรับการเฝ้าระวัง

2. สร้างระบบที่สามารถจับภาพนิ่งอัตโนมัติทุก 10 วินาที เพื่อใช้ในการจัดเก็บข้อมูลและตรวจสอบย้อนหลังได้อย่างสะดวก

3. พัฒนากลไกการตรวจจับการเคลื่อนไหวอัตโนมัติ และบันทึกวิดีโอเฉพาะเมื่อมีการเคลื่อนไหว โดยบันทึกต่อเนื่องนาน 30 วินาที ก่อนหยุดการทำงานจนกว่าจะตรวจพบการเคลื่อนไหวครั้งใหม่

4. เพื่อทดสอบและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการประหยัดพื้นที่จัดเก็บข้อมูลของซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้น

Literature Review

การพัฒนาโปรแกรมบันทึกภาพจากกล้อง CCTV หรือ Webcam ที่สามารถตรวจจับการเคลื่อนไหวและบันทึกได้ มักอาศัยการประมวลผลภาพเพื่อแยกความแตกต่างระหว่างฉากพื้นหลังกับวัตถุที่เคลื่อนไหว (Background Subtraction) ซึ่งช่วยลดข้อมูลที่ไม่เกี่ยวข้องและเพิ่มประสิทธิภาพการตรวจจับ (Piccardi, 2004) เทคนิค Gaussian Mixture Models (GMM) เป็นหนึ่งในวิธีที่ได้รับความนิยมในการสร้างโมเดลพื้นหลังที่ยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลงของแสง (Zivkovic, 2004) ระบบตรวจจับการเคลื่อนไหวมักใช้การหาระยะเปลี่ยนแปลงของพิกเซลระหว่างเฟรม (Frame Differencing) ร่วมกับการกรองเสียงรบกวน (Noise Filtering) เพื่อให้สามารถตัดสินได้ว่าเป็นการเคลื่อนไหวที่สำคัญหรือไม่ (Toyama et al., 1999)

นอกจากนี้การใช้การตรวจจับขอบ (Edge Detection) และคุณลักษณะของวัตถุช่วยเพิ่มความแม่นยำในการแยกวัตถุจากพื้นหลัง (Canny, 1986) ระบบบันทึกภาพอัตโนมัติยังต้องพิจารณาเรื่องการจัดเก็บข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพ เช่น การบีบอัดวิดีโอ (Video Compression) เพื่อประหยัดพื้นที่จัดเก็บและเพิ่มความเร็วในการเข้าถึงข้อมูลย้อนหลัง (Wiegand et al., 2003) การผสานเทคโนโลยี Deep Learning ล่าสุด เช่น Convolutional Neural Networks (CNNs) ช่วยให้ระบบตรวจจับเคลื่อนไหวสามารถจำแนกวัตถุและบริบทได้ดีขึ้น (Redmon et al., 2016)

งานวิจัยนี้ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัล (Image Processing) ร่วมกับการตรวจจับการเคลื่อนไหวด้วยวิธี Frame Differencing และ Background Subtraction โดยพัฒนาระบบด้วยภาษา C# เชื่อมต่อกับ Webcam เพื่อบันทึกภาพนิ่งตามช่วงเวลาและวิดีโอเมื่อมีการเคลื่อนไหว พร้อมทั้งจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบไฟล์ดิจิทัลเพื่อการเรียกดูย้อนหลัง

Methodology

ความสำคัญของ CCTV

เนื่องจากปัจจุบันโลกมีแนวโน้มที่จะนำระบบอัตโนมัติเข้ามาใช้งานและประยุกต์ใช้งานมากขึ้น แต่ยังขาดแคลนระบบประมวลผลอัตโนมัติ การนำระบบกล้องโทรทัศน์วงจรปิด (Closed-Circuit Television: CCTV) มาใช้ในองค์กรธุรกิจถือเป็นหนึ่งในเทคโนโลยีที่มีบทบาทสำคัญต่อการบริหารจัดการด้านความปลอดภัยในยุคดิจิทัล โดยหลักการของ CCTV คือการบันทึกภาพเหตุการณ์แบบเรียลไทม์ผ่านเครือข่ายปิดสำหรับการตรวจสอบ การเฝ้าระวัง และการเก็บหลักฐาน ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดการบริหารความเสี่ยง (Risk Management) ที่เน้นการลดโอกาสในการเกิดเหตุ และเพิ่มความสามารถในการตอบสนองเหตุการณ์ผิดปกติอย่างทันท่วงที (Gill, et al., 2005), (Norris, et al., 2004) หลักการบริหารความเสี่ยง (Risk Management) มีการสนับสนุนการใช้กล้องเพื่อระบุ วิเคราะห์ และลดผลกระทบของเหตุการณ์ด้านความปลอดภัย ในระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ (Management Information Systems: MIS) กล้องสามารถสร้างข้อมูลที่ช่วยผู้บริหารตัดสินใจเชิงปฏิบัติการและเชิงกลยุทธ์ได้ และแนวคิดความปลอดภัยเชิงป้องกัน (Preventive Security) ระบุว่าการมีกล้องเป็นมาตรการเชิงรุกที่ลดโอกาสเกิดเหตุและเพิ่มความมั่นใจแก่บุคลากร (Laudon, et al., 2020), (Robbins, et al., 2018), (Barneyม 1991)

ขั้นตอนกระบวนการพัฒนาและการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยและพัฒนา (Research and Development: R&D) ที่มุ่งเน้นการสร้างซอฟต์แวร์สำหรับตรวจจับวัตถุเคลื่อนไหวและบันทึกภาพจากกล้อง Webcam โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

1.การศึกษาและวิเคราะห์ความต้องการ (Requirement Analysis)

ปัจจุบันได้มีการนำกล้อง CCTV มาบันทึกภาพเหตุการณ์แบบเรียลไทม์ผ่านเครือข่ายปิดสำหรับการตรวจสอบ แต่ยังขาดความหลากหลายในการทำงานจึงจำเป็นต้องมีการประยุกต์เอาเทคโนโลยีการประมวลผลภาพและสำหรับตรวจจับการเคลื่อนไหวและควบคุมการบันทึกวิดีโออัตโนมัติมาใช้งาน ซึ่งต้องมีการศึกษาดังนี้

1.1 ศึกษาข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีการประมวลผลภาพ (Image Processing) และการตรวจจับการเคลื่อนไหว (Motion Detection)

1.2 วิเคราะห์ความต้องการของผู้ใช้งานจริง เช่น ระบบรักษาความปลอดภัย การตรวจสอบการเข้า–ออกพื้นที่ หรือการเก็บข้อมูลอัตโนมัติ กำหนดคุณสมบัติหลักของระบบให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ ได้แก่

1) การบันทึกวิดีโอจากกล้อง Webcam ได้ต่อเนื่อง

2) การจับภาพนิ่งอัตโนมัติทุก 10 วินาที

3) การบันทึกวิดีโอเฉพาะเมื่อมีการตรวจจับวัตถุเคลื่อนไหว

2. การออกแบบระบบ (System Design)

การออกแบบได้ทำการออกแบบระบบมีส่วนการทำงานโดยออกแบบสถาปัตยกรรมของระบบ โดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วน การออกแบบฐานข้อมูลหรือโครงสร้างการจัดเก็บไฟล์ และวางแผนการใช้เครื่องมือและภาษาโปรแกรม

2.1 ออกแบบสถาปัตยกรรมของระบบ โดยแบ่งออกเป็น 3 โมดูลหลัก ได้แก่

1) Video Recording Module – สำหรับบันทึกวิดีโอจาก Webcam

2) Image Capture Module – สำหรับจับภาพนิ่งตามช่วงเวลา

3) Motion Detection Module – สำหรับตรวจจับการเคลื่อนไหวและควบคุมการบันทึกวิดีโออัตโนมัติ

2.2 ออกแบบฐานข้อมูลหรือโครงสร้างการจัดเก็บไฟล์ ทั้งในรูปแบบวิดีโอและภาพนิ่ง

2.3 วางแผนการใช้เครื่องมือและภาษาโปรแกรม เช่น C# และ OpenCV บน .NET Framework เพื่อรองรับการพัฒนา

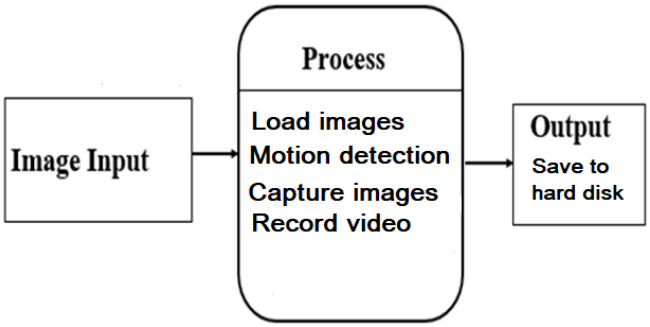


Figure 1 Overview of the context diagram of the system

จาก Figure 1 แสดงการทำงานของระบบ โดยระบบจะทำการรับข้อมูลภาพจากกล้อง webcam แล้วทำการส่งเข้าสู่ระบบเพื่อทำการประมวลผลจับการเคลื่อนไหวของภาพและทำการบันทึกจัดเก็บตามขั้นตอนที่มีการประมวลของระบบ และส่งออกไฟล์ข้อมูลภาพลงสู่สื่อจัดเก็บ (Hard disk)

โครงสร้างของระบบแสดงใน Figure 2

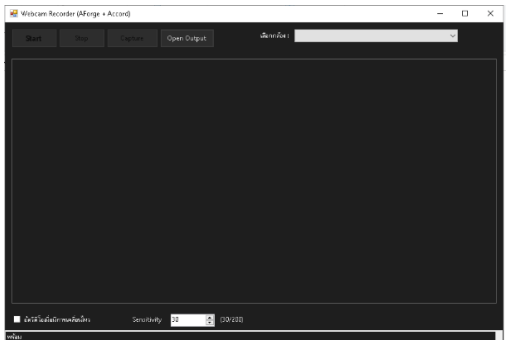


Figure 2 System structure

จากรูปที่ 2 โครงสร้างระบบจะประกอบไปด้วย 3 ส่วนคือ

1. Hardware ประกอบไปด้วย คอมพิวเตอร์และกล้องบันทึกภาพนิ่งความละเอียดสูง

2. Software คือระบบที่เราได้ออกแบบและพัฒนา

ขั้นตอนการทำงานของระบบแสดงใน Figure 3

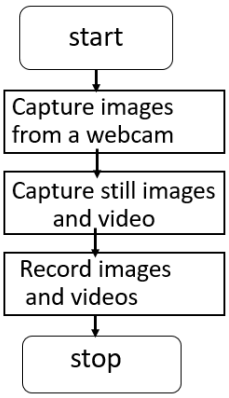


Figure 3 System processing

จาก Figure 3 ขั้นตอนของระบบมีรายละเอียดการทำงานดังนี้

1. (Image Input) รับข้อมูลภาพจากกล้อง webcam แล้วทำการส่งเข้าสู่ระบบเพื่อทำการประมวลผล
2. (Capture Image and Video) จับภาพนิ่งและภาพวิดีโอ
3. (Record Image and Video) บันทึกภาพนิ่งและภาพวิดีโอ

3. การพัฒนาระบบ (System Development)

การพัฒนาระบบได้ทำการเลือกเครื่องมือในการพัฒนาด้วยภาษา C# ออกแบบสถาปัตยกรรมของระบบ โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน พัฒนาโปรแกรมด้วยภาษา C# และติดตั้งไลบรารีที่เกี่ยวข้อง ไฟล์ และพัฒนาและทดสอบแต่ละโมดูล ตลอดจนใช้เครื่องมือและภาษาโปรแกรม

3.1 พัฒนาโปรแกรมด้วยภาษา C# และติดตั้งไลบรารีที่เกี่ยวข้อง เช่น AForge.NET หรือ Emgu CV และ Accord.Video.FFMPEG สำหรับการประมวลผลภาพ

ขั้นตอนวิธีการรหัสเทียมหรือ (Coding) ของระบบ

```
using System;
using System.Drawing;
using System.IO;
using System.Windows.Forms;
using AForge.Video;
using AForge.Video.DirectShow;
using Accord.Video.FFMPEG;
namespace WebcamRecorder
{
    public partial class Form1 : Form
    {
        private FilterInfoCollection videoDevices;
         private VideoCaptureDevice videoSource;
        private VideoFileWriter videoWriter;
       private bool isRecording = false;
```

```
private DateTime lastMotionTime;
private Timer snapshotTimer;
private Timer motionTimer;
private Bitmap lastFrame;
public Form1()
        InitializeComponent();                    // Timer สำหรับถ่ายภาพนิ่งทุก 10 วินาที
        snapshotTimer = new Timer();
        snapshotTimer.Interval = 10000;
        snapshotTimer.Tick += SnapshotTimer_Tick; // Timer สำหรับบันทึกวิดีโอเมื่อมีการ
เคลื่อนไหว
        motionTimer = new Timer();
        motionTimer.Interval = 10000; // บันทึก 10 วินาที
        motionTimer.Tick += MotionTimer_Tick;
}
```

3.2 พัฒนาและทดสอบแต่ละโมดูล ได้แก่

1. การบันทึกวิดีโอ ให้ทำงานได้ต่อเนื่องโดยไม่กระตุก
2. การจับภาพนิ่งอัตโนมัติทุก 10 วินาที พร้อมบันทึกลงโฟลเดอร์
3. การตรวจจับการเคลื่อนไหว โดยใช้เทคนิคการเปรียบเทียบภาพระหว่างเฟรม (Frame Differencing) หรือ Background Subtraction เพื่อหาความเปลี่ยนแปลงของภาพ และบันทึกวิดีโอเมื่อมีการเคลื่อนไหว

การพัฒนาหน้าจอการทำงาน (User Interface) แสดงใน Figure 4

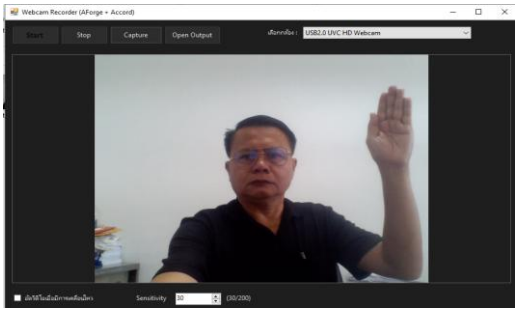


Figure 4 Prototype Screen

4. การทดสอบระบบ (Unterkalmsteiner, et al. 2023)

การวัดประสิทธิภาพของระบบสามารถทำได้โดยการใช้วิธี วัดค่าความแม่นยำ (Precision) ซึ่งเป็นการวัดความแม่นยำในการจัดเก็บภาพนิ่งและภาพวิดีโอ เทียบกับการใช้พื้นที่ในหน่วยความจำปกติที่บันทึกในระบบที่ประยุกต์

โดยพิจารณาจากจำนวนพื้นในการจัดเก็บที่เปรียบเทียบจากสื่อบันทึกของมาตรฐานกลางทั่วไป ที่ใช้เป็นข้อมูลเปรียบเทียบในการใช้ความจำทั้งหมดว่ามีภาพหรือวิดีโอที่ใช้บันทึกทั่วไป นำมาทดสอบเทียบกับภาพหรือวิดีโอของระบบที่พัฒนานำมาทดสอบและทำการบันทึกกับกล้องวิดีโอที่ใช้บันทึกทั่วไป ซึ่งจะมีค่าหน่วยความจำที่จัดเก็บใช้พื้นที่แตกต่างกันมากน้อยกับระบบที่ได้พัฒนาและนำมาคำนวณ แสดงดังสมการ

$$\text{Precision} = \left| \frac{x_i - x_m}{x_m} \right|$$

$$x_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} x_i$$

โดยที่ X_m คือ ค่าเฉลี่ยของการวัด

X_i คือ ค่าการวัดแต่ละครั้ง

Results

จากผลการออกแบบและพัฒนาระบบที่ได้ ทำให้มีระบบต้นแบบนำมาทดสอบการวัดประสิทธิภาพของระบบสามารถทำได้โดยการใช้วิธี วัดค่าความแม่นยำ (Precision) ซึ่งเป็นการวัดความแม่นยำในการจัดเก็บภาพนิ่งและภาพวิดีโอ เทียบกับการใช้พื้นที่ในหน่วยความจำปกติที่บันทึกในระบบที่ประยุกต์

การกำหนดรายละเอียดในการทดสอบจากกล้อง webcam มาตรฐานกับห้องสภาพแวดล้อมแสงปกติกลางวัน ยกเว้นกล้องพิเศษ เช่นกล้องที่สามารถทำงานในกลางคืนได้ ก็เพิ่มประสิทธิภาพการทำงานในกลางคืนได้ดี

1. ผลการทดสอบและพัฒนาหน้าจอการทำงาน (User Interface) แสดงใน Figure 5

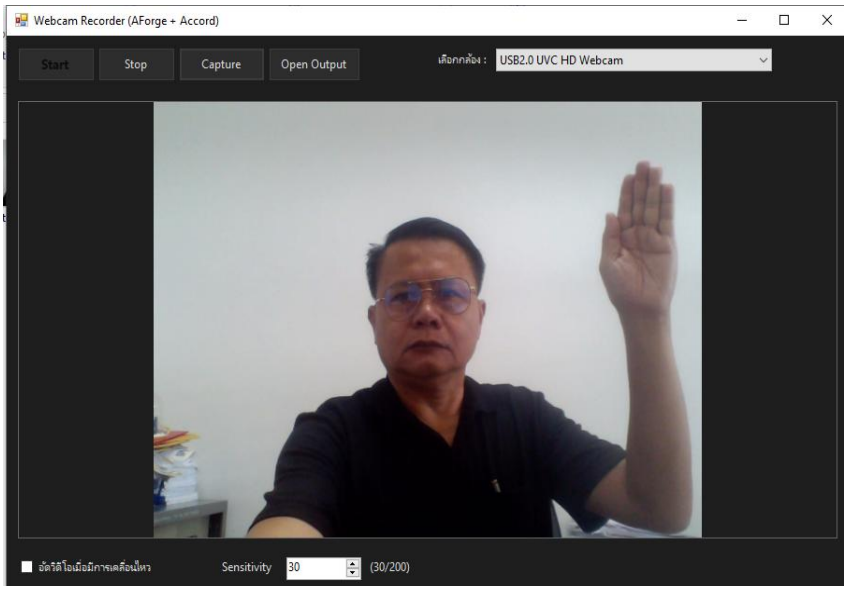


Figure 5 Software Prototype

2. ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบ

การประเมินหาประสิทธิภาพ ของระบบตรวจสอบการใช้พื้นที่ในการจัดเก็บในหน่วยความจำทั้งภาพนิ่งและวิดีโอในเวลา 1 วัน หรือ 24 ชั่วโมง ในการเปรียบเทียบการใช้ความจำและวิเคราะห์ผลต่างของพื้นที่จัดเก็บ ใช้ต่างกันอย่างไร จากภาพนิ่งที่บันทึกและวิดีโอที่บันทึก กรณีทดสอบจากกลุ่มตัวอย่างภาพนิ่งและวิดีโอ แสดงค่าเฉลี่ยในเชิงปริมาณ และค่าเฉลี่ยในเชิงคุณภาพที่นำมาทดสอบในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง แบ่งเป็น 2 (Function Test)

กลุ่มที่ 1 ภาพนิ่งที่บันทึกใน 1 วัน

กลุ่มที่ 2 ภาพวิดีโอที่บันทึกใน 1 วัน

หลังจากที่ได้นำซอฟต์แวร์ ไปทดสอบตามวิธีการแบบ(Black Box) เรียบร้อยแล้วต่อไปจะเป็นการนำซอฟต์แวร์นี้ไปประเมิน เพื่อหาประสิทธิภาพของระบบซอฟต์แวร์ และเป็นการทดสอบ เพื่อยอมรับระบบโดยผู้ใช้ (Acceptance Test by User) (Thaweepol, 2012)

ซึ่งกระบวนการประเมินระบบนี้ เป็นการประเมินเพื่อหาประสิทธิภาพของผลงานทางระบบสารสนเทศและซอฟต์แวร์ซึ่งจะแบ่งการประเมินระบบออกเป็น 4 ส่วนด้วยกันคือ 1) Function Requirement Test 2) Function Test 3) Usability Test และ 4) Security Test

แต่ในกรณีนี้ ต้องการทดสอบระบบหาประสิทธิภาพของระบบหรือซอฟต์แวร์อย่างเดียว จึงเลือกใช้การวัดประสิทธิภาพของโปรแกรม โดยใช้เกณฑ์ทดสอบทางประสิทธิภาพของการทำงานของซอฟต์แวร์คือ แบบทดสอบทาง (Function Test) สำหรับการเตรียมข้อมูลที่ใช้โดยเป็นภาพดิจิทัลสีทั่วไป ซึ่งในการทดลองนี้ได้ทดสอบกับข้อมูลที่ได้จากการบันทึกภาพวิดีโอจากกล้องมาตรฐานทั่วไป ซึ่งภาพนิ่งบันทึกเป็น JPEG ขนาดเฉลี่ย 300 KB ต่อภาพและถ้าถ่ายวิดีโอ กล้องเว็บแคมธรรมดา 720 p การถ่ายวิดีโอ 1 วินาที จะใช้พื้นที่ประมาณ 0.25 MB/s

ผลการคำนวณพื้นที่จัดเก็บข้อมูลจากกล้องเว็บแคม

1. การถ่ายภาพนิ่งทุก 10 วินาทีในเวลา 24 ชั่วโมงหรือ 1 วัน ด้วยกล้องเว็บแคมธรรมดาทั่วไป จะใช้พื้นที่ความจุกี่ไบท์ (Logitech, n.d. 2023)

1.1 จำนวนภาพที่ได้ใน 1 วัน 1 วัน = 24 ชั่วโมง 1 ชั่วโมง = 3600 วินาที

รวม = 24 × 3600 = 86,400 วินาที

ถ่ายทุก 10 วินาที ⟶ 86,400÷10=8,640 ภาพ 86,400 \div 10 = 8,640 \ ภาพ

1.2 ขนาดไฟล์ภาพจากกล้องเว็บแคมทั่วไป

ความละเอียดเว็บแคมทั่วไป: 640×480 (VGA) ถึง 1280×720 (HD) หากบันทึกเป็น JPEG ขนาดเฉลี่ย ~ 200 KB – 500 KB ต่อภาพ เพื่อความสะดวก เอาค่าเฉลี่ย 300 KB ต่อภาพ

1.3 พื้นที่รวมที่บันทึกได้ใน 1 วัน

8,640×300 KB=2,592,000 KB 8,640 \times 300 \text{ KB} = 2,592,000 \text{ KB}

แปลงเป็น MB (1 MB = 1024 KB):

2,592,000÷1024 ≈ 2,531 MB 2,592,000 \div 1024 \approx 2,531 \text{ MB}

ใช้พื้นที่รวมในการบันทึกได้ใน 1 วัน ≈ 2.5 GB ต่อวัน

2. การบันทึกวิดีโอทั่วไป (Wikipedia., 2023)

2.1 กล้องเว็บแคมธรรมดา ส่วนใหญ่ ความละเอียด 720p (1280×720) 30 fps รูปแบบการบันทึกวิดีโอทั่วไป MP4 (H.264) บิตเรต (Bitrate) ของเว็บแคม 1)ต่ำ (VGA/480p): ~1 Mbps 2) ปานกลาง (720p): ~2–3 Mbps 3) สูง (1080p): ~4–6 Mbps(1 Mbps = 1 Megabit ต่อวินาที = 0.125 MB/s เพราะ 1 Byte = 8 bits)

2.2. พื้นที่เก็บข้อมูล (ตัวอย่าง 720p ~ 2 Mbps)

1) 2 Mbps = 2 ÷ 8 = 0.25 MB/s

2) ความยาววิดีโอ 30 วินาที ⟶ 0.25×30=7.5 MB 0.25 \times 30 = 7.5 \ MB

ดัง Table 1 เปรียบเทียบ Bitrate โดยประมาณตามความละเอียดของกล้อง การใช้พื้นที่จัดเก็บในหน่วยความจำของการบันทึกไฟล์รูปแบบ วิดีโอ ใน 1 วินาที และ 30 วินาที จากกล้องที่มีความละเอียด 720p (HD)ซึ่งในการทดลองใช้ความละเอียดที่ 720p (HD) Bitrate โดยประมาณ (Digital Samba, 2023), (Wowza , 2023).

Table 1 ตารางเปรียบเทียบ Bitrate โดยประมาณ ความละเอียดของกล้อง

Approximate	Bitrate	Storage (MB/s)	Storage (MB/30s)
480p (VGA)	1 Mbps	0.125 MB/s	~3.75 MB
720p (HD)	2–3 Mbps	0.25–0.375 MB/s	~7.5–11 MB
1080p (Full HD)	4–6 Mbps	0.5–0.75 MB/s	~15–22.5 MB

ดัง Table 2 จากการทดลองเปรียบเทียบซอฟต์แวร์ที่พัฒนากับกล้อง CCTV ทั่วไป ซึ่งซอฟต์แวร์ที่พัฒนามีฟังก์ชั่นการทำงาน 3 แบบ คือ 1)บันทึกภาพนิ่ง 2)บันทึกวิดีโอขณะมีวัตถุเคลื่อนไหว 3)บันทึกวิดีโอตลอด 24 ชั่วโมง จากการทดสอบของซอฟต์แวร์ ฟังก์ชั่นที่ 3 มีการจัดบันทึกของหน่วยความจำ เท่ากันกับ กล้อง CCTV ทั่วไป จึงไม่ทำการเปรียบเทียบ จึงใช้แค่ 2 ฟังก์ชั่นของซอฟต์แวร์ที่พัฒนาเท่านั้นในการเปรียบเทียบ

Table 2 เปรียบเทียบซอฟต์แวร์ที่พัฒนากับกล้อง CCTV ทั่วไป

Comparative experiments of the developed software with conventional CCTV cameras	Functionality	Storage /day (GB)	Storage /day (GB)
1. Software developed using a web cam	1.1 Take a still photo every 10 seconds, once a day.	8,640 images/day ×300 KB/ images = 2,592,000 KB	2.5 GB/ day
	1.2 Record video while there is movement.	MB per 30 seconds 11 MB	It depends on the number of times an object passes by.
	1.3 Record video 24 hours a day.	One day has 86,400 seconds (approximate video	

Comparative experiments of the developed software with conventional CCTV cameras	Functionality	Storage /day (GB)	Storage /day (GB)
		bitrate 0.25 MB/s).=86,400 x 0.25 = 21,600 MB = 21,600/1024 = 21.09 GB	21.09 GB/day
2.General CCTV cameras	1. Record video 24 hours a day.	One day has 86,400 seconds (approximate video bitrate 0.25 MB/s).=86,400 x 0.25 = 21,600 MB = 21,600/1024 = 21.09 GB	21.09 GB/day

Table 3 พื้นที่บันทึกของซอฟต์แวร์ที่พัฒนาทำการเปรียบเทียบกับกล้อง CCTV ทั่วไปที่ต้องใช้พื้นที่ 21.09 GB/วัน

Comparative experiments of the developed software with conventional CCTV cameras	Functionality	Storage space/day (GB)	Calculated as a % of general CCTV cameras/day 21.09 (GB)
1.Software Developed Using a Web Camera	1.1 Still photography	2.5 GB/day	11.85 %
	1.2 Recording video while objects are moving is calculated at 1 hour per time (11 MB x 24)=264 MB.	0.264 GB/วัน	1.25 %
2. General CCTV Cameras	video recording	21.09 GB/day	100 %

Conclusion and Discussion

จาก Table 2 และ Table 3 การทดสอบประสิทธิภาพ โดยการวัดค่าการจัดเก็บข้อมูลจากซอฟต์แวร์ต้นแบบที่พัฒนา และนำมาทดสอบกับกล้อง CCTV ทั่วไป กับฟังก์ชั่นการทำงานที่พัฒนาขึ้นทั้ง 3 ฟังก์ชั่น แต่ที่นำมาทดสอบทั้งหมด 2 ฟังก์ชั่นคือ 1) บันทึกภาพนิ่ง 2 บันทึกวิดีโอขณะมีวัตถุเคลื่อนไหว โดยฟังก์ชั่นที่ 3 ไม่ทดลองเพราะพื้นที่ในการจัดเก็บในการบันทึกมีค่าเท่ากับกล้อง CCTV ทั่วไป โดยใช้การทดสอบในเวลา 1 วัน หรือ 24 ชั่วโมง เพื่อหาประสิทธิภาพการจัดเก็บที่ถูกต้อง จากการบันทึกด้วยกล้อง CCTV ทั่วไป และกล้อง Web cam จากซอฟต์แวร์ที่พัฒนา

โดยผลการวัดค่าการจัดเก็บในการทดสอบมีดังนี้ ฟังก์ชั่นคือ 1) บันทึกภาพนิ่ง ใช้พื้นที่จัดเก็บ 2.5 GB/วัน คิดเป็น 11.85 % ของการบันทึกวิดีโอ จากกล้อง CCTV ทั่วไป 2) บันทึกวิดีโอขณะมีวัตถุเคลื่อนไหว คิดที่ 1 ชั่วโมงต่อครั้ง (11 MB x 24)=264 MB ใช้พื้นที่จัดเก็บ 0.264 GB/วัน คิดเป็น 1.25 % ของการบันทึกวิดีโอ จากกล้อง CCTV ทั่วไป 3) ถ่ายวิดีโอด้วยกล้อง CCTV ทั่วไป และซอฟต์แวร์ที่พัฒนาโดยใช้กล้อง web cam ในเวลา 24 ชั่วโมงเท่ากันใช้พื้นที่จัดเก็บ 21.09 GB/วัน คิดเป็น 100 % ของการบันทึกวิดีโอ ในเวลา 24 ชั่วโมง

การพัฒนาซอฟต์แวร์ต้นแบบที่ใช้ในการจัดเก็บภาพถ่ายและวิดีโอด้วยกล้อง CCTV ทั่วไปทำการพัฒนาด้วยภาษา C# โดยใช้เป็นเครื่องมือในการพัฒนาซอฟต์แวร์ เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพความแม่นยำและการใช้พื้นที่บันทึกข้อมูล เมื่อทำการเปรียบเทียบกับกล้อง CCTV ทั่วไป กับข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลของระบบที่พัฒนาขึ้นใหม่ จากการทดสอบในเวลา 24 ชั่วโมง จากซอฟต์แวร์ต้นแบบที่พัฒนา และนำมาทดสอบกับกล้อง CCTV ทั่วไป ซึ่งนำมาทดสอบทั้งหมด 2 ฟังก์ชั่นคือ 1) บันทึกภาพนิ่ง 2.บันทึกวิดีโอขณะมีวัตถุเคลื่อนไหว ซึ่งใช้พื้นที่ 11.85% และ 1.25% ของกล้อง CCTV ทั่วไป ตามลำดับ ซึ่งฟังก์ชั่นที่ใช้คือ 1.บันทึกภาพนิ่ง ประหยัดพื้นที่ได้ 88.15 % ฟังก์ชั่นที่ใช้คือ 2) บันทึกวิดีโอขณะมีวัตถุเคลื่อนไหว ประหยัดพื้นที่ได้ 98.75 % ถือว่ามีประสิทธิภาพอยู่ในระดับดีมาก แสดงว่าประสิทธิภาพในการประหยัดพื้นที่ในการบันทึกข้อมูล อยู่ในระดับที่ค่อนข้างดีมาก และมีความเหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้ในงานการตรวจตราและเฝ้าระวัง อีกทั้งมีความสะดวกในการใช้งานและลดต้นทุนเพราะสามารถติดตั้งในคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลและกล้อง Web cam ทั่วไปได้ ซึ่งจะสามารถนำระบบที่พัฒนาไปประยุกต์ใช้งานเฝ้าระวังในองค์กรธุรกิจ ให้เกิดประสิทธิภาพต่อไป

Acknowledgements

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจากคณบดี ทีมผู้บริหารคณะทุกท่าน ที่กรุณาให้การสนับสนุนทุนทำวิจัย คำแนะนำให้คำปรึกษา ตลอดจนสถานที่ทำวิจัย ห้องปฏิบัติการของคณะ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง ผู้วิจัยตระหนักถึง ความตั้งใจจริงและความทุ่มเทของผู้บริหารและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

References

Barney, J. (1991). Firm resources and sustained competitive advantage. *Journal of Management, 17*(1), 99–120.

Canny, J. (1986). *A computational approach to edge detection. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,* (6), 679–698.

Digital Samba. (2023). *Unravelling video bitrate: How to boost video quality and streaming* performance. Digital Samba. Logitech. (n.d.). Logitech C270 HD Webcam. Logitech.

Gonzalez, R. C., & Woods, R. E. (2018). *Digital Image Processing* (4th ed.). Pearson.

Gill, M., & Spriggs, A. (2005). *Assessing the impact of CCTV*. Home Office Research Study 292.

Laudon, K. C., & Laudon, J. P. (2020). *Management information systems: Managing the digital firm* (16th ed.). Pearson.

Norris, C., McCahill, M., & Wood, D. (2004). *The growth of CCTV: A global perspective on the* international diffusion of video surveillance in publicly accessible space. *Surveillance &Society, 2*(2/3), 110–135.

Piccardi, M. (2004). *Background subtraction techniques*: a review. *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics,* 4, 3099–3104.

Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2016). You Only Look Once: Unified, Real–Time Object Detection. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 779–788).

Robbins, S. P., & Coulter, M. (2018). *Management* (14th ed.). Pearson.

Rad, A. A. (2017). Motion detection for real–time surveillance applications. *International Journal of Computer Applications, 168*(4), 23–28.

Ratcliffe, J. (2011). *Video surveillance and crime reduction*: The effect of CCTV on crime prevention. *Policing, 5*(3), 233–239.

Szeliski, R. (2010). *Computer Vision: Algorithms and Applications*. Springer.

Toyama, K., Krumm, J., Brumitt, B., & Meyers, B. (1999). *Wallflower: Principles and practice of background maintenance*. In *Proceedings of the Seventh IEEE International Conference on Computer Vision,* (1), 255–261.

Unterkalmsteiner, M.,Gorschek,T., Islam, A. K. M. M., Cheng, C.K., Permadi, R. B., & Feldt, R. (2023*). Evaluation and measurement of software process improvement A systematic literature review*.

Wikipedia. (2023). *Advanced Video Coding*. In Wikipedia.

Wikipedia. (2023). *Bit rate*. In Wikipedia. Form https://en.wikipedia.org/wiki/Bit_ rate

Wikipedia. (2023). *Data–rate units. In Wikipedia*. Form https://en.wikipedia.org/wiki/Data–rate_units

Wowza. (2023).*What is video bitrate and what bitrate should you use*. Wowza Media Systems. Form https://www.wowza.com/blog/what–is–video–bitrate–and–what–bitrate–

Wikipedia. (2023). *Bit rate*. In Wikipedia. Form https://en.wikipedia.org/wiki/Bit_rate

Wiegand, T., Sullivan, G. J., Bjøntegaard, G., & Luthra, A. (2003). Overview of the H.264/AVC video coding standard. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 13*(7), 560–576.

Zivkovic, Z. (2004). Improved adaptive Gaussian mixture model for background subtraction. In *Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition*, ICPR 2004 (2), pp. 28–31.

การประเมินความสัมพันธ์เชิงสถิติและการวิเคราะห์ความแปรผันเชิงช่วงเวลาของค่าความขุ่นด้วยข้อมูลดาวเทียมแบบอนุกรมเวลา บริเวณแม่น้ำกก จังหวัดเชียงราย

ภูมิพัฒน์ อุ่นบ้าน[1*], อพิชญา กันเกิด[2], คัมภีร์ ธีระเวช[1] และ นิทัศน์ นิลฉวี[1]

Statistical Relationship Assessment and Temporal Variability Analysis of Water Turbidity Using Satellite Time–Series Data in the Kok River, Chiang Rai Province

Phummipat Oonban[1*], Apichaya Kangerd[2], Kumpee Teeravech[1] and Nitat Ninchawee[2]

[1] Faculty of Computer Science and Information Technology, Rambhai Barni Rajabhat University, Chanthaburi, 22000

[2] Department of Natural Resources and Environment, Faculty of Agriculture Natural Resources and Environment, Naresuan University, Phitsanulok, 65000

* Corresponding author: phummipat.o@rbru.ac.th

Received: 1 January 2026; Revised: 13 March 2026; Accepted: 20 April 2026

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความสัมพันธ์เชิงสถิติระหว่างค่าความขุ่นของน้ำกับค่าการสะท้อนแสงจากข้อมูลภาพดาวเทียม และวิเคราะห์ความแปรผันเชิงช่วงเวลาของค่าความขุ่นในแม่น้ำกกจากข้อมูลดาวเทียมเซนติเนล–2 แบบอนุกรมเวลา ระหว่างวันที่ 1 มกราคม 2566 ถึง 31 มีนาคม 2568 โดยผ่านการประมวลผลบนแพลตฟอร์มกูเกิลเอิร์ธเอนจิน ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงอันดับระหว่างค่าความขุ่นภาคสนาม (NTU) กับดัชนี NDSSI พบว่ามีความสัมพันธ์สูงในทิศทางตรงข้าม โดยมีค่าสหสัมพันธ์แบบอันดับสเปียร์แมน และสหสัมพันธ์แบบอันดับเคนดอลล์ เท่ากับ –0.83 และ –0.64 ซึ่งบ่งชี้ถึงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนี NDSSI กับการเปลี่ยนแปลงเชิงลำดับของค่าความขุ่นในแม่น้ำกก สำหรับการวิเคราะห์ความแปรผันเชิงช่วงเวลาค่าความขุ่นแสดงรูปแบบที่มีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล โดยมีค่าความขุ่นระดับต่ำถึงปานกลางในช่วงฤดูแล้งและเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในฤดูฝน โดยพบค่าความขุ่นสูงสุดในชุดข้อมูลเท่ากับ 6,150 NTU ขณะที่ค่าดัชนี NDSSI ต่ำสุดที่ตรวจพบมีค่าเท่ากับ –0.52 ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน นอกจากนี้การวิเคราะห์ค่าผิดปกติพบว่าความขุ่นของน้ำมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในช่วงฤดูฝน โดยค่าความขุ่นที่มากกว่า 720 NTU ถูกจัดอยู่ในกลุ่มค่าผิดปกติด้านบวก ขณะที่ค่าดัชนี NDSSI ต่ำกว่า –0.13 ถูกจัดเป็นค่าผิดปกติด้านลบ ทั้งนี้การตรวจจับค่าผิดปกติของ NDSSI อ้างอิงจากช่วงเวลาที่มีข้อมูลภาพดาวเทียมเท่านั้น เนื่องจากในช่วงมรสุมหลักบางเดือนของฤดูฝนไม่มีภาพที่ผ่านเงื่อนไขการคัดเลือก ดังนั้นผลการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าข้อมูลดัชนี NDSSI จากภาพดาวเทียมแบบอนุกรมเวลาสามารถใช้ประกอบการวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าความขุ่นและการตรวจจับค่าความขุ่นที่ผิดปกติในบริเวณแม่น้ำกก จังหวัดเชียงราย

คำสำคัญ: ความขุ่น, ดัชนี NDSSI, ข้อมูลอนุกรมเวลา, กูเกิลเอิร์ธเอนจิน

---

[1] คณะวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จังหวัดจันทบุรี 22000

[2] สาขาภูมิสารสนเทศศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก 65000

Abstract

This study aims to evaluate the statistical relationship between water turbidity and surface reflectance derived from satellite imagery and to analyze the temporal variability of turbidity in the Kok River using time-series Sentinel-2 satellite data acquired between 1 January 2023 to 31 March 2025, processed on the Google Earth Engine (GEE) platform. The rank correlation analysis between field turbidity (NTU) and NDSSI showed a strong inverse relationship, with Spearman's rank correlation and Kendall's rank correlation coefficients of –0.83 and –0.64, respectively, indicating an association between NDSSI values and the ordinal variation of turbidity in the Kok River. Temporal analysis revealed a seasonal pattern in turbidity, with low to moderate levels during the dry season and a rapid increase during the rainy season. The maximum turbidity observed in the dataset was 6,150 NTU, while the minimum NDSSI value detected was –0.52, occurring at different times. Anomaly analysis indicated that turbidity tended to increase during the rainy season. Turbidity values exceeding 720 NTU were classified as positive anomalies, whereas NDSSI values lower than –0.13 were classified as negative anomalies. However, anomaly detection for NDSSI was limited to periods with available satellite imagery, as some months during the main monsoon season did not meet the image selection criteria. Overall, the results suggest that time-series NDSSI derived from satellite imagery may be useful for examining turbidity variation trends and identifying anomalous turbidity conditions in the Kok River, Chiang Rai Province.

Keywords: Turbidity, NDSSI Index, Time-Series Data, Google Earth Engine

Introduction

ความขุ่นของน้ำ (Turbidity) เป็นหนึ่งในตัวชี้วัดคุณภาพน้ำที่สะท้อนถึงปริมาณตะกอนแขวนลอย (Suspended Sediments) หรืออนุภาคแขวนลอยในน้ำ อันมีผลโดยตรงต่อการส่งผ่านแสงและกระบวนการสังเคราะห์แสงของสิ่งมีชีวิตในน้ำ ระดับความขุ่นที่มีค่าสูงทำให้คุณค่าทางสุนทรียะของแหล่งน้ำเสื่อมลงและกระทบต่อการใช้น้ำเพื่อการนันทนาการและเพิ่มต้นทุนในการบำบัดน้ำดื่ม ดังนั้นตะกอนแขวนลอยถือเป็นสาเหตุสำคัญที่นำไปสู่การเสื่อมโทรมของคุณภาพน้ำอย่างรุนแรงในหลายพื้นที่ทั่วโลกซึ่งเชื่อมโยงกับปัญหาทางนิเวศวิทยาและเศรษฐกิจ (Sahoo & Anandhi, 2023; Bilotta & Brazier, 2008) อีกทั้งยังอาจเป็นปัจจัยเสี่ยงต่อการแพร่กระจายของเชื้อโรคที่สัมพันธ์กับสุขภาพของมนุษย์ (U.S. Geological Survey, 2018)

แม่น้ำกกเป็นแม่น้ำสายสำคัญในจังหวัดเชียงรายและเป็นหนึ่งใน 17 ลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำโขงเหนือ (Chiang Mai University, 2023) โดยมีต้นกำเนิดจากรัฐฉาน ประเทศเมียนมา ไหลเข้าสู่ประเทศไทยที่อำเภอแม่อาย (จังหวัดเชียงใหม่), อำเภอเมืองเชียงราย, อำเภอเวียงชัย, อำเภอเวียงเชียงรุ้ง, อำเภอแม่จัน, อำเภอดอยหลวง และอำเภอเชียงแสน ก่อนไหลลงสู่แม่น้ำโขงต่อไป ดังนั้นจึงทำให้แม่น้ำกกเป็นแหล่งน้ำสำคัญที่หล่อเลี้ยงชีวิตและเศรษฐกิจของชุมชนในพื้นที่โดยเฉพาะพื้นที่การเกษตรริมฝั่งแม่น้ำที่ครอบคลุม 19 ตำบลและมีมูลค่าทางเศรษฐกิจสูงถึงประมาณ 3,239 ล้านบาทต่อปี (Rocket Media Lab, 2025)

รายงานจาก Shan Human Rights Foundation (2024) ระบุว่าตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 มีการทำเหมืองทองคำในหลายพื้นที่บริเวณริมแม่น้ำกกทางตอนใต้ของเมืองห้วยทราย ประเทศเมียนมา ซึ่งกิจกรรมดังกล่าวได้ก่อให้เกิดกากสารพิษ (Toxic Residue) และตะกอนจำนวนมากที่ไหลลงสู่แม่น้ำกกโดยตรง การติดตามการเปิดหน้าดินโดย Geo-Informatics and Space Technology Development Agency (Public Organization) (2025) พบการเปิดหน้าดินขนาดใหญ่กว่า 40 แห่งในช่วงปี พ.ศ. 2566 – 2567 ซึ่งสอดคล้องกับการขยายตัวของกิจกรรมเหมืองแร่และการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ต้นน้ำฝั่งประเทศเมียนมา ผลกระทบด้านสุขภาพจากการปนเปื้อนดังกล่าวจากงานวิจัยของนักวิจัยจากมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวงพบการสะสมของสารหนูในเล็บและเส้นผมของชาวบ้านร้อยละ 17.78 จากตัวอย่างทั้งหมด 90 ตัวอย่าง โดยผู้ที่ได้รับผลกระทบมีอาการชา อ่อนเพลีย ผิวหนังผิดปกติ (Transborder News, 2026) ในด้านเศรษฐกิจถูกประเมินว่ามลพิษในแม่น้ำกกอาจก่อให้เกิดความสูญเสียทางเศรษฐกิจประมาณ 1.3 พันล้านบาทต่อปี โดยส่งผลกระทบต่อภาคการประมง การท่องเที่ยว และการเกษตรกรรมในพื้นที่ (The Nation, 2025) ด้วยเหตุนี้ความขุ่นของน้ำจึงไม่ได้เป็นเพียงตัวเลขทางวิทยาศาสตร์ แต่ยังเป็นตัวชี้วัดเชิงพื้นที่ที่สะท้อนถึงความเปราะบางของพื้นที่ชายแดนอันเกิดจากพลวัตของกิจกรรมต้นน้ำ

โดยทั่วไปการวัดคุณภาพน้ำด้วยวิธีภาคสนามให้ความแม่นยำสูงแต่มีข้อจำกัดด้านเวลา ด้านค่าใช้จ่าย และการเก็บข้อมูลที่จำกัดเฉพาะจุดตรวจวัด ส่งผลให้ไม่สามารถอธิบายภาพรวมในระดับพื้นที่ได้ (Jaywant & Arif, 2024) ดังนั้นเทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกล (Remote Sensing) จึงเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับติดตามการเปลี่ยนแปลงค่าการสะท้อนของพื้นโลกที่ครอบคลุมทั้งในเชิงพื้นที่และเชิงเวลา จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าในช่วงปี พ.ศ. 2562 – 2567 ข้อมูลจากดาวเทียมเซนติเนล-2 ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในการติดตามคุณภาพน้ำเนื่องจากมีความละเอียดเชิงพื้นที่และเชิงเวลาสูง ทำให้เหมาะสมกับการติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในลำน้ำและเขื่อน (Ngamile, Madonsela & Kganyago, 2025) ซึ่งมีงานวิจัยจำนวนมากให้ความสำคัญกับการประยุกต์ใช้ข้อมูลจากดาวเทียมเซนติเนล-2 ในการประเมินค่าความขุ่นของน้ำ (Caballero et al., 2018; Pisanti et al. 2022; & Garg et al,. 2020) นอกจากนี้แพลตฟอร์มกูเกิลเอิร์ธเอนจิน (Google Earth Engine: GEE) ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลายในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ เนื่องจากสามารถจัดการกับข้อมูลขนาดใหญ่ได้อย่างรวดเร็ว (Gorelick et al., 2017) แม้ว่างานวิจัยด้านการใช้ภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อติดตามความขุ่นจะมีอยู่มากทั่วโลก แต่สำหรับแม่น้ำกกยังไม่ปรากฏการศึกษาในลักษณะการใช้ข้อมูลจากดาวเทียมเซนติเนล-2 วิเคราะห์ค่าความขุ่นในแม่น้ำกกแบบอนุกรมเวลา งานวิจัยนี้จึงมุ่งหวังที่จะเติมเต็มช่องว่างทางความรู้ดังกล่าว โดยใช้ชุดข้อมูลการตรวจวัดค่าความขุ่นภาคสนาม (Nephelometric Turbidity Units: NTU) ควบคู่กับข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมเซนติเนล-2 แบบอนุกรมเวลาเพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นกับค่าการสะท้อนแสงจากข้อมูลดาวเทียม และอธิบายความแปรผันเชิงช่วงเวลาของค่าความขุ่นในแม่น้ำกก

Objectives

1. เพื่อประเมินความสัมพันธ์เชิงสถิติระหว่างค่าความขุ่นและดัชนี NDSSI จากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมเซนติเนล-2 แบบอนุกรมเวลา

2. เพื่อวิเคราะห์ความแปรผันเชิงช่วงเวลาของค่าความขุ่นร่วมกับข้อมูล ภาพถ่ายจากเซนติเนล-2 แบบอนุกรมเวลา พ.ศ. 2566 – 2568 บริเวณแม่น้ำกก จังหวัดเชียงราย

Study Area

บริเวณศูนย์กลางของพื้นที่ศึกษามีตำแหน่งภูมิศาสตร์ที่ละติจูด 19.921205° เหนือ และลองจิจูด 99.817630° ตะวันออก ซึ่งตั้งอยู่ทางตอนเหนือของประเทศไทยในเขตจังหวัดเชียงราย ครอบคลุมส่วนหนึ่งของแม่น้ำกก ซึ่งมีต้นกำเนิดจากพื้นที่ภูเขาทางตะวันออกของรัฐฉาน สาธารณรัฐแห่งสหภาพเมียนมา แล้วไหลเข้าสู่ประเทศไทยทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ผ่านอำเภอแม่อาย จังหวัดเชียงใหม่ ต่อเนื่องเข้าสู่จังหวัดเชียงราย อีกทั้งลุ่มน้ำกกเป็นหนึ่งในลุ่มน้ำสาขาที่สำคัญของแม่น้ำโขง (สบกก) โดยไหลผ่านตัวเมืองเชียงรายและบรรจบแม่น้ำโขงที่อำเภอเชียงแสน จังหวัดเชียงรายต่อไปดังแสดงใน Figure 1

ลักษณะทางกายภาพของบริเวณที่ศึกษาเป็นช่วงแม่น้ำที่มีความกว้างเฉลี่ยประมาณ 100 เมตร ลำน้ำมีลักษณะคดเคี้ยวและเปลี่ยนทิศทางไหลตามภูมิประเทศโดยรอบ พื้นที่สองฝั่งแม่น้ำส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรมและพื้นที่ชุมชนซึ่งมีการใช้ประโยชน์ที่ดินหลากหลาย ตำแหน่งที่สนใจดังกล่าวถูกเลือกเป็นพื้นที่ศึกษาเนื่องจากเป็นตำแหน่งที่ใกล้เคียงกับสถานีควบคุมการผลิตน้ำประปา ของการประปาส่วนภูมิภาค สาขาเชียงราย ซึ่งเป็นจุดเก็บบันทึกข้อมูลคุณภาพน้ำและค่าความขุ่นของแม่น้ำกก ทำให้เหมาะสมต่อการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำและความขุ่นของแม่น้ำทั้งเชิงพื้นที่และเชิงเวลา

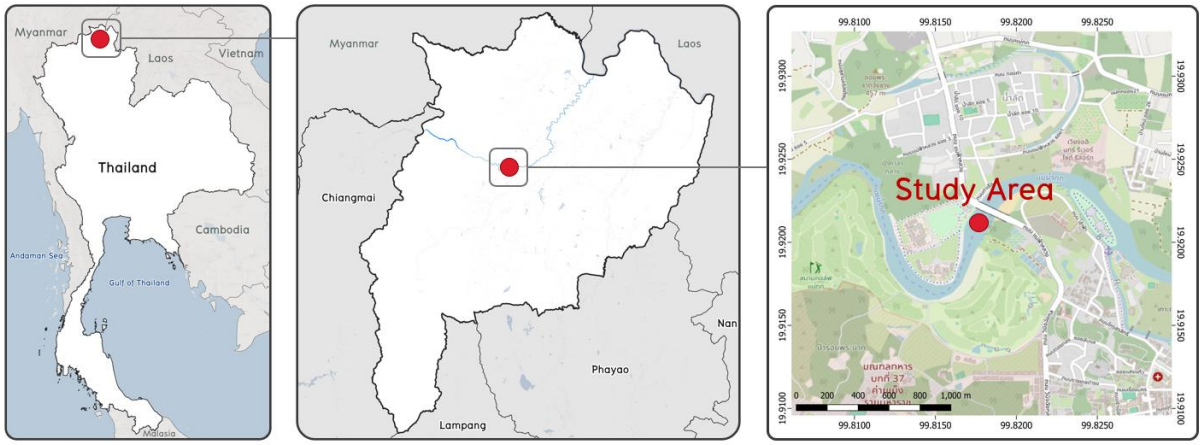


Figure 1 Map showing the study area in the Kok River at latitude 19.918564° N and longitude 99.821838° E

Methodology

การศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นภาคสนามกับดัชนี Normalized Difference Suspended Sediment Index (NDSSI) ที่คำนวณจากภาพดาวเทียมเซนติเนล–2 และวิเคราะห์ความแปรผันเชิงช่วงเวลาของค่าความขุ่นในแม่น้ำกก ในส่วนนี้จะครอบคลุมตั้งแต่ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา การคำนวณดัชนี การสกัดค่าการสะท้อนแสง การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงสถิติ การวิเคราะห์ความผันแปรเชิงช่วงเวลา และการระบุค่าผิดปกติ ดังแสดงรายละเอียดใน Figure 2

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

ค่าความขุ่นภาคสนาม

การตรวจวัดค่าความขุ่นภาคสนามในครั้งนี้ผู้วิจัยได้รับการสนับสนุนข้อมูลจากรายงานผลการตรวจสอบคุณภาพน้ำแหล่งน้ำดิบของการประปาส่วนภูมิภาค สาขาเชียงราย โดยใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัด ณ สถานีผลิตน้ำประปา โรงกรองน้ำวังคำ (19.918564° เหนือ และลองจิจูด 99.821838° ตะวันออก) ครอบคลุมช่วงเวลาตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2566 – 31 มีนาคม พ.ศ. 2568 โดยบันทึกข้อมูลวันละ 3 ครั้ง (08:00, 16:00 และ 22:00 น.) พารามิเตอร์คุณภาพน้ำที่บันทึกประกอบไปด้วย ค่า pH, สี, กลิ่น, แมงกานีส, คลอไรด์ และค่าความขุ่นในหน่วยวัด NTU โดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงสถิติในงานวิจัยนี้ใช้ค่า NTU เป็นตัวแปรเปรียบเทียบกับค่าดัชนี NDSSI ที่คำนวณจากข้อมูลภาพดาวเทียมโดยใช้ค่าจริงจากการตรวจวัด แม้ว่าการตรวจวัดจะดำเนินการที่สถานีผลิตน้ำประปา แต่ข้อมูลดังกล่าวยังสามารถใช้เป็นตัวแทนของค่าความขุ่นในแม่น้ำกกได้ เนื่องจากน้ำดิบที่เข้าสู่กระบวนการผลิตน้ำประปาถูกสูบจากแม่น้ำกกโดยตรงและไม่ได้ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำก่อนการตรวจวัด ดังนั้นค่าความขุ่นที่บันทึกได้จากภาคสนามจึงสะท้อนสภาพของน้ำดิบในแม่น้ำณ ช่วงเวลานั้น ๆ และสามารถนำไปใช้วิเคราะห์ร่วมกับค่าการสะท้อนแสงจากข้อมูลดาวเทียมเซนติเนล–2 ได้

ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมเซนติเนล–2

ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้คือผลิตภัณฑ์ Harmonized Sentinel–2 MSI: MultiSpectral Instrument, Level–2A (SR) (COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED) ให้บริการบนแพลตฟอร์ม GEE ซึ่งเป็นข้อมูลที่ผ่านการแก้ไขบรรยากาศด้วยอัลกอริทึม Sen2Cor เพื่อปรับค่าการสะท้อนแสงให้อยู่ในระดับพื้นผิว (Surface Reflectance) ที่เหมาะสมต่อการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ สำหรับการวิจัยในครั้งนี้ดำเนินการสืบค้นและเตรียมข้อมูลโดยดำเนินการตามขั้นตอนหลัก 5 ขั้นตอน ประกอบไปด้วย (1) Spatial subsetting เพื่อกำหนดขอบเขตพื้นที่เฉพาะบริเวณพื้นที่ศึกษา, (2) Temporal Filtering จำกัดช่วงเวลาการสืบค้นให้ครอบคลุมระหว่างวันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2566 ถึง 31 มีนาคม พ.ศ. 2568 เพื่อให้สอดคล้องกับข้อมูลภาคสนาม, (3) Cloud Filtering กำหนดให้คัดเลือกเฉพาะภาพที่มีเมฆปกคลุมน้อยกว่าร้อยละ 30 เพื่อให้ได้ภาพที่มีคุณภาพเพียงพอต่อการวิเคราะห์, (4) Cloud Masking ดำเนินการคัดจุดภาพที่ถูกเมฆหรือเมฆเซอรัสปกคลุมไม่นำเข้าสู่กระบวนการคำนวณโดยใช้ QA60 เป็นตัวกรองคุณภาพของภาพเพื่อคัดเลือกเฉพาะจุดภาพที่ปราศจากเมฆในบริเวณพื้นที่ศึกษา และ (5) Reflectance Scaling โดยดำเนินการหารค่าการสะท้อนแสงด้วย 10,000 เพื่อปรับให้อยู่ในช่วงค่ามาตรฐาน 0 – 1

การคำนวณดัชนี และการสกัดค่าการสะท้อนแสง

ดัชนี NDSSI ถูกพัฒนาโดย Hossain et al. (2010) เพื่อใช้ประเมินความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยในน้ำ โดยอาศัยค่าการสะท้อนแสงจากช่วงคลื่นสีน้ำเงิน (0.450–0.515 μm) และช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (0.750–0.900 μm) ของดาวเทียม Landsat 7 ETM+ สำหรับการศึกษาครั้งนี้ได้นำแนวคิดดังกล่าวมาประยุกต์ใช้กับภาพถ่ายดาวเทียมเซนติเนล–2 ซึ่งแม้จะมีความแตกต่างของช่วงความยาวคลื่น แต่มีคุณสมบัติใกล้เคียงและสามารถใช้ทดแทนช่วงคลื่นของ Landsat 7 ETM+ เพื่อการตรวจจับตะกอนแขวนลอยในน้ำได้อย่างเหมาะสม โดยใช้ช่วงคลื่นสีน้ำเงิน (0.496 μm สำหรับเซนติเนล–2A และ 0.492 μm สำหรับ เซนติเนล–2B) และช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (0.835 μm สำหรับ เซนติเนล–2A และ 0.833 μm สำหรับ เซนติเนล–2B) แนวทางดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้า (Kavan et al., 2022; Sankaran et al., 2023) และใช้สมการเดียวกับที่ Hossain et al. (2010) ได้กำหนดไว้ ดังแสดงใน Equation 1

$$NDSSI = \frac{Blue-NIR}{Blue+NIR} \quad \text{(Equation 1)}$$

โดยที่ $Blue$ หมายถึง ค่าการสะท้อนแสงจากช่วงคลื่นสีน้ำเงิน และ NIR หมายถึง ค่าการสะท้อนแสงจากช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ ค่าของ NDSSI จะอยู่ในช่วง –1 ถึง +1 โดยค่าที่ใกล้ +1 แสดงถึงน้ำสภาวะน้ำใสและมีความเข้มข้นของตะกอนต่ำ ในทางตรงกันข้ามค่าที่ใกล้ –1 แสดงถึงสภาวะน้ำขุ่นและมีความเข้มข้นของตะกอนสูง

นอกจากนี้ การเลือกใช้ดัชนี NDSSI เป็นดัชนีหลักในการศึกษาครั้งนี้สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Nontapon et al. (2025) ที่ได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของดัชนีหลายประเภท ได้แก่ NDSSI, Normalized Suspended Material Index (NSMI) และ Normalized Difference Turbidity Index (NDTI) สำหรับการประมาณความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย (SSC) ในแม่น้ำโขง โดยผลการศึกษาพบว่าดัชนี NDSSI ให้ค่าความสัมพันธ์กับข้อมูลภาคสนามสูงที่สุด โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.723 และค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) เท่ากับ 20.20 มิลลิกรัมต่อลิตร นอกจากนี้แม่น้ำกกเป็นลำน้ำสาขาที่ไหลลงสู่แม่น้ำโขง ซึ่งมีลักษณะการไหลตามฤดูกาลที่ได้รับอิทธิพลจากมรสุมคล้ายคลึงกัน อีกทั้งพื้นที่ต้นน้ำโดยรอบประกอบด้วยการใช้ประโยชน์ที่ดินด้านเกษตรกรรม พื้นที่ชุมชน และพื้นที่ป่า ซึ่งเป็นลักษณะที่พบได้ทั่วไปในลุ่มน้ำตอนบนของแม่น้ำโขง ส่งผลให้กระบวนการพัดพาตะกอนแขวนลอยและความแปรผันของความขุ่นของน้ำมีลักษณะใกล้เคียงกันจึงทำให้การประยุกต์ใช้ดัชนี NDSSI มีความเหมาะสมสำหรับการติดตามการเปลี่ยนแปลงของตะกอนแขวนลอยในพื้นที่ศึกษา

สำหรับการสกัดค่าการสะท้อนแสงเพื่อวิเคราะห์ความขุ่นของน้ำในแม่น้ำกก เริ่มจากการสกัดค่าดัชนี NDSSI ที่คำนวณไว้ในส่วนก่อนหน้า โดยกำหนดจุดสนใจที่พิกัดละติจูด 19.921205° เหนือ และลองจิจูด 99.817630° ตะวันออก ซึ่งใกล้เคียงกับบริเวณโรงกรองน้ำวังคำ ทั้งนี้ การเลือกใช้ข้อมูลจากตำแหน่งดังกล่าวเพียงหนึ่งจุดภาพมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) ลดความเสี่ยงจากการปะปนของสัญญาณสะท้อนแสงที่ไม่ต้องการ เช่น พืชพรรณริมตลิ่ง สันดอนทราย สิ่งปลูกสร้างริมแม่น้ำ หรือผลกระทบจากเมฆ และเงาของเมฆ ซึ่งอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของค่าการสะท้อนแสงของแม่น้ำกกได้ โดยดำเนินการบนแพลตฟอร์ม GEE ด้วยฟังก์ชัน reduceRegions เพื่อสกัดค่าดัชนี NDSSI ของแต่ละภาพที่ผ่านเงื่อนไขการสืบค้น ผลลัพธ์ที่ได้คือข้อมูลแบบอนุกรมเวลาของ NDSSI ซึ่งสะท้อนการเปลี่ยนแปลงของตะกอนแขวนลอยในแม่น้ำและถูกใช้เชื่อมโยงกับค่าความขุ่นภาคสนามในการวิเคราะห์ความแปรผันเชิงช่วงเวลาในขั้นตอนถัดไป

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงสถิติ

การศึกษาครั้งนี้ประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ทางสถิติทั้งแบบที่เหมาะสมกับข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปกติ (Parametric) และข้อมูลที่ไม่มีการแจกแจงแบบปกติ (Non–Parametric) เพื่อให้สามารถตรวจสอบได้ทั้งความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงและความสัมพันธ์เชิงอันดับ โดยวิธีการทางสถิติที่นำมาใช้ในการศึกษามีรายละเอียดดังต่อไปนี้

สำหรับความสัมพันธ์เชิงเส้นประยุกต์ใช้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson's Correlation Coefficient : r) ซึ่งพัฒนาจากสูตร Coefficient Of Correlation ของ Pearson (1895) ใช้เพื่อประเมินระดับความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงและคำนวณสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination: R^2) เพื่อบ่งชี้สัดส่วนของความแปรปรวนในค่าความขุ่นที่อธิบายได้โดย NDSSI และสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ความแข็งแกร่งและทิศทางของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร (Zhou et al.,2023) ดังแสดงใน Equation 2

$$r = \frac{n(\Sigma xy)-(\Sigma x)(\Sigma y)}{\sqrt{[n(\Sigma x^2)-(\Sigma x)^2][(\Sigma y^2)-(\Sigma y)^2]}} \quad \text{(Equation 2)}$$

โดยที่ r หมายถึง ตัวเลขที่แสดงขนาดและทิศทางของความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง, n หมายถึง จำนวนชุดข้อมูล (x, y) ที่นำมาวิเคราะห์, Σx หมายถึง ผลรวมของค่า x, Σy หมายถึง ผลรวมของค่า y, Σxy หมายถึง ผลรวมของการคูณ x และ y, Σx^2 หมายถึง ผลรวมของค่า x ยกกำลังสอง, Σy^2 หมายถึง ผลรวมของค่า y ยกกำลังสอง

นอกจากนี้ประยุกต์ใช้แบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression) ที่พัฒนาโดย Draper&Smith (1998) เพื่ออธิบายความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปร ดังแสดงใน Equation 3

$$Y = b_0 + b_1 x \quad \text{(Equation 3)}$$

โดยที่ Y หมายถึง ค่าที่คาดการณ์ ของตัวแปร Y ที่จะได้เมื่อทราบค่า x, x หมายถึง ตัวแปรอิสระใช้ในการอธิบายหรือทำนายการเปลี่ยนแปลงของ Y, b_0 หมายถึง ค่าคงที่ หรือ จุดตัดแกน Y เป็นค่าที่คาดการณ์ของ Y เมื่อ x มีค่าเท่ากับศูนย์ Y, b_0 หมายถึง สัมประสิทธิ์การถดถอย หรือ ความชัน

สำหรับการตรวจสอบความสัมพันธ์ที่ไม่จำเป็นต้องเป็นเชิงเส้นการศึกษาครั้งนี้ใช้ สหสัมพันธ์แบบอันดับสเปียร์แมน (Spearman's Rank Correlation) ดังแสดงใน Equation 4 (Spearman, 1904) และสหสัมพันธ์แบบอันดับเคนดอลล์ (Kendall's Tau) เพื่อทดสอบความน่าเชื่อถือของการวิเคราะห์ในกรณีที่ข้อมูลไม่เป็นปกติหรือมีค่าซ้ำ ดังแสดงใน Equation 5 (Kendall, 1938)

$$r_s = 1 - \frac{6\sum d_i^2}{n(n^2-1)} \quad \text{(Equation 4)}$$

โดยที่ r_s คือสหสัมพันธ์แบบอันดับสเปียร์แมน n หมายถึง จำนวนคู่ของการสังเกต d_i หมายถึง ผลต่างระหว่างอันดับ ของตัวแปรทั้งสองคู่ที่ i

$$T = 1 - \frac{(C-D)}{\frac{1}{2}n(n-1)} \quad \text{(Equation 5)}$$

โดยที่ T หมายถึง สหสัมพันธ์แบบอันดับเคนดอลล์, n หมายถึง จำนวนคู่ของการสังเกต C หมายถึง จำนวน คู่ที่สอดคล้องกัน (อันดับของทั้งสองตัวแปรมีทิศทางไปทางเดียวกัน) D หมายถึง จำนวน คู่ที่ไม่สอดคล้องกัน (อันดับของทั้งสองตัวแปรมีทิศทางตรงกันข้าม)

การเลือกใช้วิธีการทางสถิติข้างต้นมีวัตถุประสงค์เพื่อให้การวิเคราะห์มีความครอบคลุม ทั้งในกรณีที่ข้อมูลมีความสัมพันธ์เชิงเส้นที่ชัดเจน (สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ และการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย) และในกรณีที่ข้อมูลมีความซับซ้อนหรือไม่เป็นไปตามการแจกแจงปกติ (สหสัมพันธ์แบบอันดับสเปียร์แมน และสหสัมพันธ์แบบอันดับเคนดอลล์) วิธีการทางสถิติดังกล่าวร่วมกันจะช่วยให้ผลการวิเคราะห์มีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น และสะท้อนความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลค่าความขุ่นภาคสนามกับดัชนี NDSSI ได้อย่างถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น

การวิเคราะห์ความแปรผันเชิงช่วงเวลา

เพื่อตรวจสอบพลวัตของค่าความขุ่นในแม่น้ำกกทั้งจากข้อมูลค่าความขุ่นภาคสนามและค่าดัชนี NDSSI ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิเคราะห์แนวโน้มระยะยาวโดยใช้กราฟอนุกรมเวลา (Time–Series Graph) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าทั้งสองชุด และตรวจจับช่วงเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญของค่าความขุ่นในแม่น้ำกก โดยส่งออกข้อมูลกราฟอนุกรมเวลาจากแพลตฟอร์ม GEE ในรูปแบบไฟล์ CSV สำหรับใช้ในการวิเคราะห์ภายนอกแพลตฟอร์ม จากนั้นจึงนำข้อมูลดังกล่าวจัดทำกราฟอนุกรมเวลาเพื่อแสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของ NDSSI และค่าความขุ่นภาคสนาม โดยอธิบายผ่านกราฟความหนาแน่น (Density Plot) และกราฟไวโอลิน (Violin Plot) เพื่อแสดงรูปแบบการกระจายและความหนาแน่นของข้อมูล ซึ่งจะช่วยให้เห็นความแตกต่างของข้อมูลชัดเจนยิ่งขึ้น อีกทั้งยังมีประโยชน์ต่อการทำความเข้าใจลักษณะการเปลี่ยนแปลงเชิงเวลาของค่าความขุ่น

การระบุค่าผิดปกติ

เพื่อทำการตรวจสอบความผิดปกติของค่าความขุ่นผู้วิจัยได้ใช้กราฟแสดงค่าความผิดปกติในการวิเคราะห์ข้อมูลอนุกรมเวลา เพื่อระบุค่าที่มีแนวโน้มสูงหรือต่ำผิดปกติเมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยระยะยาวของชุดข้อมูล โดยใช้เกณฑ์ทางสถิติเป็นพื้นฐานในการประเมินความผิดปกติ ทั้งนี้ได้คำนวณค่าเฉลี่ย (Average) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ของค่าความขุ่นทั้ง 2 ชุดข้อมูล

สำหรับข้อมูลค่าความขุ่นภาคสนามกำหนดให้ค่าใด ๆ ที่มีค่ามากกว่าผลรวมของค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจะถูกจัดเป็นค่าผิดปกติในเชิงบวก (Positive Anomalies) เนื่องจากค่าความขุ่นในหน่วย NTU มีค่าเป็นบวกเสมอ ในขณะที่ข้อมูลค่าดัชนี NDSSI การระบุค่าผิดปกติจะพิจารณาจากค่าใด ๆ ที่ต่ำกว่าผลต่างของค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งจะถือเป็นค่าผิดปกติในเชิงลบ (Negative Anomalies) ทั้งนี้เนื่องจากค่าดัชนี NDSSI มีค่าผกผันกับค่า NTU การที่ค่า NDSSI ลดต่ำลงจึงสะท้อนถึงการเพิ่มขึ้นของค่าความขุ่นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับสภาวะปกติ

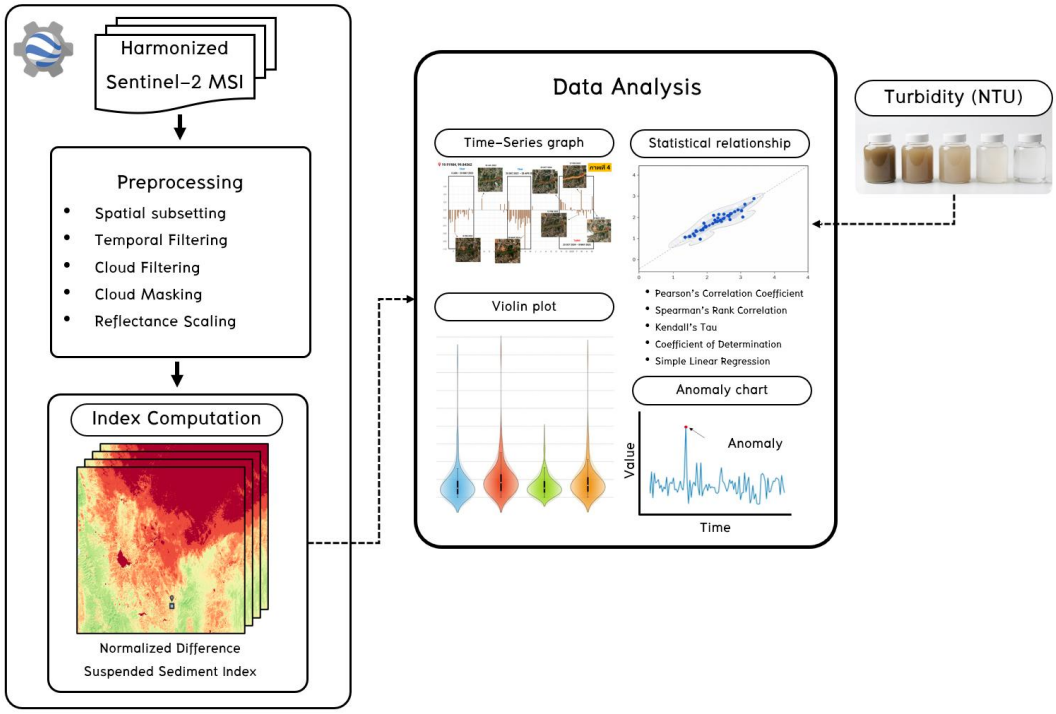


Figure 2 Conceptual framework and methodological workflow of the study

Results

หลังจากดำเนินการสืบค้น เตรียมข้อมูล และประมวลผลตามระเบียบวิธีที่กำหนดไว้แล้วเสร็จ ส่วนนี้จึงนำเสนอผลการวิเคราะห์เชิงพื้นที่และเชิงช่วงเวลาตลอดจนความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนี NDSSI และค่าความขุ่นภาคสนามโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ผลการสืบค้นภาพถ่ายจากดาวเทียมเซนติเนล-2

จากกระบวนการสืบค้นและประมวลผลภาพถ่ายจากดาวเทียมเซนติเนล-2 ตามขั้นตอนและเงื่อนไขที่กำหนดไว้ ผู้วิจัยสามารถรวบรวมและคัดเลือกภาพถ่ายที่ผ่านเงื่อนไขได้จำนวนทั้งสิ้น 80 ภาพ ซึ่งครอบคลุมระหว่างวันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2566 ถึง 31 มีนาคม พ.ศ. 2568 อย่างไรก็ตามภายหลังจากการตรวจสอบพบว่ามีจำนวน 19 ภาพ ไม่เหมาะสมต่อการนำมาวิเคราะห์และอาจส่งผลกระทบให้เกิดความคลาดเคลื่อนของข้อมูล เช่น จุดภาพบริเวณพื้นที่ศึกษาได้รับผลกระทบจากเงาเมฆ หรือจุดภาพได้รับการรบกวนจากเมฆ ดังแสดงใน Figure 3 (a) และ Figure 3 (b) ตามลำดับ ทั้งนี้หากมีการสกัดค่าข้อมูลจากหลายจุดภาพในภาพจะส่งผลให้เกิดการปะปนกันของข้อมูลและมีผลกระทบให้ค่าการสะท้อนแสงของน้ำมีความแปรปรวนสูง ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงดำเนินการคัดภาพดังกล่าวออกจากกระบวนการวิเคราะห์ส่งผลให้มีภาพที่สามารถใช้ในการวิเคราะห์ได้ทั้งหมด 61 ภาพโดยแสดงตัวอย่างภาพที่สามารถใช้สำหรับการวิเคราะห์ได้ในภาพใน Figure 3 (c)

เมื่อพิจารณาการกระจายเชิงเวลาของภาพถ่ายจากดาวเทียมเซนติเนล-2 พบว่าจำนวนภาพที่ใช้ได้มีความแปรผันตลอดทั้งปี โดยมีภาพจำนวนมากในช่วงฤดูแล้งและลดลงหรือไม่พบเลยในช่วงฤดูฝนของทุกปี ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะภูมิอากาศแบบมรสุมเขตร้อนของภาคเหนือประเทศไทยที่มีเมฆปกคลุมหนาแน่นในฤดูฝน ส่งผลให้ไม่สามารถสืบค้นภาพปลอดเมฆตามเกณฑ์ที่กำหนดได้

เมื่อพิจารณารายเดือนพบว่าเดือนกุมภาพันธ์ทั้งในปี พ.ศ. 2567 และ พ.ศ. 2568 มีจำนวนภาพมากที่สุดเท่ากับ 6 ภาพต่อเดือน ขณะที่เดือนสิงหาคมและกันยายนของทุกปีไม่ปรากฏภาพที่ผ่านเกณฑ์คุณภาพสำหรับการวิเคราะห์ โดยภาพส่วนใหญ่มักจะพบในช่วงเดือนมกราคมถึงพฤษภาคมของแต่ละปี และลดลงอย่างมากในช่วงกลางปีระหว่างเดือนมิถุนายนถึงกันยายน ซึ่งเป็นช่วงที่มีเมฆปกคลุมพื้นที่ศึกษาเกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนด สำหรับช่วงปลายปีระหว่างเดือนตุลาคมถึงธันวาคม พบว่าจำนวนภาพเพิ่มขึ้นเล็กน้อยโดยเฉพาะเดือนพฤศจิกายนและธันวาคมที่มีภาพเฉลี่ยจำนวน2–3 ภาพต่อเดือน เมื่อพิจารณาในภาพรวมรายปีพบว่าจำนวนภาพที่ผ่านเงื่อนไขตามเกณฑ์ที่กำหนดมีแนวโน้มสอดคล้องกับรูปแบบการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล โดยแต่ละปีจะมีช่วงเวลาที่สามารถสืบค้นภาพได้ในฤดูแล้งและลดลงเป็นลำดับในฤดูฝน ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงข้อจำกัดของการสังเกตการณ์ด้วยข้อมูลดาวเทียมแบบออปติคัลในพื้นที่เขตร้อนที่มีสภาพอากาศแปรปรวนและมีเมฆปกคลุมเป็นเวลานาน รายละเอียดการกระจายของภาพถ่ายในแต่ละเดือนและวันที่บันทึกภาพดังแสดงใน Table 1

Table 1 Temporal Distribution of Sentinel–2 Satellite Images

Year	Month	Number of Scenes	Image Dates
2023	January	4	4, 9, 14, 24
	February	3	3, 8, 13
	March	1	15
	April	2	19, 29
	May	2	4, 19
	June	–	–
	July	–	–
	August	–	–
	September	–	–
	October	1	26
	November	3	5, 25, 30
	December	3	15, 20, 30
2024	January	3	4, 9, 19
	February	6	3, 8, 13, 18, 23, 28
	March	5	4, 9, 14, 24, 29
	April	3	13, 23, 28
	May	1	3
	June	–	–
	July	–	–
	August	–	–
	September	–	–
	October	3	15, 25, 30

Year	Month	Number of Scenes	Image Dates
	November	3	4, 19, 24
	December	3	4, 24, 29
2025	January	5	3, 13, 18, 23, 28
	February	5	2, 7, 12, 17, 22, 27
	March	4	4, 14, 24, 29

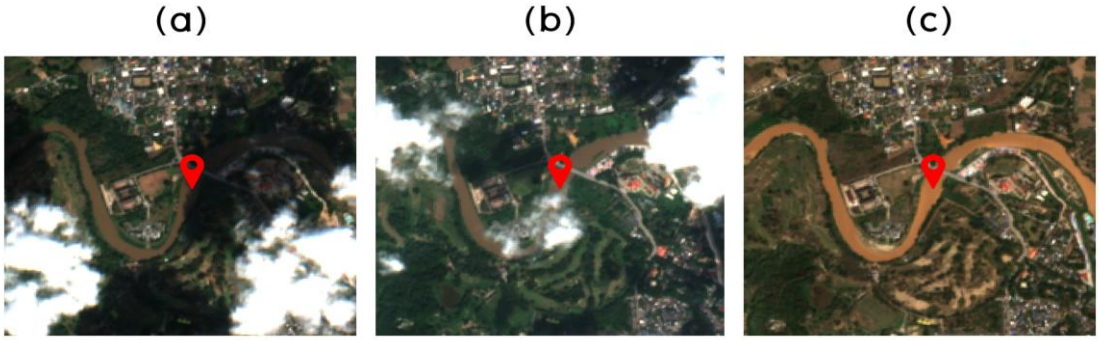


Figure 3 Results of Sentinel–2 Images Acquisition

ผลลัพธ์การคำนวณดัชนี NDSSI และการสกัดค่าการสะท้อนแสง

ผลลัพธ์ของการคำนวณค่าดัชนี NDSSI จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมเซนติเนล–2 ในสองช่วงเวลา ได้แก่วันที่ 8 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2566 ดังแสดงใน Figure 4 (a) และวันที่ 27 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2568 ดังแสดงใน Figure 4 (b) โดยแสดงภาพแบบสีผสมจริง (True Color Composite) ควบคู่กับภาพผลลัพธ์ของดัชนี NDSSI

เมื่อเปรียบเทียบภาพวันที่ 8 กุมภาพันธ์ 2566 พบว่าสีของน้ำในภาพแบบสีผสมจริงมีลักษณะเป็นสีเขียวหม่นและค่อนข้างสม่ำเสมอตลอดแนวลำน้ำในบริเวณพื้นที่ศึกษาซึ่งสอดคล้องกับผลลัพธ์ดัชนี NDSSI ณ ตำแหน่งที่สนใจให้ค่าเป็นบวกโดยมีค่าเท่ากับ 0.396 แสดงถึงสภาวะน้ำใสเนื่องจากมีปริมาณตะกอนแขวนลอยในระดับต่ำ มีค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นสีน้ำเงินและช่วงคลื่นใกล้อินฟราเรดเท่ากับ 0.037 และ 0.016 ตามลำดับ

ในทางตรงกันข้ามภาพวันที่ 27 กุมภาพันธ์ 2568 แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำในภาพแบบสีผสมจริงเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้มต่อเนื่องและมีความเข้มของสีที่แตกต่างกัน ซึ่งบ่งชี้ถึงการเพิ่มขึ้นของตะกอนแขวนลอย ผลการคำนวณดัชนี NDSSI ณ ตำแหน่งที่สนใจให้ค่าเป็นลบโดยมีค่าเท่ากับ –0.522 สอดคล้องกับการสะท้อนแสงที่เพิ่มขึ้นในช่วงคลื่นสีน้ำเงินและช่วงคลื่นใกล้อินฟราเรดมีค่าเท่ากับ 0.075 และ 0.239 ตามลำดับ

จากนั้นดัชนี NDSSI ทุกภาพถูกสกัดโดยใช้ฟังก์ชัน reduceRegions ณ ตำแหน่งที่สนใจเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบค่าระหว่างช่วงเวลาได้อย่างสอดคล้องกัน

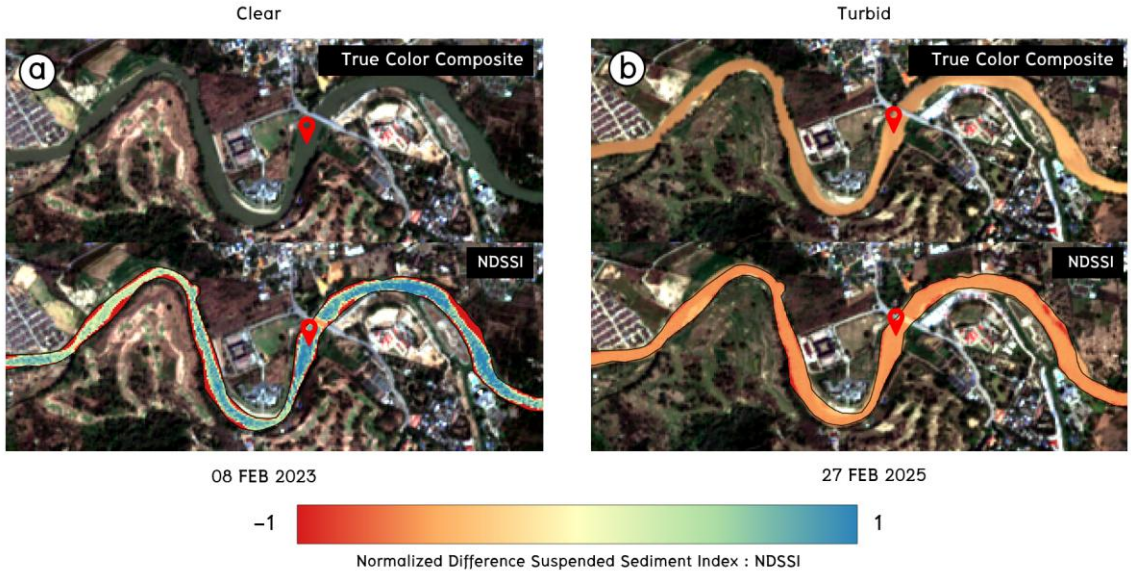


Figure 4 NDSSI Analysis Results for the Kok River

ผลลัพธ์การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงสถิติ

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นภาคสนาม และค่าดัชนี NDSSI ที่คำนวณจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมเซนติเนล–2 จำนวน 61 ชุดข้อมูล เพื่อประเมินระดับความสัมพันธ์และรูปแบบความเชื่อมโยงระหว่างค่าการสะท้อนแสงเชิงสเปกตรัม (NDSSI) กับค่าความขุ่นของน้ำจากการสำรวจภาคสนาม (NTU) ได้แสดงไว้ใน Table 2

ผลการวิเคราะห์เชิงสถิติแสดงให้เห็นว่าค่าความขุ่นภาคสนามมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 148.71 NTU มัธยฐาน 67.90 NTU ฐานนิยม 30.90 NTU ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 452.33 NTU โดยมีค่าต่ำสุด 20.50 NTU และค่าสูงสุด 3,560.00 NTUซึ่งสะท้อนถึงการกระจายตัวของข้อมูลในระดับกว้างและความแปรปรวนสูง ในขณะที่ค่าดัชนี NDSSI มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.10 มัธยฐาน 0.09 ฐานนิยม −0.21 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.23 โดยมีค่าต่ำสุด และค่าสูงสุดเท่ากับ −0.52 และ 1.00 ตามลำดับ ซึ่งแสดงถึงค่าการสะท้อนแสงจากผิวน้ำที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของตะกอนแขวนลอยในแต่ละช่วงเวลาที่แตกต่างกัน นอกจากนี้จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นภาคสนามและดัชนี NDSSI พบว่ามีความสัมพันธ์เชิงเส้นในทิศทางลบโดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สันเท่ากับ −0.46 แสดงถึงความสัมพันธ์เชิงเส้นในระดับปานกลาง

สำหรับสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายที่ได้จากข้อมูลคือ NDSSI = –0.0002 × NTU + 0.1381 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.21 ดังแสดงใน Figure 5 (a) แสดงให้เห็นว่าค่าความขุ่นภาคสนามสามารถอธิบายความแปรปรวนของค่า NDSSI ได้ค่อนข้างต่ำประมาณร้อยละ 21 ส่วนที่เหลือร้อยละ 79 อาจเกิดจากปัจจัยอื่น เช่น ความสว่างของจุดภาพ การบดบังที่เกิดจากเงาของเมฆ หรืออื่น ๆ นอกจากนี้พื้นที่เงาสีส้มซึ่งแสดงช่วงความเชื่อมั่นของเส้นถดถอยมีการขยายตัวกว้างขึ้นในช่วงค่าความขุ่นสูงสะท้อนถึงความไม่แน่นอนของการประมาณค่าในช่วงดังกล่าว

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์เชิงอันดับ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบสเปียร์แมน เท่ากับ –0.84 แสดงถึงความสัมพันธ์เชิงอันดับที่มีทิศทางตรงกันข้ามในระดับสูงมากอย่างมีนัยสำคัญ สะท้อนว่าลำดับของค่าความขุ่นและค่าดัชนี NDSSI มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงในทิศทางตรงข้ามกัน แม้ว่าความสัมพันธ์เชิงเส้นอาจไม่สมบูรณ์ที่เกิดจาก

การกระจายของข้อมูลบางช่วง เช่นเดียวกับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบอันดับเคนดอลล์มีค่าเท่ากับ –0.66 แสดงความสอดคล้องของลำดับข้อมูลระหว่างสองตัวแปรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลลัพธ์ดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าแม้ NDSSI จะอธิบายค่าความขุ่นได้จำกัดในเชิงเส้นตรงแต่ยังคงสามารถสะท้อนการเปลี่ยนแปลงเชิงลำดับได้

อย่างไรก็ตามจากการตรวจสอบรายละเอียดของข้อมูลพบว่ามีค่าหนึ่งที่แตกต่างจากกลุ่มข้อมูลอื่นอย่างมีนัยสำคัญคือค่าความขุ่นภาคสนามที่สูงถึง 3,560 NTU เป็นค่าความขุ่นของวันที่ 27 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2568 ซึ่งสูงกว่าค่ามัธยฐานของชุดข้อมูลหลายเท่า ซึ่งค่าดังกล่าวเป็นข้อมูลจริงที่ได้จากการตรวจวัดภาคสนามไม่ใช่ค่าผิดพลาดทางเทคนิคแต่มีความเป็นไปได้ว่าเกิดจากเหตุการณ์เฉพาะช่วง เช่น การไหลบ่าของตะกอนจากพื้นที่ต้นน้ำในช่วงฝนตกหนักหรือการเปลี่ยนแปลงทางอุทกวิทยาเฉียบพลัน จากการตรวจสอบข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากสำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ (Office of the National Water Resources, n.d.) พบว่าเมื่อวันที่ 24 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2568 มีฝนตกในพื้นที่ต้นน้ำหลายสถานี เช่น สถานีแม่อาย (CHM003) ปริมาณน้ำฝน 23.40 มม. สถานีบ้านแม่ฮ่าง (STN0141) ปริมาณน้ำฝน 10.50 มม. และสถานี อบต.เวียง (FANG) ปริมาณน้ำฝน 15.60 มม. ซึ่งอาจเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลให้เกิดการพัดพาตะกอนจำนวนมากลงสู่ลำน้ำและทำให้ระดับความขุ่นเพิ่มสูงขึ้นกว่าค่าปกติหลายเท่าตัว เหตุการณ์ในลักษณะนี้สะท้อนให้เห็นถึงพลวัตของระบบแม่น้ำที่มีความแปรปรวนสูงในระยะสั้น อย่างไรก็ตามค่าดังกล่าวส่งผลโดยตรงต่อการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นเนื่องจากทำให้แนวโน้มข้อมูลเบี่ยงเบนออกจากสมการถดถอยอีกทั้งส่งผลให้ค่าสหสัมพันธ์เพียร์สันและค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่รวมข้อมูลดังกล่าวไว้ในการคำนวณ

เพื่อพิจารณาผลกระทบของค่าผิดปกติ (Outlier) ต่อรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ผู้วิจัยจึงได้ตัดค่าความขุ่นที่มีค่าสูงผิดปกติจำนวน 1 ค่า คือ 3,560 NTU ออกจากชุดข้อมูลก่อนดำเนินการวิเคราะห์ ผลลัพธ์พบว่าข้อมูลที่เหลือ 60 ค่า มีค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่นภาคสนาม เท่ากับ 91.85 NTU มัธยฐาน 66.95 NTU ฐานนิยม 30.90 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 86.90 NTU โดยมีค่าต่ำสุด 20.50 NTU และค่าสูงสุดเท่ากับ 564.00 NTU ซึ่งทำให้การกระจายของข้อมูลมีความสม่ำเสมอมากขึ้นและเหมาะสมต่อการวิเคราะห์เชิงสถิติ ผลลัพธ์ดังกล่าวสะท้อนถึงการกระจายตัวของข้อมูลที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญและทำให้ค่าความสัมพันธ์เชิงสถิติเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่มีเสถียรภาพมากขึ้น โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สันเพิ่มขึ้นเป็น –0.65 แสดงถึงความสัมพันธ์เชิงเส้นในระดับปานกลางค่อนไปทางสูงในทิศทางตรงกันข้าม สำหรับสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายที่ได้จากข้อมูลคือ NDSSI = –0.0016 × NTU + 0.2632 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 0.42 ดังแสดงใน Figure 5 (b) หมายความว่าดัชนี NDSSI สามารถอธิบายความแปรปรวนของค่าความขุ่นภาคสนามได้ประมาณร้อยละ 42 การกระจายตัวของข้อมูลมีความสอดคล้องกับแนวโน้มของเส้นถดถอยมากขึ้นซึ่งสะท้อนถึงความสัมพันธ์เชิงเส้นที่มีเสถียรภาพมากขึ้นหลังจากการปรับข้อมูล นอกจากนี้พื้นที่เงาสีส้มมีความแคบลงเมื่อเทียบกับรูปที่ Figure 5 (a) ในขณะเดียวกันค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบสเปียร์แมนและสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบอันดับเคนดอลล์ มีค่าเท่ากับ –0.83 และ –0.64 ซึ่งยังคงอยู่ในระดับสูงและมีทิศทางเดียวกันกับกรณีก่อนตัดค่าผิดปกติออกจากชุดข้อมูล แสดงถึงความสม่ำเสมอของลำดับข้อมูลและความสัมพันธ์เชิงอันดับที่มั่นคงระหว่างทั้งสองตัวแปร

ผลการเปรียบเทียบทั้งสองกรณีแสดงให้เห็นอย่างว่าการปรากฏของค่าความขุ่นที่มีการเบี่ยงเบนออกจากกลุ่มข้อมูลส่วนใหญ่ในชุดข้อมูล จะส่งผลให้ค่าความสัมพันธ์เชิงเส้นลดลงจากค่าที่ควรสะท้อนถึงความสัมพันธ์ที่แท้จริง ในขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบอันดับยังคงสามารถบ่งชี้ถึงความแข็งแรงของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรได้อย่างสม่ำเสมอในทั้งสองกรณี อย่างไรก็ตามค่าดังกล่าวยังคงมีความสำคัญเชิงสิ่งแวดล้อมเนื่องจากสะท้อนถึงเหตุการณ์ความขุ่นสูงเฉียบพลันซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์ธรรมชาติหรือกิจกรรมของมนุษย์ จึงควรนำไป

พิจารณาเพิ่มเติมในเชิงพื้นที่และช่วงเวลาเพื่อสนับสนุนการติดตามแนวโน้มความขุ่นของแม่น้ำในระยะยาวด้วยข้อมูลจากดาวเทียมเซนติเนล–2 แบบอนุกรมเวลาต่อไป

Table 2 Results of the Statistical Correlation Analysis

Descriptives	Including Outlier (N = 61)	Excluding Outlier (N = 60)
Nephelometric Turbidity Units : NTU		
Average	148.71	91.85
Median	67.90	66.95
Mode	30.90	30.90
Standard deviation	452.33	86.90
Min – Max	20.50 – 3,560.00	20.50 – 564.00
Normalized Difference Suspended Sediment Index : NDSSI		
Average	0.10	
Median	0.09	
Mode	(–0.21)	
Standard deviation	0.23	
Min – Max	(–0.52) – 1	
Correlation between NTU and NDSSI		
Pearson's Correlation	(–0.46)*	(–0.65)*
Spearman's Correlation	(–0.84)*	(–0.83)*
Kendall's	(–0.66)*	(–0.64)*
Coefficient of Determination (R^2)	0.21*	0.42*

Note : * $p < 0.001$

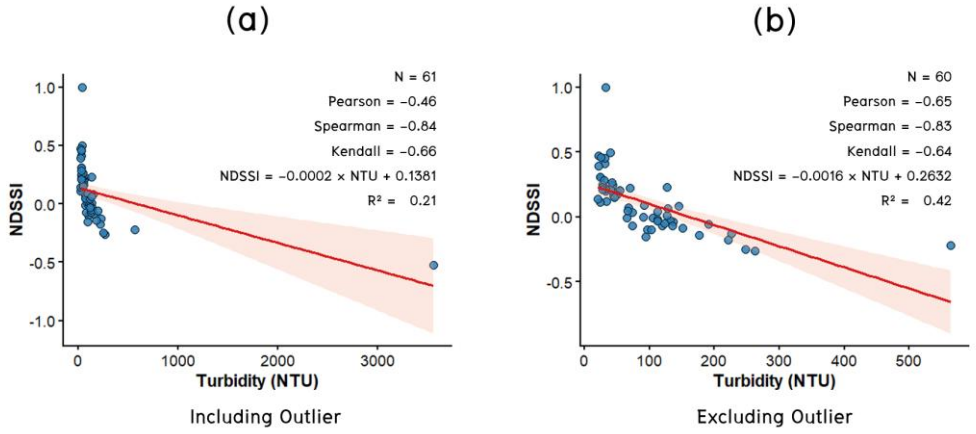


Figure 5 Results of the Linear Relationship Analysis between NDSSI and Turbidity

การวิเคราะห์ความแปรผันเชิงช่วงเวลา

การกระจายเชิงเวลา (Time–Series Distribution)

ข้อมูลค่าความขุ่นของน้ำที่บันทึกได้จากการสำรวจภาคสนามระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ. 2566 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2568 แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของค่าความขุ่นตามช่วงเวลาอย่างเห็นได้ชัด โดยในช่วงต้นปี (มกราคม ถึงมีนาคม) ของทุกปี ค่าความขุ่นอยู่ในระดับต่ำมีค่าประมาณ 100 NTU ซึ่งแสดงลักษณะของสภาวะน้ำใสในฤดูแล้ง หลังจากนั้นค่าความขุ่นจะเพิ่มขึ้นในช่วงปลายเดือนเมษายนถึงเดือนสิงหาคม สำหรับปี พ.ศ. 2566 ค่าความขุ่นเพิ่มสูงสุดถึง 1,068 NTU ในวันที่ 15 พฤษภาคม และค่าความขุ่นมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอีกหลายช่วงในเดือนมิถุนายนและกรกฎาคม โดยเฉพาะวันที่ 22 มิถุนายนและ 15 สิงหาคมที่มีค่ามากกว่า 1,200 NTU การเพิ่มขึ้นของค่าความขุ่นในช่วงเวลาดังกล่าวเกิดขึ้นต่อเนื่องจากต้นฤดูฝนซึ่งอาจมีปริมาณน้ำไหลบ่าจากพื้นที่ต้นน้ำลงสู่แม่น้ำกกในปีถัดมา พ.ศ. 2567 รูปแบบการเปลี่ยนแปลงมีลักษณะคล้ายกับปี 2566 โดยช่วงต้นปีค่าความขุ่นต่ำกว่า 100 NTU และเริ่มเพิ่มขึ้นตั้งแต่ช่วงเดือนพฤษภาคมก่อนถึงค่าสูงสุด 6,150 NTU ในวันที่ 24 สิงหาคม ซึ่งเป็นค่าที่สูงที่สุดตลอดช่วงเวลาที่บันทึกไว้ หลังจากนั้นค่าความขุ่นมีการลดลงอย่างต่อเนื่องในช่วงปลายปีสอดคล้องกับการสิ้นสุดของฤดูฝนและการลดลงของปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำ

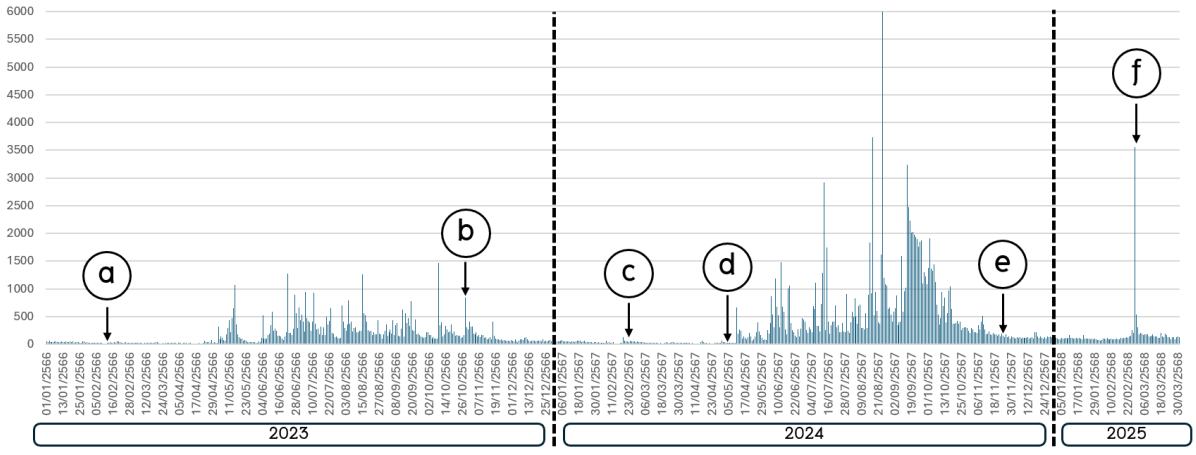


Figure 6 Temporal Distribution of Turbidity (NTU) Data

สำหรับค่าดัชนี NDSSI ที่คำนวณจากภาพถ่ายดาวเทียมเซนติเนล–2 ระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ. 2566 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2568 แสดงให้เห็นรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของตะกอนแขวนลอยในน้ำซึ่งสะท้อนลักษณะของสภาพน้ำในแต่ละช่วงเวลา สำหรับช่วงเดือน มกราคม – เมษายน พ.ศ. 2566 ค่าดัชนี NDSSI เป็นบวกมีค่าอยู่ระหว่าง 0.11 – 0.41 โดยมีค่าสูงสุดในวันที่ 8 กุมภาพันธ์ มีค่าเท่ากับ 0.41 บ่งชี้ถึงการมีอยู่ของตะกอนในระดับต่ำ ซึ่งเป็นลักษณะของฤดูแล้งที่ปริมาณน้ำฝนน้อยและการไหลบ่าของตะกอนจากพื้นที่ต้นน้ำไม่มาก อย่างไรก็ตามในช่วงเดือนพฤษภาคมค่าดัชนีลดต่ำลงเป็นค่าติดลบมีค่าประมาณ –0.10 ซึ่งอาจเกิดจากการเพิ่มขึ้นของตะกอนแขวนลอยในน้ำส่งผลให้การสะท้อนแสงลดลงในบริเวณที่ตรวจวัด ส่วนค่าดัชนีในช่วงเดือนมิถุนายน – กันยายน ไม่มีข้อมูลเนื่องจากไม่มีภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ผ่านเงื่อนไขการคัดกรองการปกคลุมของเมฆ จากนั้นค่าดัชนี NDSSI ในช่วงปลายปี พ.ศ. 2566 (ตุลาคม –ธันวาคม) ส่วนใหญ่มีค่าติดลบต่อเนื่อง (–0.13 ถึง –0.01) สะท้อนถึงสภาวะน้ำขุ่นในช่วงปลายฤดูฝนก่อนที่จะกลับมาเป็นค่าบวกอีกครั้งในเดือนธันวาคม (0.22–0.19) ซึ่งสอดคล้องกับการเริ่มฟื้นตัวของสภาพน้ำในช่วงต้นฤดูแล้ง

ในปีถัดมา พ.ศ. 2567 ค่าดัชนี NDSSI มีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลโดยช่วงต้นปี (มกราคม–มีนาคม) มีค่าดัชนี NDSSI เป็นค่าบวก (0.17–0.50) โดยเฉพาะวันที่ 29 มีนาคมที่มีค่าสูงสุดเท่ากับ 1.00 ซึ่งแสดงถึงการสะท้อนแสงจากผิวน้ำที่อยู่ในสภาวะน้ำใสและมีปริมาณตะกอนต่ำ ต่อมาในช่วงเดือนเมษายน – พฤษภาคม พบว่าค่า NDSSI ยังคงมีค่าบวกในระดับปานกลาง (0.28–0.47) และช่วงเดือนมิถุนายน – กันยายนไม่ปรากฏภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ผ่านเงื่อนไขเช่นเดียวกับปี พ.ศ. 2566 จากนั้นค่าดัชนี NDSSI มีแนวโน้มลดลงต่อเนื่องจนเป็นค่าติดลบในช่วงเดือนตุลาคม–ธันวาคม (–0.26 ถึง –0.01) ซึ่งสะท้อนถึงการเพิ่มขึ้นของตะกอนแขวนลอยในแม่น้ำกก

ในช่วงต้นปี พ.ศ. 2568 ค่าดัชนี NDSSI เริ่มกลับมามีค่าบวกเล็กน้อย (0.00–0.09) บ่งชี้ถึงการลดลงของปริมาณตะกอนในน้ำและการกลับเข้าสู่ฤดูแล้ง อย่างไรก็ตามพบเหตุการณ์ค่าผิดปกติในวันที่ 27 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2568 ที่มีค่า NDSSI ต่ำมากถึง –0.52 ซึ่งอาจเป็นผลจากสภาวะน้ำขุ่นเฉียบพลันส่งผลให้ค่าดัชนีสะท้อนแสงลดลงอย่างมากในระยะสั้นก่อนที่ค่าจะกลับสู่ระดับบวกอีกครั้งในเดือนมีนาคม (0.06 – 0.23)

ค่าดัชนี NDSSI ในช่วงระยะเวลา พ.ศ. 2566 – 2568 แสดงรูปแบบการเปลี่ยนแปลงเชิงฤดูกาลโดยมีค่าบวกในช่วงต้นปีซึ่งเป็นฤดูแล้งและน้ำใส ขณะที่ช่วงกลางถึงปลายปีโดยเฉพาะเดือนตุลาคมค่ามีแนวโน้มลดลงเป็นค่าติดลบ ซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของตะกอนแขวนลอยในช่วงฤดูฝน ผลการวิเคราะห์ดังกล่าวแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนี NDSSI กับการเปลี่ยนแปลงของความขุ่นและตะกอนแขวนลอยในระบบน้ำผิวดินในช่วงเวลาที่มีข้อมูลการตรวจวัด

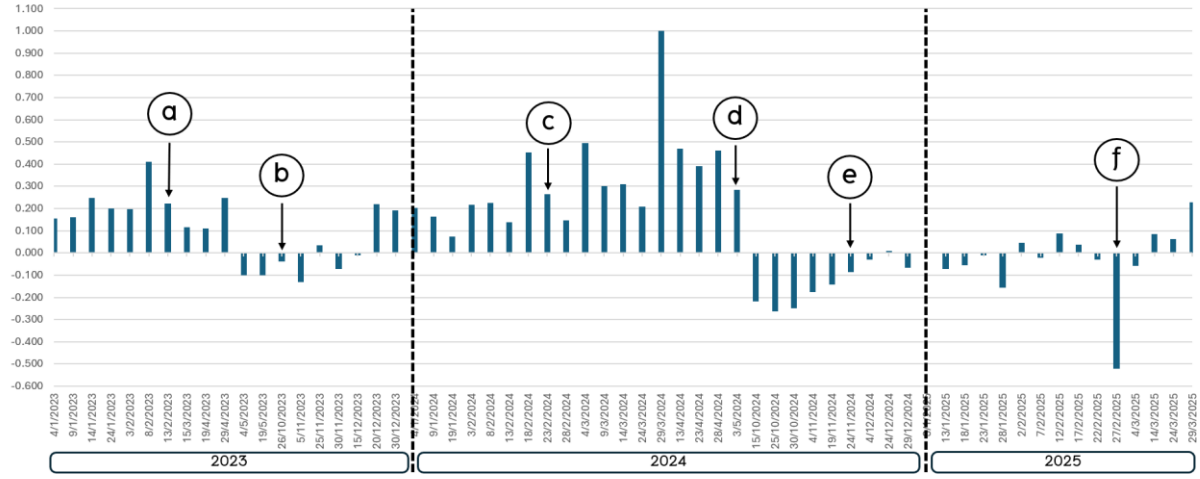


Figure 7 Temporal Distribution of NDSSI Value

จากการพิจารณาการกระจายเชิงเวลาของค่าความขุ่นในหน่วย NTU และค่าดัชนี NDSSI ควบคู่กับภาพถ่ายจากดาวเทียมเซนติเนล–2 พบว่าตำแหน่งที่ระบุด้วยตัวอักษร a – f สะท้อนลักษณะสภาพน้ำในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน โดยตำแหน่ง a (13 กุมภาพันธ์ 2566) มีค่า NTU และค่าดัชนี NDSSI เท่ากับ 31.60 และ 0.22 ตามลำดับ ซึ่งจัดอยู่ในระดับความขุ่นต่ำถึงปานกลางและมีความสอดคล้องกับภาพถ่ายดาวเทียมที่แสดงลักษณะน้ำมีสีเขียวหม่น ซึ่งบ่งชี้ว่าตะกอนแขวนลอยในน้ำมีจำนวนน้อย ขณะที่ตำแหน่ง b (26 ตุลาคม 2566) พบว่าค่า NTU เพิ่มสูงขึ้นโดยมีค่าเท่ากับ 847 และค่าดัชนี NDSSI มีค่าเท่ากับ –0.04 สะท้อนถึงการเพิ่มขึ้นของตะกอนแขวนลอยในน้ำโดยสามารถสังเกตได้จากลักษณะที่ปรากฏในภาพถ่ายดาวเทียม สำหรับตำแหน่ง c (23 กุมภาพันธ์ 2567) ค่า NTU และค่าดัชนี NDSSI มีค่าเท่ากับ 42.60 และ 0.27 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับภาพถ่ายที่แสดงลำน้ำมีสีเข้มขึ้นในลักษณะน้ำสีเขียวหม่น

บ่งชี้ถึงการลดลงของตะกอนแขวนลอยในน้ำ เช่นเดียวกับตำแหน่ง d (3 พฤษภาคม 2567) ซึ่งแสดงค่าทั้งสองอยู่ในระดับปานกลาง โดยมีค่า NTU และค่าดัชนี NDSSI เท่ากับ 30.10 และ 0.29 ขณะที่ตำแหน่ง e (24 พฤศจิกายน 2567) พบว่าค่า NTU และ NDSSI เท่ากับ 151 และ –0.085 สะท้อนถึงการเพิ่มขึ้นของตะกอนแขวนลอยในน้ำในระดับเล็กน้อยสอดคล้องกับภาพถ่ายดาวเทียมที่แสดงสภาพน้ำแสดงลักษณะเป็นสีน้ำตาลเข้ม และในตำแหน่ง f (27 กุมภาพันธ์ 2568) ปรากฏค่า NTU สูงถึง 3,560 ร่วมกับค่า NDSSI เท่ากับ –0.522 โดยภาพถ่ายดาวเทียมแสดงลักษณะน้ำอยู่ในสภาวะขุ่นจัด



Figure 8 Representative Sentinel–2 images corresponding to selected temporal points (a–g) in the NDSSI and turbidity (NTU) time–series.

การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยกราฟความหนาแน่นดังแสดงใน Figure 9 (a) แสดงให้เห็นการกระจายของค่าความขุ่นที่มีลักษณะเบ้ขวา โดยมีความหนาแน่นสูงในช่วงค่าต่ำ (ใกล้ศูนย์ถึงประมาณ 500 NTU) และลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อค่าความขุ่นเพิ่มขึ้นจนเกือบเป็นเส้นราบ หลังช่วงค่ามากกว่า 2,000 NTU ซึ่งสะท้อนว่าข้อมูลส่วนใหญ่กระจุกตัวอยู่ในระดับค่าต่ำถึงปานกลาง ขณะที่การเกิดเหตุการณ์ค่าขุ่นสูงเฉียบพลัน เช่น ช่วงค่ามากกว่า 4,000 – 6,000 NTU แม้เกิดไม่บ่อยแต่ส่งผลให้การกระจายโดยรวมมีลักษณะเบ้ไปทางขวาอย่างมีนัยสำคัญ และสำหรับ Figure 9 (b) แสดงกราฟไวโอลินที่มีผลลัพธ์คล้ายคลึงกันกับกราฟความหนาแน่น โดยแสดงการกระจุกตัวในช่วง 0 – 500 NTU และมีส่วนหางยาวต่อเนื่องที่ค่ามากกว่า 6,000 NTU บ่งชี้ถึงความแปรปรวนของข้อมูลสูง จุดมีการกระจายจำนวนมากบริเวณค่าต่ำหมายถึงความขุ่นในแม่น้ำกกส่วนใหญ่คงอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง ขณะที่จุดกระจายห่างด้านบนสะท้อนเหตุการณ์ขุ่นสูงเฉียบพลันที่เกิดขึ้นเป็นช่วง ๆ ซึ่งอาจเชื่อมโยงกับปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมเฉพาะหน้า เช่น ปริมาณฝน การชะล้างตะกอน หรือกิจกรรมของมนุษย์ในพื้นที่ต้นน้ำ

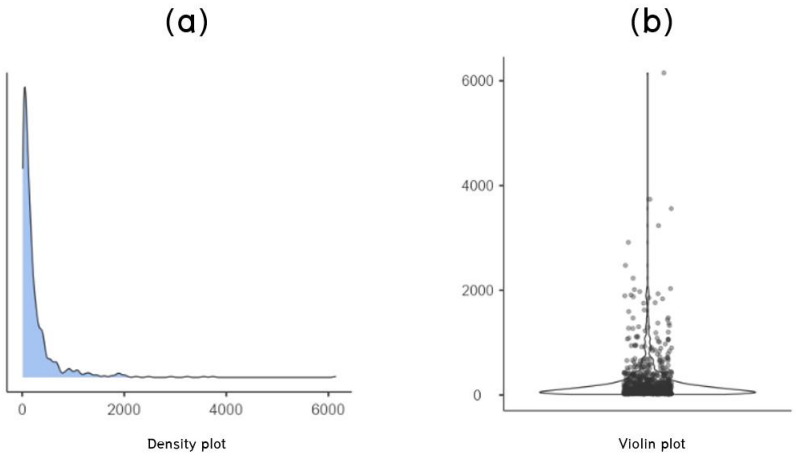


Figure 9 Density and Violin Plots of Turbidity (NTU) Data

สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยกราฟความหนาแน่นของข้อมูล NDSSI ดังแสดงใน Figure 10 (a) พบว่าการกระจายของค่าดัชนี NDSSI มีจุดที่มีค่าความหนาแน่นสูงอยู่ในช่วงประมาณ –0.02 และอีกจุดที่ช่วงประมาณ 0.15 ซึ่งสะท้อนถึงการมีอยู่ของกลุ่มข้อมูลย่อยสองช่วงที่มีลักษณะแตกต่างกัน และสำหรับความขุ่นของน้ำส่วนบริเวณค่าติดลบมีความหนาแน่นค่อนข้างต่ำกว่า ในขณะที่ช่วงค่าที่มากกว่า 0.5 พบว่าความหนาแน่นลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งสะท้อนว่าสภาวะน้ำใสเกิดขึ้นไม่บ่อยนักในช่วงระยะเวลาที่ทำการศึกษา โดยลักษณะของกราฟที่มีค่าความหนาแน่นกระจุกอยู่ทางซ้ายและค่อย ๆ ลดลงทางขวา แสดงถึงการกระจายที่มีแนวโน้มเบ้ขวาซึ่งเป็นลักษณะของค่าความขุ่นที่มีค่าปกติอยู่ในช่วงต่ำถึงปานกลางและมีบางเหตุการณ์ที่เกิดค่าผิดปกติในบางช่วงเวลา สำหรับกราฟไวโอลินใน Figure 10 (b) แสดงการกระจายตัวของค่าดัชนี NDSSI โดยมีลักษณะรูปทรงที่แสดงให้เห็นการกระจุกตัวของค่าในช่วงใกล้ศูนย์ ประกอบกับจุดข้อมูลจำนวนมากถูกกระจายอยู่บริเวณค่าระหว่างประมาณ –0.40 ถึง 0.70 ซึ่งเป็นช่วงที่มีความหนาแน่นสูงที่สุดของข้อมูล สะท้อนให้เห็นว่าข้อมูลส่วนใหญ่มีค่า NDSSI อยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง ขณะที่ส่วนบนและส่วนล่างของกราฟแสดงการกระจายที่ยืดออกทั้งด้านค่าบวกและค่าลบ แต่มีความหนาแน่นต่ำสะท้อนว่ามีข้อมูลที่มีค่าผิดปกติเล็กน้อย เช่น ค่าสูงเกิน 0.50 หรือค่าต่ำกว่า –0.30

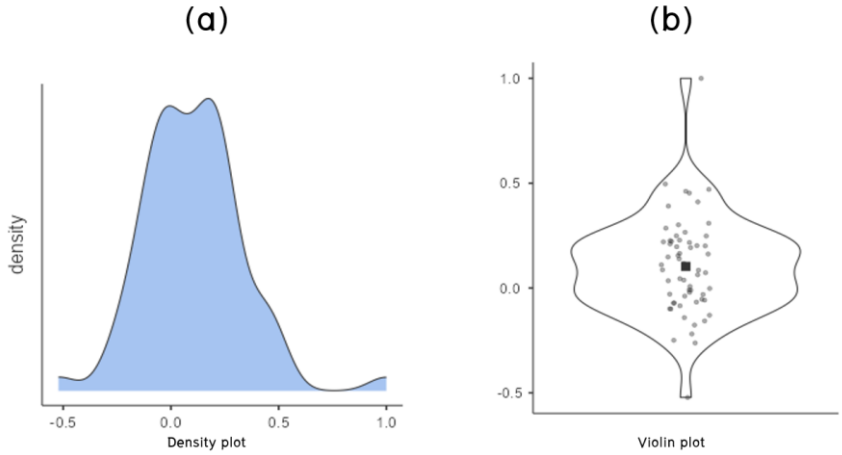


Figure 10 Density and Violin Plots of NDSSI Value

การระบุค่าผิดปกติของความขุ่น

จากกราฟแสดงค่าผิดปกติของความขุ่น (Anomaly Chart) พบว่าค่าความขุ่นเฉลี่ยของแม่น้ำกกในช่วงเวลา 1 มกราคม 2566 – 31 มีนาคม 2568 คำนวณจากข้อมูลการตรวจวัดความขุ่นทั้งหมดจำนวน 818 ค่ามีค่าเท่ากับ 263 NTU โดยที่เกณฑ์การระบุค่าผิดปกติในทิศทางบวก (Positive Anomalies) ซึ่งคำนวณจากผลรวมของค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 720 NTU เกณฑ์ดังกล่าวใช้เพื่อจำแนกช่วงเวลาที่ค่าความขุ่นสูงผิดปกติจากแนวโน้มเฉลี่ยระยะยาว ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าค่าความขุ่นที่สูงกว่าเกณฑ์ปรากฏชัดในหลายช่วง โดยเฉพาะช่วงกลางปี พ.ศ. 2566 และ พ.ศ. 2567 (ช่วงเดือนพฤษภาคม–กันยายน) ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝนของประเทศไทยค่าความขุ่นในช่วงเวลาดังกล่าวมีแนวโน้มสูงเกินกว่า 700 NTU และบางเหตุการณ์มีค่าสูงเกิน 1,000 NTU สะท้อนถึงการเพิ่มขึ้นของตะกอนแขวนลอยอย่างเฉียบพลันในแม่น้ำกกซึ่งมักสัมพันธ์กับเหตุการณ์ฝนตกหนักหรือการไหลบ่าของตะกอนจากพื้นที่ลาดชัน

ในทางตรงกันข้าม ช่วงเดือนธันวาคมถึงกุมภาพันธ์ของปีถัดไปทุกปีพบว่าค่าความขุ่นอยู่ในระดับต่ำกว่าเกณฑ์ค่าเฉลี่ยอย่างต่อเนื่องและไม่พบค่าเกินเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ซึ่งบ่งชี้ถึงช่วงเวลาที่มีสภาวะน้ำใสและมีการตกตะกอนของอนุภาคแขวนลอยมากขึ้นซึ่งเป็นสภาวะปกติของฤดูแล้ง

การกระจายของค่าความขุ่นในช่วงวลาที่ศึกษาแสดงรูปแบบการเปลี่ยนแปลงเชิงฤดูกาล (Seasonal Fluctuation) โดยช่วงฤดูฝนเป็นช่วงที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดค่าผิดปกติในทิศทางบวกสูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับพฤติกรรมของแม่น้ำภูเขา (Mountainous River System) ที่ตอบสนองต่อปริมาณฝนและการไหลบ่าของตะกอนอย่างรวดเร็ว การระบุค่าผิดปกติในลักษณะนี้จึงมีความสำคัญต่อการติดตามคุณภาพน้ำเชิงเวลา และสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการวิเคราะห์เหตุการณ์ตะกอนสูงเฉียบพลันในอนาคตดังแสดงใน Figure 11

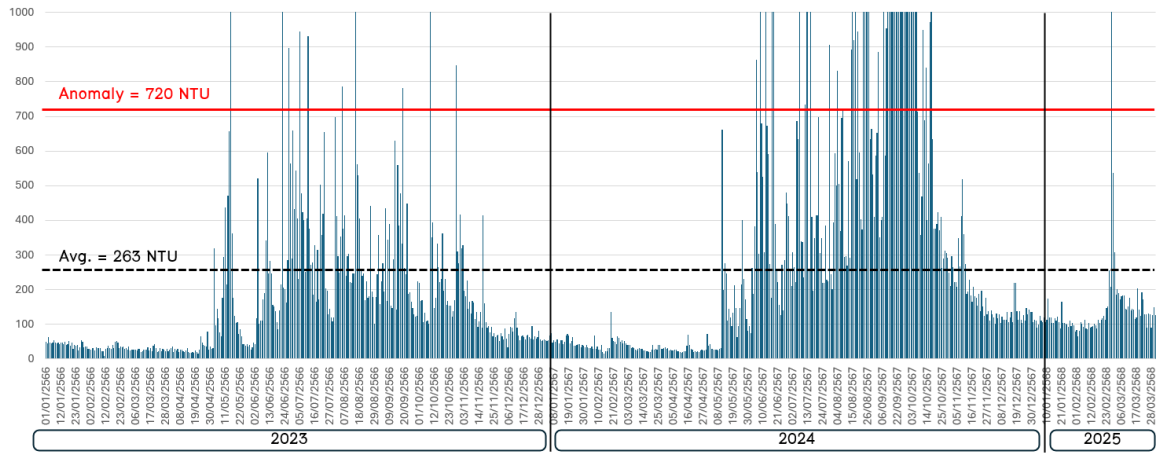


Figure 11 Anomaly Analysis of Turbidity (NTU) Data

เมื่อพิจารณากราฟแสดงค่าความผิดปกติของดัชนี NDSSI ซึ่งระบุค่าความผิดปกติทางลบ (Negative Anomalies) ซึ่งคำนวณจากค่าเฉลี่ยลบด้วยค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ –0.13 เพื่อใช้เป็นเส้นอ้างอิงในการตรวจจับช่วงเวลาที่ค่าดัชนีลดต่ำกว่าระดับปกติตามฤดูกาล จากข้อมูลพบว่าค่าดัชนี NDSSI ลดต่ำกว่าค่าเกณฑ์ติดต่อกันหลายช่วงเวลาสะท้อนแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของความขุ่นในแม่น้ำกก ในทางตรงกันข้ามช่วงฤดูหนาวต่อเนื่องถึงต้นฤดูร้อนของปีถัดไป (ธันวาคม–เมษายน) ค่าดัชนี NDSSI ส่วนใหญ่ปรากฏอยู่เหนือเกณฑ์ บ่งชี้ถึงช่วงเวลาที่น้ำมีความใสและมีปริมาณตะกอนแขวนลอยในระดับต่ำเมื่อเทียบกับฤดูฝน ทั้งนี้การวิเคราะห์อาศัยเฉพาะช่วงเวลาที่มี

ข้อมูลภาพดาวเทียมเท่านั้นเนื่องจากในช่วงเดือนมิถุนายนถึงกันยายนของทุกปีไม่มีภาพจากดาวเทียมที่ผ่านเงื่อนไขการคัดเลือกจากปัญหาการปกคลุมของเมฆ จึงไม่ครอบคลุมช่วงมรสุมหลักของฤดูฝน

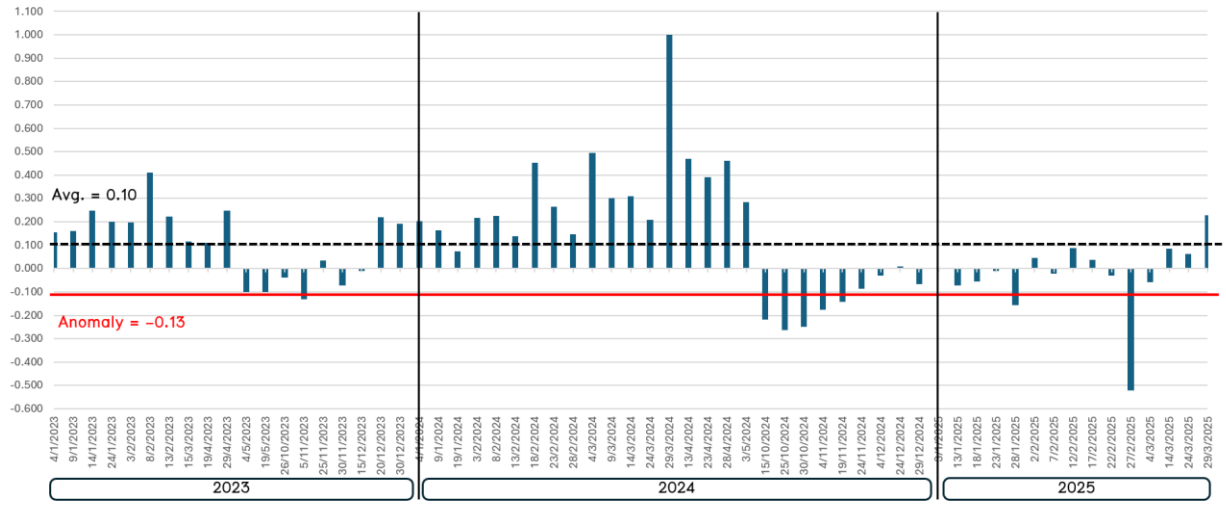


Figure 12 Anomaly Analysis of NDSSI Value

Conclusion and Discussion

ผลการศึกษาพบว่าค่าดัชนี NDSSI ที่คำนวณจากข้อมูลดาวเทียมเซนติเนล-2 ผ่านแพลตฟอร์ม GEE มีความสัมพันธ์กับค่าความขุ่นภาคสนามในระดับหนึ่ง โดยความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างค่าดัชนี NDSSI และค่าความขุ่นภาคสนามหลังการปรับแก้ค่าผิดปกติอยู่ในระดับปานกลาง (R^2 = 0.42) ขณะที่ความสัมพันธ์เชิงอันดับมีค่าสูงกว่า (สหสัมพันธ์แบบอันดับสเปียร์แมน = −0.83 และสหสัมพันธ์แบบอันดับเคนดอลล์ = −0.64) ผลการวิเคราะห์ดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่า NDSSI อาจสามารถใช้บ่งชี้แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเชิงลำดับของความขุ่นได้ในระดับหนึ่ง อย่างไรก็ตามหากพิจารณาจากระดับความสัมพันธ์เชิงเส้นที่ยังไม่สูงมาก แสดงให้เห็นว่าอาจยังมีปัจจัยอื่นที่ส่งผลต่อค่าความขุ่นภาคสนาม ดังนั้นการใช้ NDSSI เพื่อประมาณค่าความขุ่นควรพิจารณาร่วมกับข้อมูลภาคสนามและการวิเคราะห์เพิ่มเติมในบริบทของพื้นที่ศึกษา

รูปแบบการเปลี่ยนแปลงเชิงฤดูกาลของค่าดัชนี NDSSI แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ลดลงในฤดูฝนกับการเพิ่มขึ้นของตะกอนแขวนลอย ซึ่งอาจเกิดจากการไหลบ่าของตะกอนและการชะล้างดินในพื้นที่ต้นน้ำ ในทางตรงข้ามค่าดัชนี NDSSI ที่สูงมีแนวโน้มเพิ่มพบมากในฤดูแล้งสัมพันธ์กับสภาวะน้ำใสและปริมาณตะกอนที่ลดลง

นอกจากนี้จากการตรวจสอบเหตุการณ์ความขุ่นสูงเฉียบพลันในวันที่ 27 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2568 ร่วมกับข้อมูลปริมาณน้ำฝนย้อนหลังของสำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ (Office of the National Water Resources, n.d.) พบว่ามีฝนตกหลายแห่งในพื้นที่ต้นน้ำกกเมื่อวันที่ 24 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2568 ซึ่งอาจเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดการพัดพาตะกอนลงสู่ลำน้ำในปริมาณมาก เหตุการณ์ดังกล่าวเป็นตัวอย่างของการตอบสนองของระบบตะกอนในแม่น้ำต่อปริมาณน้ำฝนในระยะเวลาสั้น

สำหรับการกระจายของค่าดัชนี NDSSI สะท้อนถึงความแปรผันของระดับความขุ่นตามฤดูกาล โดยพบว่ามีค่าเป็นบวกในช่วงต้นปี พ.ศ. 2566 และกลางปี พ.ศ. 2567 ซึ่งบ่งชี้สภาวะน้ำใส ขณะที่ค่าติดลบต่อเนื่องช่วงปลายปี พ.ศ. 2567 ถึงต้นปี พ.ศ. 2568 ซึ่งสัมพันธ์กับสภาวะน้ำขุ่นที่เพิ่มขึ้น จากลักษณะการกระจายของข้อมูลดังกล่าว การใช้เกณฑ์คำนวณจากค่าเฉลี่ยลบด้วยค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสำหรับระบุค่าผิดปกติในเชิงลบ จึงเหมาะสมในการตรวจจับ

การลดลงของค่าดัชนี NDSSI ที่สัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของความขุ่น แม้ว่าเหตุการณ์ค่าผิดปกติในเชิงลบจะเกิดไม่บ่อยครั้ง แต่ยังคงมีความสำคัญและสามารถใช้เป็นตัวชี้วัดการเกิดตะกอนสูงเฉียบพลันภายในระบบแม่น้ำกกได้ ผลลัพธ์ดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาของ Nontapon et al. (2025) ที่รายงานถึงศักยภาพของดัชนี NDSSI ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงของตะกอนแขวนลอยในแม่น้ำโขง พบว่า NDSSI มีประสิทธิภาพสูงในการประมาณค่าความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยและแสดงความสัมพันธ์สูงเมื่อเปรียบเทียบกับดัชนีอื่น เช่น NSMI และ NDTI สำหรับการติดตามพลวัตของตะกอนในระบบแม่น้ำที่มีการพัดพาตะกอนสูงและมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล นอกจากนี้ลักษณะการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของระดับความขุ่นในช่วงฤดูฝนยังสอดคล้องกับการศึกษาของ Bid & Siddique (2019) ที่รายงานว่าค่าความขุ่นสามารถเพิ่มขึ้นจากประมาณ 60 NTU ในช่วงฤดูกาลปกติเป็นมากกว่า 700 NTU ในฤดูมรสุม ซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกับค่าความขุ่นที่ตรวจพบในแม่น้ำกกซึ่งสูงกว่า 720 NTU ในช่วงฤดูฝน การเปรียบเทียบดังกล่าวจึงสนับสนุนว่าดัชนี NDSSI สามารถสะท้อนการเปลี่ยนแปลงของตะกอนแขวนลอยในระบบแม่น้ำที่มีพลวัตสูงได้อย่างมีนัยสำคัญ

อย่างไรก็ตามการขาดข้อมูลภาพดาวเทียมต่อเนื่องในช่วงฤดูฝนจากปัญหาการปกคลุมของเมฆทำให้จำนวนข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณมีสัดส่วนของข้อมูลในฤดูแล้งมากกว่าฤดูฝน ซึ่งอาจส่งผลให้ค่าทางสถิติของดัชนี NDSSI มีแนวโน้มเอนเอียงไปทางสภาพน้ำในช่วงฤดูแล้งได้

จากผลการศึกษาพบว่าค่าดัชนี NDSSI สามารถสะท้อนสภาวะ “น้ำใส–น้ำขุ่น” ของแม่น้ำกกได้ในช่วงระยะเวลาที่ทำการศึกษา และแสดงศักยภาพในการติดตามการเปลี่ยนแปลงของตะกอนแขวนลอยในระบบแม่น้ำ อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ยังมีข้อจำกัดจากความถี่ของภาพถ่ายดาวเทียมเซนติเนล–2 ที่ลดลงในช่วงฤดูฝนเนื่องจากการปกคลุมของเมฆ ส่งผลให้ไม่มีภาพที่ผ่านเงื่อนไขการคัดเลือกในบางช่วงเวลาและทำให้เกิดช่องว่างของข้อมูลเชิงเวลา รวมถึงปัญหาจุดภาพที่ได้รับผลกระทบจากเงาเมฆ แม้ว่าข้อมูลจากดาวเทียมแบบแพสซีฟจะมีข้อจำกัดดังกล่าว แต่การตอบสนองของค่าดัชนี NDSSI ต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับความขุ่น โดยเฉพาะในช่วงเหตุการณ์ตะกอนสูงเฉียบพลัน แสดงให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้ดัชนีร่วมกับการวิเคราะห์แบบอนุกรมเวลาสามารถสะท้อนการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญของระบบแม่น้ำได้อย่างมีนัยสำคัญสำหรับการศึกษาครั้งถัดไปควรพิจารณาเพิ่มเครื่องมือในการคาดการณ์ค่าความขุ่นในแม่น้ำหรืออาจผสมผสานข้อมูลจากหลายแพลตฟอร์ม (เช่น Landsat 8 – 9, Sentinel–1) อาจช่วยลดปัญหาช่องว่างข้อมูลและสร้างระบบติดตามแบบต่อเนื่องได้มากยิ่งขึ้น นอกจากนี้อาจพัฒนาแบบจำลองเชิงสถิติระหว่างค่าดัชนี NDSSI และค่าความขุ่นภาคสนามเพื่อสร้างแผนที่การกระจายตัวของความขุ่นจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมซึ่งจะช่วยเพิ่มศักยภาพในการติดตามคุณภาพน้ำทั้งในเชิงพื้นที่และเชิงเวลา นอกจากนี้ผลลัพธ์ดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกลเป็นเครื่องมือสำหรับติดตามเฝ้าระวังคุณภาพน้ำเชิงพื้นที่ ซึ่งเหมาะสมกับระบบแม่น้ำที่มีความแปรผันสูงและมีข้อจำกัดในการเก็บข้อมูลภาคสนาม หากมีการติดตามอย่างต่อเนื่องจะทำให้มีแนวโน้มช่วยเพิ่มความเข้าใจต่อพฤติกรรมของตะกอนแขวนลอยได้ละเอียด ครอบคลุม และรอบด้านมากยิ่งขึ้น พร้อมทั้งสนับสนุนการจัดการทรัพยากรน้ำและระบบนิเวศของลุ่มน้ำบนฐานข้อมูลเชิงประจักษ์

Acknowledgements

ผู้วิจัยขอขอบคุณการประปาส่วนภูมิภาค สาขาเชียงราย ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลรายงานผลการตรวจสอบคุณภาพน้ำแหล่งน้ำดิบ ณ สถานีตรวจวัดโรงกรองน้ำวังคำ ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานสำคัญต่อการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิของวารสารวิชาการเพื่อการพัฒนานวัตกรรมเชิงพื้นที่สำหรับข้อเสนอแนะอันมีคุณค่า ซึ่งช่วยให้การปรับปรุงและเผยแพร่ผลงานนี้มีความสมบูรณ์และเป็นประโยชน์ยิ่งขึ้นต่อวงวิชาการและการพัฒนาเชิงพื้นที่

References

Bid, S., & Siddique, G. (2019). Identification of seasonal variation of water turbidity using NDTI method in Panchet Hill Dam, India. *Modeling Earth Systems and Environment*, *5*(4), 1179. Form https://doi.org/10.1007/s40808-019-00609-8

Bilotta, G. S. & Brazier, R. E. (2008). Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota. *Water Research.* 42(12), 2849–2861. Form https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.03.018

Caballero, I., Steinmetz, F. & Navarro, G. (2018). Evaluation of the First Year of Operational Sentinel-2A Data for Retrieval of Suspended Solids in Medium- to High-Turbidity Waters. *Remote Sensing.* 10(7), 982. Form https://www.mdpi.com/2072-4292/10/7/982

Chiang Mai University. (2023). Project review of flood prevention and mitigation plan in the Upper Mekong Basin: Draft final report. (in Thai)

Draper, N. R., & Smith, H. (1998). *Applied Regression Analysis* (3rd ed.). Wiley.

Garg, V., Aggarwal, S. P., & Chauhan, P. (2020). Changes in turbidity along Ganga River using Sentinel-2 satellite data during lockdown associated with COVID-19. *Geomatics, Natural Hazards and Risk.* 11(1), 1175–1195. Form doi.org/10.1080/19475705.2020.1782482

Geo-Informatics and Space Technology Development Agency (Public Organization). (2025). Monitoring Environmental Impacts along the Kok River in Chiang Rai Province Resulting from Transboundary Pollution Using Satellite Technology. Presentation to the House of Representatives Standing Committee on Land, Natural Resources and Environment, May 14 2025, Bangkok, Thailand. (in Thai)

Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D. & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment.* 202, 18–27. Form doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031

Hossain, A. K. M. A., Jia, Y., & Chao, X. (2010). Development of remote sensing based index for estimating/mapping suspended sediment concentration in river and lake environments. In *Proceedings of 8th international symposium on Ecohydraulics.* (pp. 578–585).

Jaywant, S. A., & Arif, K. M. (2024). Remote Sensing Techniques for Water Quality Monitoring: A Review. *Sensors.* (24), 8041. Form doi.org/10.3390/s24248041

Kavan, J., Wieczorek, I., Tallentire, G. D., Demidionov, M., Uher, J., & Strzelecki, M. C. (2022). Estimating Suspended Sediment Fluxes from the Largest Glacial Lake in Svalbard to Fjord System Using Sentinel-2 Data: Trebrevatnet Case Study. *Water*, *14*(12), 1840. Form https://doi.org/10.3390/w14121840

Kendall, M. G. (1938). A new measure of rank correlation. *Biometrika*, 30(1–2), 81–93. Form doi.org/10.2307/2332226

Ngamile, S., Madonsela, S. & Kganyago, M. (2025). Trends in remotesensing of water quality parameters in inland water bodies: a systematic review. *Frontiers in Environmental Science.* 13, Form doi.org/10.3389/fenvs.2025.1549301

Nontapon, J., Srihanu, N., Auttarapong, D., Hasita, S., Ratanachotinun, J., Bhurtyal, U., & Kaewplang, S. (2025). Assessment of suspended sediment concentration in the Mekong River using Landsat–8 data. *Engineering Access, 11*(2).

Office of the National Water Resources. (n.d.). *National Thai Water: Rainfall dashboard*. Retrieved March 1, 2026, Form https://nationalthaiwater.onwr.go.th/rainfall

Pearson, K. (1895). Notes on regression and inheritance in the case of two parents. Proceedings of the Royal Society of London, 58, 240–242.

Pisanti, A., Magrì, S., Ferrando, I. & Federici, B. (2022). Sea water turbidity analysis from sentinel–2 images: atmospheric correction and bands correlation. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLVIII–4/W1–2022*, 371–378. Form doi.org/10.5194/isprs–archives–XLVIII–4–W1–2022–371–2022

Rocket Media Lab. (2025, August 4). *Kok River contamination may cause agricultural damage worth over 3 billion baht.* Form https://rocketmedialab.co/kok–river (in Thai)

Sahoo, D. & Anandhi A. (2023). Conceptualizing turbidity for aquatic ecosystems in the context of sustainable development goals. *Environmental Science: Advances.* (9), 1220–1234. Form doi.org/10.1039/D2VA00327A

Sankaran, R., Al–Khayat, J. A., J, A., Chatting, M. E., Sadooni, F. N., Al–Kuwari, H. Al–Saad. (2023). Retrieval of suspended sediment concentration (SSC) in the Arabian Gulf water of arid region by Sentinel–2 data. *Science of The Total Environment.* 904. Form doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166875

Shan Human Rights Foundation. (2024, November 27). Thai government study identifies eastern Shan State mining as cause of unprecedented mud damage in Mae Sai during recent flooding. Form https://shanhumanrights.org/thai–government–study–identifies–eastern–shan–state–mining–as–cause–of–unprecedented–mud–damage–in–mae–sai–during–recent–flooding

Spearman, C. (1904). The proof and measurement of association between two things. *The American Journal of Psychology*, 15(1), 72–101. Form doi.org/10.2307/1412159

The Nation. (2025, September 23). Toxic pollution in Kok River causes 1.3 billion baht annual economic losses. The Nation Thailand. Form https://www.nationthailand.com/news/general/40055779

Transborder News. (2026, February 25). Arsenic found in residents along Kok River; academics warn of rising health risks. Form https://transbordernews.in.th/home/?p=45225

United States Geological Survey. (2018, June 6). Turbidity and Water. Water Science School. Form https://www.usgs.gov/water–science–school/science/turbidity–and–water?utm_source

Zhou, Z., Qiu, C. & Zhang, Y. (2023). A comparative analysis of linear regression, neural networks and random forest egression for predicting air ozone employing soft sensor models. *Scientific Reports.* 13, 22420. Form doi.org/10.1038/s41598–023–49899–0

การประเมินความหลากหลายและการกระจายตัวของสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกในพื้นที่อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่

พิชชาภรณ์ อธิษฐ์โภคินโชค[1], เกรียงไกร สีตะพันธุ์[1], อาทิตยา วงศ์วุฒิ[1], ปริญญา ภวังคนันทน์[2] และ ฉัตรมงคล สุวรรณภูมิ[1*]

Assessment of Amphibian Diversity and Distribution in Doi Saket District, Chiang Mai Province, Thailand

Pitchaphon Athitphokinchok[1], Kriengkrai Seetapan[1], Athitaya Wongwut[1], Parinya Pawangkhanant[2] and Chatmongkon Suwannapoom[1*]

[1] Division of Fisheries, School of Agriculture and Natural Resources, University of Phayao, Phayao, 56000

[2] Rabbit in the Moon Foundation, Suanphueng, Ratchaburi, 70180

[*] Corresponding author: chatmongkonup@gmail.com

Received: 3 July 2026; Revised: 21 July 2026; Accepted: 27 July 2026

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความหลากหลาย การกระจายตัว และการประเมินสถานะชนิดพันธุ์ของสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกในพื้นที่ของอำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ โดยทำการสำรวจและเก็บตัวอย่างภาคสนามบริเวณใกล้แหล่งน้ำและตามลำห้วยในพื้นที่ป่า 4 จุด ระหว่างเดือนมิถุนายน ถึง สิงหาคม พ.ศ. 2566 ในเวลากลางคืน ผลการศึกษาพบสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกรวมทั้งสิ้น 6 วงศ์ 16 สกุล 23 ชนิด จากตัวอย่างที่พบทั้งหมด 183 ตัวอย่าง โดยวงศ์ Rhacophoridae พบความหลากชนิดมากที่สุด 7 ชนิด รองลงมาคือ วงศ์ Ranidae 5 ชนิด และพบ *Limnonectes taylori* มีจำนวนประชากรมากที่สุดและกระจายตัวอยู่ในทุกจุดสำรวจ เมื่อวิเคราะห์ดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพ พบว่าจุดที่ 3 (บ้านปางกำแพงหิน) มีความมากชนิดของสิ่งมีชีวิตสูงที่สุด 14 ชนิด ขณะที่จุดที่ 1 (บ้านปางน้ำถุ) และจุดที่ 3 มีค่าดัชนีความหลากหลายของ Shannon–Wiener index สูงที่สุด (2.23) สะท้อนถึงระบบนิเวศที่มีความหลากหลายระดับปานกลาง ส่วนจุดที่ 2 (บ้านปางบง) มีค่า Species evenness สูงที่สุด (0.88) นอกจากนี้ จากการประเมินสถานะชนิดพันธุ์ IUCN Red List พบว่าสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกที่สำรวจพบทั้งหมด 23 ชนิด จัดอยู่ในกลุ่มมีความเสี่ยงต่ำที่สุดต่อการสูญพันธุ์ Least Concern (LC) อย่างไรก็ตาม อัตราการสูญเสียถิ่นที่อยู่อาศัยจากการขยายตัวและการใช้ประโยชน์ที่ดินของชุมชน รวมถึงความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศ ยังคงเป็นปัจจัยคุกคามสำคัญที่มีความสัมพันธ์โดยตรงต่อความเสี่ยงในการลดจำนวนลงของประชากรสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกในพื้นที่ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการวางแผนบริหารจัดการ และอนุรักษ์ทรัพยากรชีวภาพในท้องถิ่นอย่างยั่งยืนต่อไป

คำสำคัญ: สัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก, การกระจายตัว, ความหลากหลาย, อำเภอดอยสะเก็ด, จังหวัดเชียงใหม่

---

[1] สาขาวิชาเทคโนโลยีและนวัตกรรมการประมง คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

[2] มูลนิธิกระต่ายในดวงจันทร์ อำเภอสวนผึ้ง จังหวัดราชบุรี 70180

Abstract

This study aimed to assess the diversity, distribution, and species status of amphibians in selected areas of Doi Saket District, Chiang Mai Province. Field surveys and specimen collections were conducted at four forest sites near water sources and streams between June to August 2023, specifically during the nighttime. The results revealed a total of 183 amphibian specimens, comprising 6 families, 16 genera, and 23 species. The family Rhacophoridae exhibited the highest species richness with 7 species, the family Ranidae with 5 species. *Limnonectes taylori* was identified as the most abundant species and was distributed across all survey sites. Regarding biodiversity indices, Site 3 (Ban Pang Kamphaeng Hin) demonstrated the highest species richness with 14 species. Meanwhile, Site 1 (Ban Pang Nam Thu) and Site 3 recorded the highest Shannon–Wiener Diversity Index values (2.23), reflecting a moderately diverse ecosystem. Site 2 (Ban Pang Bong) showed the highest species evenness (0.88). Furthermore, according to the IUCN Red List assessment, all 23 species were categorized as Least Concern (LC). However, habitat loss driven by community expansion and land utilization, along with climate variability, remained critical threats directly correlated with the risk of population decline among amphibians in the area. These findings provide valuable baseline data for future planning, management, and sustainable conservation of local biological resources.

Keywords: Amphibians, Distribution, Diversity, Doi Saket District, Chiang Mai Province

Introduction

ประเทศไทยจัดเป็นพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์ของทรัพยากรป่าไม้ และความหลากหลายทางระบบนิเวศสูงที่สุดแห่งหนึ่งในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ส่งผลให้มีการค้นพบสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกชนิดใหม่ของโลกอย่างต่อเนื่อง (Suwannapoom et al., 2022; Wu et al., 2019) โดยในปัจจุบันมีรายงานการจำแนกสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกในประเทศไทยรวมทั้งสิ้น 176 ชนิด (Niyomwan et al., 2019) สัตว์กลุ่มนี้จัดเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีบทบาทสำคัญในระบบนิเวศ โดยทำหน้าที่เป็นดัชนีชีวภาพ ชี้วัดความอุดมสมบูรณ์ของสภาพแวดล้อม และเป็นส่วนหนึ่งในระบบห่วงโซ่อาหาร เนื่องจากภูมิประเทศของพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยส่วนใหญ่ประกอบด้วยเทือกเขาสูง จึงส่งผลให้ป่ามีความชื้นสูงตลอดทั้งปี ซึ่งเป็นปัจจัยแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตและการสืบพันธุ์ของสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก สำหรับในเขตพื้นที่อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่มีลักษณะทางนิเวศวิทยาที่ประกอบด้วยป่าต้นน้ำ ป่าดิบเขา ป่าดิบแล้ง และป่าเบญจพรรณ (Department of National Parks, 2017) ซึ่งเป็นผืนป่าที่มีลักษณะรูปแบบการใช้ประโยชน์ร่วมกันระหว่างชุมชน และป่าไม้ โดยมีการบริหารจัดการแบ่งแนวเขตอย่างชัดเจนระหว่างป่าอนุรักษ์ และป่าชุมชน เพื่อให้เอื้อต่อการใช้ประโยชน์ในการเก็บหาของป่าตามฤดูกาล

สัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกมีความไวสูงต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม การคำนวณดัชนีทางนิเวศวิทยาจึงทำหน้าที่เป็นเครื่องมือสะท้อนสถานะความสมบูรณ์ของระบบนิเวศโดยรวม โดย ค่า Species Richness ใช้ระบุจำนวนชนิดทั้งหมดในพื้นที่เพื่อประเมินความหลากหลายพื้นฐาน ค่า Simpson's diversity index เน้นค่าชนิดพันธุ์ที่พบมากเพื่อสะท้อนถึงการกระจายตัวของชนิดพันธุ์ที่เด่น ค่า Shannon–Wiener's Index ช่วยวัดความซับซ้อนของโครงสร้างสังคมโดยรวมทั้งจำนวนชนิดและความสม่ำเสมอของประชากร และ ค่า Species Evenness ใช้ตรวจสอบการกระจายตัวของประชากรในแต่ละชนิดว่ามี

ความสมดุล การวิเคราะห์ค่าเหล่านี้ร่วมกันช่วยให้สามารถประเมินผลกระทบของการรบกวนแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกในพื้นที่การศึกษา หากพบค่า Shannon–Wiener's Index ต่ำแต่ค่า Species Evenness สูง อาจบ่งชี้ถึงสภาวะแวดล้อมที่คงที่ แต่หากค่า Shannon–Wiener's Index ต่ำและค่า Species Evenness ต่ำ อาจสะท้อนถึงความเสื่อมโทรมของแหล่งที่อยู่อาศัยที่ส่งผลต่อการอยู่รอดของสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกที่มีความเฉพาะตัวสูง

การศึกษาความหลากหลายและการกระจายตัวของสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกในพื้นที่อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการทำให้ทราบถึงชนิดของสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก การกระจายตัว ตลอดจนปัจจัยคุกคามทางประชากรที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ และชุมชน ทั้งนี้ ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาจะสามารถนำไปใช้เป็นฐานข้อมูลทรัพยากรสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกของชุมชน เพื่อประโยชน์ในการวางแผนอนุรักษ์แหล่งที่อยู่อาศัย และแหล่งขยายพันธุ์ตามธรรมชาติ ตลอดจนส่งเสริมการจัดการประชากรสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกในพื้นที่ให้เกิดความยั่งยืน

Objectives

1. เพื่อใช้อนุกรมวิธานในการประเมินความหลากหลายของสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกในพื้นที่ของอำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่

2. เพื่อศึกษาความหลากชนิด และการแพร่กระจายของสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกในพื้นที่ของอำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่

Methodology

การสำรวจ

การสำรวจชนิดสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกในพื้นที่ของอำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ จำนวนจุดเก็บตัวอย่างทั้งหมด 4 จุด ได้แก่ จุดที่ 1 บ้านปางน้ำฤ (lat.19.06941, long.99.35947) ตั้งอยู่บนเทือกเขาสูงชัน และหุบเขาแคบ สภาพอากาศชุ่มชื้นตลอดปี ซึ่งเป็นแหล่งอาศัยกลุ่มสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกหลากชนิด จุดที่ 2 บ้านปางบง (lat.18.97698, long.99.32419) มีภูมิประเทศแบบดอยสูง และหุบเขาลาดชัน สภาพอากาศหนาวเย็น และมีความชื้นสูง โดยมีลำธารไหลผ่านชุมชนช่วยรักษาความชื้นในดิน เอื้อต่อการทำเกษตร จุดที่ 3 บ้านปางกำแพงหิน (lat.18.95202, long.99.34746) ตั้งอยู่บนแนวเทือกเขาสูงชันที่ชุ่มชื้นด้วยลำน้ำสายสำคัญ ได้แก่ ลำน้ำแม่กวง และลำน้ำแม่ตอนหลวง สภาพอากาศหนาวเย็น เอื้อต่อการทำเกษตรเพาะปลูกชาเมี่ยง และกาแฟอาราบิก้า จุดที่ 4 บ้านแม่ตอน (lat.18.971234, long.99.345016) พื้นที่เป็นภูเขาและพื้นที่ลาดชันสูง สภาพอากาศหนาวเย็น และมีความชื้นสูง เป็นพื้นที่ป่าดิบเขารอบชุมชนทำหน้าที่กักเก็บน้ำที่รองรับการทำเกษตร (Figure 1) ระหว่างเดือนมิถุนายน ถึง สิงหาคม พ.ศ. 2566 โดยการเดินสำรวจบริเวณใกล้แหล่งน้ำ และตามลำธารเก็บตัวอย่างกลางคืน เพื่อนำไปวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยา ทำการจดบันทึกข้อมูล ได้แก่ รายละเอียดของบริเวณที่พบสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก ลักษณะของระบบนิเวศ ถิ่นที่อยู่อาศัยโดยรอบ ความสูงจากระดับน้ำทะเล ความลาดชันของพื้นที่ป่า สภาพภูมิอากาศและลักษณะนิสัยของสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก จำนวนสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก บันทึกภาพสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกและบริเวณถิ่นที่อยู่อาศัยที่พบสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก (Forestry Research and Innovation Development Center, 2021; Khun Mae Kuang Watershed Royal Project Conservation Office, 2022; Thailand Institute of Scientific and Technological Research, 2023)

การเก็บรักษาตัวอย่าง

นำตัวอย่างจากการสำรวจมารักษาสภาพในสารละลายฟอร์มาลีนความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการย้ายตัวอย่างไปเก็บรักษาในสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์ (Lorphengsy & Suwannapoom, 2022) ตัวอย่างทั้งหมดถูกเก็บรักษาในห้องปฏิบัติการสาขาวิชาเทคโนโลยีและนวัตกรรมการประมง คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยพะเยา นำตัวอย่างดังกล่าวไปจัดจำแนกชนิดของสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก โดยใช้เอกสารวิชาการด้านอนุกรมวิธาน ระบุสายพันธุ์ ชื่อสามัญของสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกที่พบ (Niyomwan et al., 2016; Suwannapoom et al., 2022) สัตว์ที่พบจะถูกจัดสถานภาพโดยอิงจากรายชื่อสัตว์ป่าที่อยู่ในบัญชีแดง (Red list data) ตามการแบ่งสถานภาพของชนิดพันธุ์ โดยใช้หลักเกณฑ์การจำแนก จาก IUCN Red List Categories and criteria (IUCN, 2026) งานวิจัยนี้ได้ผ่านการพิจารณาของคณะกรรมการจรรยาบรรณการใช้สัตว์ทดลองทางวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา เลขที่คำขอใบอนุญาตใช้สัตว์ U1–10249–2565 โดยยึดหลักเกณฑ์จรรยาบรรณการใช้สัตว์ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

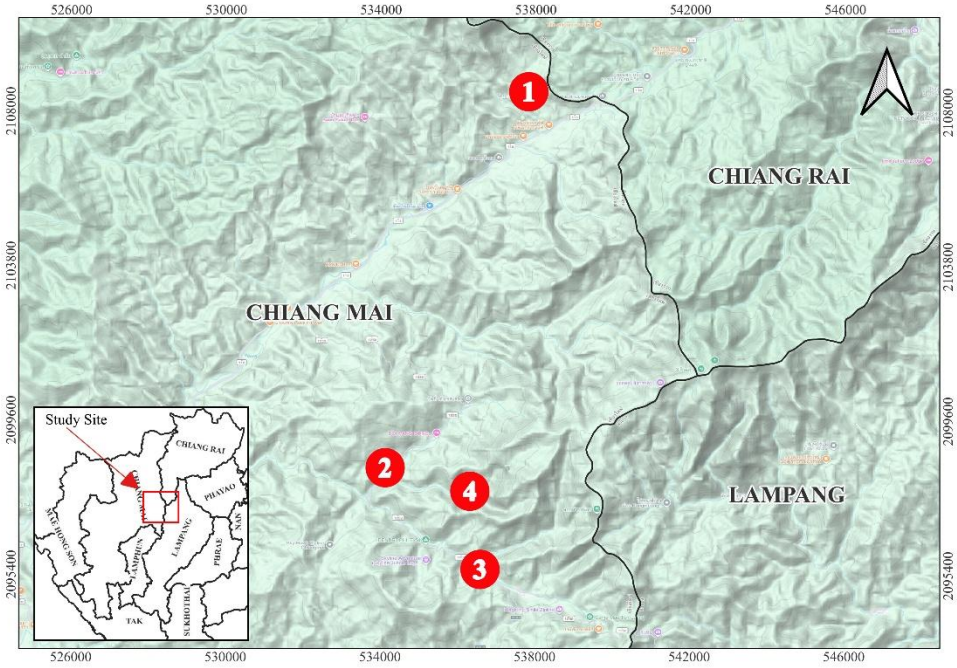


Figure 1 The study area is in Doi Saket District, Chiang Mai Province; Site 1 (Ban Pang Nam Thu), Site 2 (Ban Pang Bong), Site 3 (Ban Pang Kamphaeng Hin) and Site 4 (Ban Mae Ton)

การวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษาแสดงค่าความหลากหลายของสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกจากค่าความมากชนิด (Species richness) และเปรียบเทียบความสม่ำเสมอ (Species Evenness) ซึ่งมีสูตรการคำนวณ ดังนี้

1.1 ค่าความมากชนิด (Species Richness)

S = จำนวนชนิดของสิ่งชีวิตที่พบ

1.2 ดัชนีความหลากหลายของซิมป์สัน (Simpson's diversity index)

$$D = \frac{\sum n(n-1)}{N(N-1)}$$

โดย D คือ ค่าดัชนีความเด่นพันธุ์ของซิมป์สัน (Simpson's Index)

n คือ จำนวนประชากรของสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดพันธุ์ (Species)

N คือ จำนวนรวมของสิ่งมีชีวิตทุกชนิดพันธุ์ (Total individuals)

1.3 ค่าความหลากหลายของแชนนอน–ไวเนอร์ (Shannon–Wiener's Index)

$$H' = -\sum_{i=1}^{S} p_i \ln(p_i)$$

โดย H' คือ ค่าดัชนีความหลากหลายของแชนนอน–ไวเนอร์ (Shannon Index)

S คือ จำนวนชนิดของสิ่งชีวิตที่พบ (Species Richness)

p_i คือ สัดส่วนของจำนวนชนิด i ที่พบต่อจำนวนทั้งหมด

1.4 ค่าความสม่ำเสมอ (Species Evenness)

$$J' = \frac{H'}{\ln S}$$

โดย J' คือ ความสม่ำเสมอ (Species Evenness)

H' คือ ค่าดัชนีความหลากหลายของแชนนอน–ไวเนอร์ (Shannon Index)

S คือ จำนวนชนิดของสิ่งชีวิตที่พบ (Species Richness)

Results

การศึกษาความหลากหลายของสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกในพื้นที่ของอำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ พบทั้งหมด 23 ชนิด 16 สกุล 6 วงศ์ ได้แก่ วงศ์ Bufonidae พบ 1 ชนิด วงศ์ Dicrogrossidae พบ 3 ชนิด วงศ์ Megophryidae พบ 3 ชนิด วงศ์ Microhylidae พบ 4 ชนิด วงศ์ Ranidae พบ 5 ชนิด และ วงศ์ Rhacophoridae พบ 7 ชนิด (Table 1) ชนิดที่พบในทุกพื้นที่สำรวจและพบมากที่สุดคือ *Limnonectes taylori* จำนวน 26 ตัว

Table 1 The number of amphibian species in Doi Saket District, Chiang Mai Province, and their IUCN conservation status.

Scientific Name	Number of species found in each study site				Total	IUCN Red List Status
	1	2	3	4		
Family Bufonidae						
Duttaphrynus melanostictus	5		1		6	LC
Family Dicrogrossidae						
Fejervarya limnocharis	1				1	LC
Limnonectes limborgi	16				16	LC
Limnonectes taylori	1	3	21	1	26	LC
Family Megophryidae						
Leptobrachella pelodytoides			5		5	LC
Xenophrys major	1		3		4	LC
Xenophrys parva	2		2	1	5	LC
Family Microhylidae						
Kaloula pulchra			6		6	LC
Microhyla butleri	8				8	LC
Microhyla heymonsi	5				5	LC
Micryletta inornata	3				3	LC
Family Ranidae						
Hylarana nigrovittata	11		14		25	LC
Odorrana livida			1		1	LC
Odorrana sp.			6		6	LC
Odorrana sp.2			5		5	LC
Odorrana sp.4			1		1	LC

Table 1 (Continued)

Scientific Name	Number of species found in each study site				Total	IUCN Red List Status
	1	2	3	4		
Family Rhacophoridae						
Chirixalus doriae		5	4		9	LC
Feihyla vittata		12			12	LC
Gracixalus carinensis				2	2	LC
Polypedates leucomystax	13				13	LC
Raorchestes parvulus			2		2	LC
Rhacophorus bipunctatus	8	2	3		13	LC
Rhacophorus kio	5	4			9	LC
Total	**79**	**26**	**74**	**4**	**183**	

Note: LC: A taxon is classified as Least Concern if it has been evaluated and does not meet the criteria for Near Threatened or any threatened category.



Figure 2 Amphibians discovered within the family Bufonidae



Figure 3 Amphibians discovered within the family Dicrogrossidae

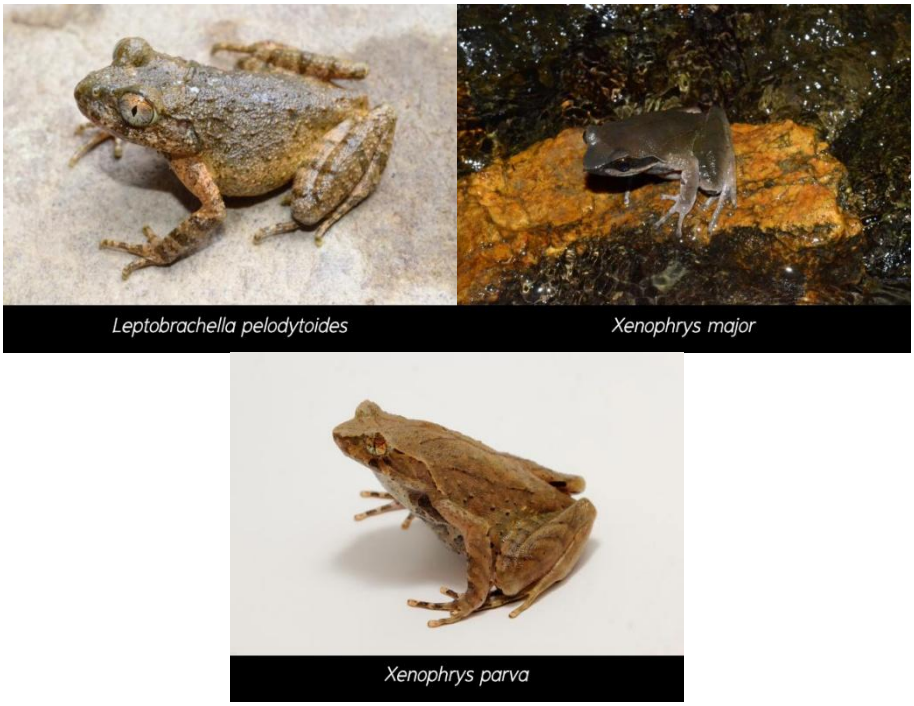


Figure 4 Amphibians discovered within the family Megophryidae



Figure 5 Amphibians discovered within the family Microhylidae



Figure 6 Amphibians discovered within the family Ranidae



Figure 7 Amphibians discovered within the family Rhacophoridae

ในด้านการวิเคราะห์ข้อมูลค่า Species richness พบว่า จุดที่ 1 พบ 13 ชนิด จุดที่ 2 พบ 5 ชนิด จุดที่ 3 พบ 14 ชนิด และจุดที่ 4 พบ 3 ชนิด จากการคำนวนค่า Simpson's diversity index มีค่าเท่ากับ 0.88 0.73 0.86 และ 0.83 ตามลำดับ ส่วนค่า Shannon–wiener's index มีค่าเท่ากับ 2.23 1.40 2.23 และ 0.34 ตามลำดับ ค่า Species evenness มีค่าเท่ากับ 0.87 0.88 0.34 และ 0.31 ตามลำดับ (Table 2)

Table 2 Species richness, diversity, and species evenness of amphibians in Doi Saket District, Chiang Mai Province.

Site	Species richness (S)	Simpson's diversity index (1/D)	Shannon–Wiener's index (H')	Species evenness (J')
1	13	0.88	2.23	0.87
2	5	0.73	1.40	0.88
3	14	0.86	2.23	0.34
4	3	0.83	0.34	0.31

Conclusion and Discussion

จากการศึกษาพบสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกตามลำธารในพื้นที่ของอำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ พบทั้งหมด 23 ชนิด 6 วงศ์ โดยที่บ้านปางน้ำฤพบสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก 13 ชนิด บ้านปางบงพบสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก 5 ชนิด บ้านปางกำแพงหินพบสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก 14 ชนิด และบ้านแม่ตอนพบสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก 3 ชนิด โดยพบ *Limnonectes taylori* ในทุกพื้นที่การศึกษา (Table 1) สอดคล้องกับการศึกษาของ Suwannapoom and Osathanunkul (2023) ที่พบ *L. bannaensis* และ *L. taylori* ครอบคลุมพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่

ผลการศึกษาครั้งนี้บ่งชี้ถึงหลักนิเวศวิทยา และชีวภูมิศาสตร์ โดยเฉพาะในประเด็น พื้นที่ภูเขาในภาคเหนือของประเทศไทยจัดเป็นศูนย์กลางความหลากหลายทางชีวภาพ (Biodiversity hotspot) ที่สำคัญ เนื่องจากความจำเพาะของระดับความสูง อุณหภูมิ ความชื้น และประเภทของระบบนิเวศ ส่งผลให้เกิดความหลากหลายของแหล่งที่อยู่อาศัย (habitat heterogeneity) เป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดความหลากหลายและโครงสร้างชุมชนของสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก เนื่องจากสัตว์แต่ละชนิดมีความต้องการด้านการสืบพันธุ์ การหาอาหาร และการหลบภัยแตกต่างกัน พื้นที่ที่ประกอบด้วยแหล่งอาศัยหลายรูปแบบ เช่น พื้นที่ชุ่มน้ำ ป่าไม้ และพื้นที่เกษตรกรรม จะสนับสนุนจำนวนชนิดและความอุดมสมบูรณ์ของสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกได้มากกว่าพื้นที่ที่มีสภาพแวดล้อมแบบเดียว (Demartín et al., 2025) นอกจากนี้ การรบกวนจากมนุษย์ต่อการเปลี่ยนแปลงของแหล่งที่อยู่อาศัยจากป่าธรรมชาติเป็นพื้นที่ทางการเกษตรส่งผลต่อโครงสร้างชุมชนของสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก โดยเฉพาะในกลุ่มสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกซึ่งเป็นกลุ่มสิ่งมีชีวิตที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยแวดล้อม (Decena et al., 2020) เช่น *Fejervarya limnocharis* และ *Polypedates leucomystax* แสดงให้เห็นถึงความสามารถในรับรู้ต่อการเปลี่ยนแปลงที่สูงของกลุ่มดังกล่าว จากงานวิจัยในสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก พบว่าชนิดที่มีการกระจายพันธุ์กว้างมักมี

ความสามารถในการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้ดีกว่าชนิดที่มีการกระจายจำกัด โดยการศึกษาที่พบว่าชนิดที่มีช่วงการกระจายแคบมีแนวโน้มเกิดการลดลงของพื้นที่กระจาย และมีความเสี่ยงต่อการลดลงของประชากรสูงกว่า

สัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกสามารถเป็นแหล่งโปรตีนทางเลือกสำหรับมนุษย์ ให้ทั้งคุณค่าทางโภชนาการ และเข้าถึงได้ง่าย เป็นแหล่งโปรตีนคุณภาพสูงที่มีกรดอะมิโนจำเป็นครบถ้วน ย่อยง่าย และมีไขมันต่ำ โดยส่วนเนื้อมีปริมาณกรดอะมิโนจำเป็นรวม และสารประกอบนิวคลีโอไทด์ (เช่น IMP และ GMP) สูงกว่าส่วนผิวหนัง ซึ่งช่วยเสริมคุณค่าทางโภชนาการและให้รสชาติอูมามิที่โดดเด่นคล้ายเนื้อสัตว์ทั่วไป ในขณะที่ส่วนผิวหนังอุดมไปด้วยโปรตีนคอลลาเจน และมีสัดส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวต่ออิ่มตัว (PUFA/SFA) ที่ดีต่อสุขภาพ (Indriani et al., 2025) ในการศึกษาพบกบ 2 ชนิด ได้แก่ *Fejervarya limnocharis* และ *Microhyla heymonsi* ที่นิยมนำมาบริโภคเป็นอาหาร เป็นแหล่งโปรตีนทางเลือกที่หาได้ในชุมชน และนำมาจำหน่ายเพื่อสร้างรายได้ มีความนิยมบริโภคเพิ่มสูงขึ้นของกบชนิด *F. limnocharis* อาจนำไปสู่การพัฒนาระบบการเพาะเลี้ยง และเพาะขยายพันธุ์ เพื่อลดการจับจากธรรมชาติ และเพื่อปล่อยคืนสู่ธรรมชาติ และ *M. heymonsi* เป็นสัตว์ที่บริโภคแมลงขนาดเล็กจำนวนมาก และมีการพบแพร่หลายในพื้นที่เกษตรกรรมหลายประเทศในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (Pham et al., 2022)

จากการศึกษาของ Sutthiwises et al. (2020) พบ *Polypedates* ในประเทศไทย 7 ชนิดได้แก่ *P. leucomystax, P. megacephalus, P. mutus, P. braueri, P. discantus, P. impresus* และ *Polypedates sp.* ซึ่ง *Polypedates* เป็นสายพันธุ์ที่มีความซ่อนเร้น โดยการศึกษาในครั้งนี้พบ *P. leucomystax* ในพื้นที่บ้านปางน้ำถุ การศึกษา Sutthiwises et al. (2020) แสดงให้เห็นว่าการใช้เพียงลักษณะสัณฐานวิทยาอาจไม่เพียงพอในการจำแนกชนิด เนื่องจากกบในสกุล *Polypedates* เป็นส่วนหนึ่งของความซับซ้อน (complex) ที่มีหลายสายจึงทำให้อนุกรมวิธาน และการกระจายของกบในกลุ่มนี้มีความซับซ้อนเช่นกัน การศึกษาล่าสุดได้แสดงให้เห็นกลุ่มที่แตกต่างกันภายในความซับซ้อน ที่พบในประเทศไทย ซึ่งบ่งชี้ถึงความหลากหลายทางพันธุกรรม ที่ได้รับอิทธิพลจากอุปสรรคทางภูมิศาสตร์ และสภาพภูมิอากาศ (Buddhachat & Suwannapoom, 2018)

จากการศึกษาค่าดัชนีความหลากหลาย พบว่าค่า Species richness ของ จุดที่ 1 2 3 และ 4 (13 5 14 และ 3 ตามลำดับ) แสดงถึงการค้นพบชนิดของสิ่งมีชีวิตที่พบในแต่ละจุด ค่า Simpson's diversity index ที่ได้จะอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ยิ่งค่าเข้าใกล้ 1 จะแสดงให้เห็นถึงความหลากหลายที่สูงและการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอของสิ่งมีชีวิต (Simpson, 1949) จากการคำนวณในแต่ละพื้นที่ (0.88 0.73 0.86 และ 0.83 ตามลำดับ) แสดงถึงความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตที่มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอและมีความหลากหลายของชนิดในพื้นที่นั้น ๆ สำหรับค่า Shannon–Weiner's index หากค่าที่ได้เข้าใกล้ 0 ถึง 1.5 แสดงถึงระบบนิเวศมีความหลากหลายต่ำ ส่งผลถึงสภาพแวดล้อมที่ผิดปกติ ค่าที่ได้เข้าใกล้ 2.0 ถึง 3.0 แสดงถึงระบบนิเวศมีความหลากหลายระดับปานกลาง ค่าที่ได้มากกว่า 3.0 แสดงถึงระบบนิเวศมีความหลากหลายสูง สภาพแวดล้อมมีความสมบูรณ์ (Shannon, 2001) จากการคำนวณในแต่ละพื้นที่พบว่าจุดที่ 1 และ 3 (2.23 และ 2.23) มีระบบนิเวศที่มีความหลากหลายระดับปานกลาง จุดที่ 2 และ 4 (1.4 และ 0.34) มีระบบนิเวศที่มีความหลากหลายระดับต่ำ ส่วนค่า Species evenness หากค่าที่ได้อยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ยิ่งค่าเข้าใกล้ 1 จะแสดงถึงสัดส่วนของสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดที่มีประชากรใกล้เคียงกันมาก ซึ่งมีค่าความสม่ำเสมอสูง (Magurran, 2009) ทำให้ระบบนิเวศมีความสมดุล มีการควบคุมกันเองในระบบห่วงโซ่อาหาร จากการคำนวณในแต่ละพื้นที่จุดที่ 1 และ 2 ค่า 0.87 และ 0.88 แสดงว่ามีความสม่ำเสมอสูงกว่า จุดที่ 3 และ 4 มีค่าเท่ากับ 0.34 และ 0.31 แสดงว่ามีความสม่ำเสมอต่ำ เมื่อพิจารณาสถานภาพด้านการอนุรักษ์จากฐานข้อมูล IUCN พบสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกมีความเสี่ยงต่ำที่สุด Least Concern (LC) จำนวน 23 ชนิด นอกจากนี้อัตราการสูญเสียถิ่นที่อยู่อาศัย และการใช้ประโยชน์ของประชากรมนุษย์ที่เพิ่มสูงขึ้น ก็มีความสัมพันธ์กับความเสี่ยงต่อการถูกคุกคามที่สูงขึ้นเช่นกัน ทั้งนี้ขนาดของเขต

กระจายพันธุ์ การสูญเสียถิ่นที่อยู่อาศัย และความรุนแรงของฤดูกาลที่มีผลต่อปริมาณน้ำฝน ล้วนเป็นปัจจัยที่มีส่วนทำให้เกิดความเสี่ยงต่อการลดจำนวนลงของสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก (Sodhi et al., 2008) ซึ่งจำเป็นต่อการรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน(Kosch et al., 2024) ที่ชุมชนใช้ประโยชน์จากป่า ผลการศึกษาในครั้งนี้มีความแตกต่างระหว่างประชากรที่พบในแต่ละพื้นที่การศึกษา ซึ่งมีความจำเพาะของระดับความสูง และสภาพแวดล้อมถิ่นที่อยู่อาศัยของสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก ในการศึกษานี้สามารถใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการศึกษาด้านอนุกรมวิธานของสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกในพื้นที่ของอำเภอดอยสะเก็ด เพื่อใช้เป็นแนวทางการอนุรักษ์สัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกในพื้นที่ต่อไป

Acknowledgements

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัย โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริฯ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2569 มหาวิทยาลัยพะเยา สัญญาเลขที่ RSPG69005 และทุนอุดหนุนการทำวิทยานิพนธ์มหาวิทยาลัยพะเยา ประจำปีการศึกษา 2564 คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยพะเยา และขอขอบคุณบุคลากรในสาขาเทคโนโลยีและนวัตกรรมการประมงที่กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษาชี้แนะแนวทาง ความช่วยเหลือ และแก้ไขปัญหาในการดำเนินงานวิจัย

References

Buddhachat, K., & Suwannapoom, C. (2018). Phylogenetic relationships and genetic diversity of the *Polypedates leucomystax* complex in Thailand. *PeerJ*, 6, e4263.

Decena, S. C. P., Avorque, C. A., Decena, I. C. P., Asis, P. D., & Pacle, B. (2020). Impact of habitat alteration on amphibian diversity and species composition in a lowland tropical rainforest in Northeastern Leyte, Philippines. *Scientific reports, 10*(1), 10547.

Demartín, R. P., Ghirardi, R., & López, J. A. (2025). Influence of natural and artificial habitats and microhabitats on urban amphibian diversity and behavior. *Diversity, 17*(4), 292.

Department of National Parks, W. a. P. C. (2017). *Report on forest resource situation and conservation area management in the northern region*. A. Publishing. (in Thai)

Forestry Research and Innovation Development Center. (2021). *A study of plant community structure and biodiversity in Khun Mae Kuang watershed area, Doi Saket District, Chiang Mai Province*. K. U. Faculty of Forestry. (in Thai)

IUCN. (2026). The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2025–2. International Union for Conservation of Nature. Form https://www.iucnredlist.org/

Khun Mae Kuang Watershed Royal Project Conservation Office. (2022). *Report on the operation of watershed area management and tea–coffee agroforestry systems in Thep Sadet and Pa Miang Sub–districts, Doi Saket District, Chiang Mai Province*. W. a. P. C. Department of National Parks. (in Thai)

Kosch, T. A., Torres–Sánchez, M., Liedtke, H. C., Summers, K., Yun, M. H., Crawford, A. J., Maddock, S. T., Ahammed, M. S., Araújo, V. L., & Bertola, L. V. (2024). The Amphibian Genomics Consortium: advancing genomic and genetic resources for amphibian research and conservation. *BMC genomics, 25*(1), 1025.

Lorphengsy, S., & Suwannapoom, C. (2022). *An integrative Taxonomy Assessment for Species Diversity of Amphibians in Doi Phu Kha National Park, Nan Province University of Phayao*.

Magurran, A. E. (2009). *Measuring Biological Diversity*. Wiley. Form https://books.google.co.th/books?id=7oE–WvzfoMcC

Niyomwan, P., Srisom, P., & Pawangkhanant, P. (2016). Amphibians of Huai Kha Khaeng. *parbpim*. Bangkok. (in Thai)

Niyomwan, P., Srisom, P., & Pawangkhanant, P. (2019). Amphibians of Thailand. *parbpim*. Bangkok. (in Thai)

Pham, A. V., Ngo, C. D., Nguyen, T. Q., & Ngo, B. V. (2022). Diet of *Microhyla butleri* and *M. heymonsi* from Son La Province, northwestern Vietnam. *Herpetological Conservation and Biology, 17*(1), 217–224.

Shannon, C. E. (2001). A mathematical theory of communication. *ACM SIGMOBILE mobile computing and communications review, 5*(1), 3–55.

Simpson, E. H. (1949). Measurement of diversity. *Nature, 163*(4148), 688–688.

Sodhi, N. S., Bickford, D., Diesmos, A. C., Lee, T. M., Koh, L. P., Brook, B. W., Sekercioglu, C. H., & Bradshaw, C. J. (2008). Measuring the meltdown: drivers of global amphibian extinction and decline. *PloS one, 3*(2), e1636.

Sutthiwises, T., Taksintum, W., Arunyawat, U., Sangthong, P., & Jantrarotai, P. (2020). Molecular identification of the morphologically cryptic Asian common treefrogs (Anura: Rhacophoridae, *Polypedates leucomystax* complex) in Thailand. *Agriculture and Natural Resources, 54*(1), 1–8.

Suwannapoom, C., & Osathanunkul, M. (2023). Distinguishing fanged frogs (*Limnonectes*) species (Amphibia: Anura: Dicroglossidae), from Thailand using high resolution melting analysis. *Scientific Reports, 13*(1), 18615.

Suwannapoom, C., Grismer, L. L., Pawangkhanant, P., & Poyarkov, N. A. (2022). A new species of stream toad of the genus *Ansonia* Stoliczka, 1870 (Anura: Bufonidae) from Nakhon Si Thammarat Range in southern Thailand. *Zootaxa, 5168*(2), 119–136.

Thailand Institute of Scientific and Technological Research. (2023). Survey of physical and biological resources for sustainable community economic development in Khun Mae Kuang National Reserved Forest, Chiang Mai Province. S. Ministry of Higher Education, *Research and Innovation*. (in Thai)

Wu, Y.–H., Suwannapoom, C., Poyarkov Jr, N. A., Pawangkhanant, P., Xu, K., Jin, J.–Q., Murphy, R. W., & Che, J. (2019). A new species of the genus *Xenophrys* (Anura: Megophryidae) from northern Thailand. *Zoological research, 40*(6), 564.

การจัดการขยะมูลฝอยแบบมีส่วนร่วมโดยใช้เทคโนโลยีและการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมเศรษฐกิจหมุนเวียนในเทศบาลเมืองกาญจนบุรี

ณรงค์ศักดิ์ เถื่อนใย[1], สร้อยเพชร ลิสนิ[2*] และ พจนีย์ สุขชาวนา[3]

Participatory Solid Waste Management Using Technology and Learning Approaches to Promote a Circular Economy in Kanchanaburi Municipality, Thailand

Narongsak Theanyai[1], Sroypet Lissani[2*] Photjanee Sukchaona[3]

[1] Bachelor of Technology Program in Industrial Technology, Faculty of Industrial Technology Kanchanaburi Rajabhat University, Kanchanaburi, 71190

[2] Bachelor of Accountancy, Faculty of Management Sciences, Kanchanaburi Rajabhat University, Kanchanaburi, 71190

[3] Bachelor of Science Program in Computer Science, Faculty of Science and Technology, Kanchanaburi Rajabhat University, Kanchanaburi, 71190

[*]Corresponding author: lissa@kru.ac.th

Received: 14 February 2026; Revised: 18 May 2026; Accepted: 11 June 2026

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) เพื่อศึกษาสถานการณ์การจัดการขยะมูลฝอยในพื้นที่เทศบาลเมืองกาญจนบุรี 2) พัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อสนับสนุนการจัดการขยะมูลฝอยสำหรับประชาชนทุกครัวเรือนในพื้นที่เทศบาลเมืองกาญจนบุรี และ 3) เพื่อศึกษาศักยภาพของการสร้างมูลค่าเพิ่มจากขยะมูลฝอยในระดับชุมชน โดยใช้วิธีวิจัยแบบผสมผสาน (Mixed Methods) ประกอบด้วยการเก็บข้อมูลจากแบบสอบถาม การสัมภาษณ์ การสนทนากลุ่ม และการประชุมเชิงปฏิบัติการ ผลการวิจัยพบว่า ประชาชนในเขตเทศบาลส่วนใหญ่มีทัศนคติที่ดีต่อการจัดการขยะและตระหนักถึงปัญหา แต่ยังขาดการมีส่วนร่วมที่เป็นรูปธรรม การมีเทคโนโลยีและกิจกรรมการเรียนรู้ช่วยส่งเสริมความเข้าใจและพฤติกรรมด้านการแยกขยะที่เหมาะสมกับบริบทของชุมชนเมือง ผู้วิจัยได้พัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อการบริหารจัดการขยะ โดยออกแบบให้มีฟังก์ชันที่สอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้งาน เช่น ระบบแจ้งเตือนวันทิ้งขยะ การให้ข้อมูลแยกประเภทขยะ และกิจกรรมส่งเสริมการเรียนรู้ ผลการประเมินการยอมรับเทคโนโลยีตามโมเดล TAM และความพึงพอใจต่อการใช้งาน พบว่าอยู่ในระดับมากที่สุด นอกจากนี้ คณะผู้วิจัยยังได้พัฒนานวัตกรรมเพิ่มมูลค่าขยะ โดยทั้งหมดได้รับการประเมินว่าเหมาะสมกับชุมชนเมืองที่มีข้อจำกัดด้านพื้นที่และต้องการแนวทางจัดการขยะที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ผู้เข้าร่วมโครงการสามารถนำองค์ความรู้ไปใช้ได้จริง ถ่ายทอดสู่ชุมชน และสร้างรายได้ โดยรวมอยู่ในระดับมาก

คำสำคัญ: การจัดการขยะมูลฝอย, เทศบาลเมืองกาญจนบุรี, การมีส่วนร่วมของชุมชน, เศรษฐกิจหมุนเวียน

---

[1] หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี จังหวัดกาญจนบุรี 71190

[2] หลักสูตรบัญชีบัณฑิต คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี จังหวัดกาญจนบุรี 71190

[3] หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี จังหวัดกาญจนบุรี 71190

Abstract

This research aimed to: (1) examine the municipal solid waste management situation in Kanchanaburi Municipality; (2) develop a mobile application to support solid waste management for households within Kanchanaburi Municipality; and (3) investigate the potential for community-level value creation from municipal solid waste. A mixed-methods research design was employed, including data collection through questionnaires, interviews, focus group discussions, and participatory workshops. The findings revealed that most residents demonstrated positive attitudes toward waste management and awareness of waste-related problems; however, concrete community participation remained limited. The integration of technology and learning activities was found to enhance understanding and promote appropriate waste separation behaviors suited to an urban community context. The researchers developed a waste management application designed to meet user needs, incorporating key functions such as waste collection day notifications, waste classification information, and learning promotion activities. The evaluation results based on the Technology Acceptance Model (TAM) and user satisfaction indicated the highest level of acceptance and satisfaction. In addition, the research team developed value-added waste innovation initiatives, all of which were evaluated as suitable for urban communities facing spatial limitations and seeking environmentally friendly waste management solutions. Project participants were able to practically apply the acquired knowledge, disseminate it within the community, and generate income, with overall outcomes rated at a high level.

Keywords: Solid waste Management, Kanchanaburi Municipality, Community Participation, Circular Economy

Introduction

สถาบันการเรียนรู้ตลอดชีวิตแห่งยูเนสโก (UNESCO Institute for Lifelong Learning: UIL) ได้ผลักดันให้ประเทศสมาชิกสร้างเมืองแห่งการเรียนรู้ (Learning City) เพื่อยกระดับศักยภาพของประชาชนให้มีความรู้ ทักษะ และทัศนคติที่สามารถปรับตัวเข้ากับความเปลี่ยนแปลงทางเศรษฐกิจ สังคม การเมือง และสิ่งแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังส่งเสริมการพัฒนาที่ยั่งยืนตามกรอบเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) โดยเฉพาะเป้าหมายที่ 4 ด้านการจัดการศึกษาอย่างทั่วถึง เท่าเทียม และมีคุณภาพ พร้อมส่งเสริมการเรียนรู้ตลอดชีวิต และเป้าหมายที่ 11 ที่มุ่งพัฒนาเมืองให้น่าอยู่ ปลอดภัย และยั่งยืนเพื่อรองรับการขยายตัวของประชากรโลกในอนาคต (UNESCO Institute for Lifelong Learning [UIL], 2023)

ในบริบทของประเทศไทย ปัญหาขยะมูลฝอยนับเป็นหนึ่งในปัญหาสิ่งแวดล้อมที่รุนแรงขึ้นอย่างต่อเนื่อง สืบเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของประชากร การพัฒนาเศรษฐกิจ และการขยายตัวของเมือง ส่งผลให้ปริมาณขยะเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่พื้นที่กำจัดขยะมีจำกัด และกระบวนการบริหารจัดการยังขาดประสิทธิภาพ ตลอดจนการขาดความรู้และจิตสำนึกของประชาชนในการคัดแยกและลดขยะตั้งแต่ต้นทาง ซึ่งปัญหาเหล่านี้ส่งผลกระทบโดยตรงต่อสิ่งแวดล้อม สุขภาพ และงบประมาณของภาครัฐ (Duangmusik et al., 2023)

สำหรับเทศบาลเมืองกาญจนบุรีซึ่งมีลักษณะเป็นเมืองท่องเที่ยวสำคัญและมีประชากรหลากหลายประเภท ทั้งประชากรถิ่น ประชากรแฝง และประชากรจร ทำให้ต้องเผชิญกับปัญหาขยะจำนวนมาก โดยในปี 2566 มีปริมาณขยะเฉลี่ยสูงถึง 42.36 ตันต่อวัน และใช้งบประมาณในการจัดการมากกว่า 27 ล้านบาท (เทศบาลเมืองกาญจนบุรี, 2566) ส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตของประชาชน เศรษฐกิจท้องถิ่น และการพัฒนาที่ยั่งยืนของเมือง ดังนั้น การพัฒนาเทศบาลเมืองกาญจนบุรีสู่การเป็นเมืองแห่งการเรียนรู้จึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง โดยมุ่งเน้นการสร้าง

กระบวนการมีส่วนร่วมของทุกภาคส่วนในชุมชนเพื่อแลกเปลี่ยนเรียนรู้และกำหนดแนวทางแก้ไขปัญหาขยะอย่างเป็นระบบ รวมถึงการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีและนวัตกรรม เช่น แอปพลิเคชันเพื่อการจัดการขยะในครัวเรือนและธุรกิจ ซึ่งจะช่วยลดปริมาณขยะจากต้นทาง สนับสนุนเศรษฐกิจหมุนเวียน เพิ่มรายได้แก่ชุมชน และนำไปสู่การพัฒนาที่สมดุลทั้งด้านสิ่งแวดล้อม สุขภาวะ และเศรษฐกิจในระยะยาว

Objectives

1. เพื่อศึกษาสถานการณ์การจัดการขยะมูลฝอยในพื้นที่เทศบาลเมืองกาญจนบุรี
2. พัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อสนับสนุนการจัดการขยะมูลฝอยสำหรับประชาชนทุกครัวเรือนในพื้นที่เทศบาลเมืองกาญจนบุรี
3. เพื่อศึกษาศักยภาพของการสร้างมูลค่าเพิ่มจากขยะมูลฝอยในระดับชุมชน

Research Conceptual Framework



Figure 1 Research Conceptual Framework

Literature Review

แนวคิดเมืองแห่งการเรียนรู้

สถาบันการเรียนรู้ตลอดชีวิตแห่งยูเนสโก (UNESCO Institute for Lifelong Learning– UIL) ได้ให้คำนิยามของเมืองแห่งการเรียนรู้ในการเป็นพื้นที่เรียนรู้ทางสังคมของผู้คน และมีการก่อตั้งเครือข่ายขึ้นเพื่อช่วยเหลือรัฐบาลท้องถิ่น พัฒนากลยุทธ์ที่เป็นรูปธรรมในการส่งเสริมการเรียนรู้ตลอดชีวิต และส่งเสริมความเท่าเทียมทางการศึกษาของผู้คน โดยได้กล่าวถึงคุณลักษณะสำคัญที่จะนำไปสู่การเป็นเมืองแห่งการเรียนรู้ 6 ประการคือ

1) การเรียนรู้ในระบบการศึกษาแบบบูรณาการ

2) การส่งเสริมการเรียนรู้ในครอบครัวและชุมชน

3) การเรียนรู้ในสถานที่ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ

4) การใช้เทคโนโลยีเกี่ยวกับการเรียนรู้ที่ทันสมัย

5) การเพิ่มประสิทธิภาพของเรียนรู้

6) การสร้างวัฒนธรรมการเรียนรู้ตลอดชีวิตอย่างเข้มแข็ง

แนวคิดเกี่ยวกับขยะมูลฝอย

ขยะมูลฝอยเป็นของเหลือทิ้งจากกิจกรรมของมนุษย์และสัตว์ แบ่งเป็นขยะทั่วไปและขยะอันตราย (Pollution Control Department (2022) ปัจจุบันการขยายตัวของเมืองและเศรษฐกิจส่งผลให้ปริมาณขยะเพิ่มสูงขึ้นเกินขีดความสามารถในการจัดการ ก่อให้เกิดการสะสมและปัญหามลพิษทั้งทางอากาศ น้ำ ดิน ตลอดจนเป็นแหล่งพาหะนำโรค (Duangmusik et al., 2023) ประเทศไทยและนานาชาติจึงให้ความสำคัญกับนโยบายการจัดการขยะอย่างครบวงจร โดยมุ่งเน้นการลดปริมาณและคัดแยกตั้งแต่ต้นทาง การนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ ทั้งในรูปแบบวัสดุ (Material Recovery) และพลังงาน (Energy Recovery) รวมถึงการฝังกลบอย่างถูกสุขาภิบาล (Ministry of Natural Resources and Environment (2022); World Bank, 2018) เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสร้างมูลค่าเพิ่มทางเศรษฐกิจอย่างยั่งยืน

แนวคิดเกี่ยวกับแอปพลิเคชัน

แอปพลิเคชัน (Application) คือโปรแกรมหรือชุดคำสั่งที่ออกแบบมาเพื่ออำนวยความสะดวกและตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานผ่านส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface: UI) โดยจำแนกตามแพลตฟอร์มการทำงานได้ 3 หมวด ได้แก่ บนคอมพิวเตอร์ (Desktop Application) บนอุปกรณ์เคลื่อนที่ (Mobile Application) และบนเว็บเบราว์เซอร์ (Web Application) นอกจากนี้ หากจำแนกตามประเภทการทำงานจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มหลัก คือ แอปพลิเคชันระบบ (System Application) ซึ่งทำหน้าที่เป็นระบบปฏิบัติการพื้นฐาน และแอปพลิเคชันประยุกต์ (Application Software) ที่พัฒนาขึ้นเพื่อตอบสนองการทำงานเฉพาะด้าน เช่น การสื่อสาร การทำงาน หรือระบบ IoT

แนวคิดเกี่ยวกับการจัดการสิ่งแวดล้อม

การจัดการสิ่งแวดล้อม เป็นกระบวนการบูรณาการเพื่อวางแผน ป้องกัน และแก้ไขปัญหามลพิษอย่างเป็นระบบ อาศัยความร่วมมือจากทุกภาคส่วนควบคู่กับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม ประกอบด้วย 3 แนวทางหลัก ได้แก่ (1) การใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างยั่งยืนและเกิดประสิทธิภาพสูงสุด (2) การบำบัด กำจัดของเสีย และฟื้นฟูระบบนิเวศให้กลับสู่สมดุล และ (3) การควบคุมกิจกรรมของมนุษย์ทั้งในภาคอุตสาหกรรม เกษตรกรรม และชุมชน เพื่อป้องกันผลกระทบเชิงลบต่อสิ่งแวดล้อม (กรมการปกครองส่วนท้องถิ่น, 2550) อันจะนำไปสู่การรักษาสมดุลของระบบนิเวศและยกระดับคุณภาพชีวิตอย่างยั่งยืน

ในการศึกษาเรื่องการจัดการขยะมูลฝอยแบบมีส่วนร่วมโดยใช้เทคโนโลยีและการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมเศรษฐกิจหมุนเวียน ผู้วิจัยได้ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งสามารถสรุปประเด็นสำคัญได้ดังนี้

1. การบริหารจัดการขยะมูลฝอยขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น

องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งในการบริหารจัดการสิ่งแวดล้อมในระดับพื้นที่ ซึ่งความสำเร็จมักขึ้นอยู่กับนโยบายและการสร้างความตระหนักรู้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kobwitthaya, K. (2019) ที่ได้ศึกษาการบริหารจัดการขยะมูลฝอยของเทศบาลเมืองนราธิวาส พบว่าการบูรณาการความร่วมมือระหว่างเทศบาลและประชาชนในการคัดแยกขยะตั้งแต่ต้นทาง ถือเป็นปัจจัยแห่งความสำเร็จที่สำคัญ นอกจากนี้ Kanlayanamit, P., & Ngamlamom, W. (2018) ได้เสนอแนวทางการพัฒนาการจัดการขยะมูลฝอยขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น โดยเน้นย้ำถึงความจำเป็นในการรณรงค์และประชาสัมพันธ์ให้ประชาชนเข้ามามีส่วนร่วมลดปริมาณขยะในชีวิตประจำวัน ควบคู่กับการให้ความรู้เรื่องการคัดแยกประเภทมูลฝอย เพื่อลดภาระการจัดเก็บและกำจัดที่ปลายทาง

2. กระบวนการจัดการขยะมูลฝอยแบบมีส่วนร่วมของชุมชน (Community Participation)

การให้ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียเข้ามามีบทบาทในกระบวนการจัดการขยะ เป็นเครื่องมือที่ช่วยสร้างความยั่งยืนได้อย่างเป็นรูปธรรม ดังที่ Phuangprasert, P., et al. (2020) ได้ศึกษาการมีส่วนร่วมของชุมชนที่มีต่อการจัดการขยะมูลฝอย กรณีศึกษาเทศบาลเมืองลาดสวาย จังหวัดปทุมธานี พบว่าประชาชนให้ความร่วมมือในระดับสูงเมื่อมีส่วนร่วมในภาคปฏิบัติการ โดยเฉพาะการคัดแยกขยะก่อนนำไปทิ้ง ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Insee, N., et al. (2022) ที่พัฒนากระบวนการจัดการขยะมูลฝอยแบบมีส่วนร่วมอย่างยั่งยืน พบว่าการสนับสนุนให้ครัวเรือนรู้จักการคัดแยกขยะตามสีของภาชนะรองรับ ช่วยให้กระบวนการจัดเก็บและขนถ่ายของเทศบาลมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

นอกจากนี้ การใช้กระบวนการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม (Participatory Action Research: PAR) ยังช่วยขับเคลื่อนชุมชนได้เป็นอย่างดี ดังตัวอย่างงานวิจัยที่ใช้กระบวนการ PAR ในการพัฒนาเครือข่ายบริหารจัดการขยะมูลฝอยชุมชน พบว่าการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบกลุ่มและการถ่ายทอดองค์ความรู้เกี่ยวกับการแปรรูปขยะช่วยสร้างความตระหนักและเปลี่ยนพฤติกรรมการจัดการขยะของคนในชุมชนได้จริง ทั้งยังช่วยสร้างมูลค่าเพิ่ม (Value Added) ตามแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) อีกด้วย

สรุปความเชื่อมโยงสู่งานวิจัย จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องข้างต้นจะเห็นได้ว่าการจัดการขยะที่ประสบความสำเร็จต้องอาศัยการมีส่วนร่วมของชุมชนและการคัดแยกจากต้นทาง อย่างไรก็ตาม ยังพบช่องว่างทางการวิจัยในด้านการนำเทคโนโลยี (เช่น แอปพลิเคชัน) เข้ามาบูรณาการร่วมกับกระบวนการเรียนรู้ของคนทุกช่วงวัย งานวิจัยในครั้งนี้จึงมุ่งเน้นการอุดช่องว่างดังกล่าว โดยการพัฒนานวัตกรรมและแอปพลิเคชันเพื่อสนับสนุนการเรียนรู้ด้านการจัดการขยะในบริบทของเทศบาลเมืองกาญจนบุรี เพื่อยกระดับเศรษฐกิจชุมชนและคุณภาพชีวิตอย่างยั่งยืน

Methodology

การวิจัยเรื่อง การจัดการขยะมูลฝอยแบบมีส่วนร่วมโดยใช้เทคโนโลยีและการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมเศรษฐกิจหมุนเวียนในเทศบาลเมืองกาญจนบุรี ใช้รูปแบบ การวิจัยแบบผสมผสาน (Mixed Methods Research) เพื่อศึกษาสถานการณ์ พัฒนาเทคโนโลยีสนับสนุนการจัดการขยะ และประเมินศักยภาพการสร้างมูลค่าเพิ่มจากขยะในระดับชุมชน

ประเภทของข้อมูลและแหล่งข้อมูล การวิจัยใช้ข้อมูลทั้งเชิงปริมาณ ได้แก่ ระดับความรู้และทัศนคติด้านการจัดการขยะ การมีส่วนร่วมของประชาชน การยอมรับเทคโนโลยี ความพึงพอใจและการนำไปใช้ประโยชน์ และเชิงคุณภาพ ได้แก่ มุมมองของผู้นำชุมชนและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง กระบวนการมีส่วนร่วมของชุมชน ผลลัพธ์

การพัฒนานวัตกรรมและเศรษฐกิจหมุนเวียน แหล่งข้อมูลมาจากประชาชนในเขตเทศบาลเมืองกาญจนบุรี ผู้นำชุมชน 27 ชุมชน และหน่วยงานภาครัฐและเอกชนที่เกี่ยวข้อง

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง คือ ประชาชนทุกครัวเรือนในพื้นที่เทศบาลเมืองกาญจนบุรี กลุ่มตัวอย่าง หัวหน้าครัวเรือนหรือตัวแทนครัวเรือน จำนวน 390 คน และผู้แทนหน่วยงานภาครัฐและเอกชน จำนวน 10 คน รวมกลุ่มตัวอย่างทั้งสิ้น 400 คน วิธีคัดเลือกตัวอย่าง ใช้การเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) โดยคัดเลือกผู้ที่อาศัยอยู่ในพื้นที่และมีบทบาทหรือประสบการณ์เกี่ยวข้องกับการจัดการขยะ ผู้ให้ข้อมูลสำคัญ (Key Informants) ได้แก่ ผู้นำชุมชน 27 คน และผู้แทนหน่วยงานรัฐ/เอกชน 10 คน

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ แบบสอบถามแบบมีโครงสร้าง แบบสัมภาษณ์เชิงลึก แนวคำถามการสนทนากลุ่ม (Focus Group Discussion) กิจกรรมประชุมเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม แอปพลิเคชันการบริหารจัดการขยะมูลฝอย และนวัตกรรมการคัดแยกและเพิ่มมูลค่าขยะตามแนวคิด 3R และ Zero Waste การตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ โดยหาค่าความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา และพิจารณาความเหมาะสมสอดคล้องของรายการที่ถามในแบบสอบถามวัตถุประสงค์ของการวิจัย จำนวน 3 ท่าน โดยใช้ดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ได้ค่าความสอดคล้องตั้งแต่ 0.67–1.00 ปรับปรุงแบบสอบถามตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญครั้งสุดท้ายก่อนนำไปทดลองใช้ (Try out) จำนวน 30 คน คำนวณค่าความเชื่อมั่น (Reliability) ของแบบสอบถาม โดยใช้สัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach)

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย การดำเนินการวิจัยแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

1. การศึกษาสถานการณ์การจัดการขยะมูลฝอย เก็บข้อมูลด้วยแบบสอบถาม การสัมภาษณ์ และการสนทนากลุ่ม เพื่อวิเคราะห์สภาพปัญหา พฤติกรรม และระดับการมีส่วนร่วมของประชาชน ตัวชี้วัดเชิงปริมาณประกอบด้วย ระดับความรู้ด้านการจัดการขยะ ทัศนคติด้านสิ่งแวดล้อม และระดับการมีส่วนร่วมของชุมชน

2. การพัฒนาและทดลองใช้นวัตกรรมการจัดการขยะ โดยพัฒนาแอปพลิเคชันการจัดการขยะมูลฝอยผ่านกระบวนการวิเคราะห์ ออกแบบ พัฒนา ทดลองใช้ และประเมินผล โดยทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่าง 30 คน เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ พร้อมพัฒนานวัตกรรมการคัดแยกและเพิ่มมูลค่าขยะร่วมกับชุมชนตัวชี้วัดเชิงปริมาณประกอบด้วย คุณภาพระบบแอปพลิเคชัน ระดับการยอมรับเทคโนโลยี (Technology Acceptance) ความพึงพอใจผู้ใช้งาน และจำนวนรูปแบบนวัตกรรมเพิ่มมูลค่าขยะ

3. การถ่ายทอดและประเมินผลการนำไปใช้ ให้แก่ประชาชนและภาคีเครือข่าย จำนวน 200 คน พร้อมติดตามผลการนำไปใช้จริงในครัวเรือน ตัวชี้วัดเชิงปริมาณ ระดับความรู้และความเข้าใจหลังเข้าร่วมกิจกรรม ความพึงพอใจต่อการใช้งานนวัตกรรม การลดลงของปริมาณขยะครัวเรือน และการสร้างรายได้จากกิจกรรมเศรษฐกิจหมุนเวียน

วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล ประกอบด้วย ข้อมูลเชิงปริมาณ วิเคราะห์ด้วยสถิติพรรณนา ได้แก่ ความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และข้อมูลเชิงคุณภาพ วิเคราะห์เนื้อหา (Content Analysis) และตรวจสอบความน่าเชื่อถือด้วยการตรวจสอบแบบสามเส้า (Triangulation)

Results

1. ศึกษาสถานการณ์การจัดการขยะมูลฝอยในพื้นที่เทศบาลเมืองกาญจนบุรี

ศึกษาสถานการณ์การจัดการขยะมูลฝอยในพื้นที่เทศบาลเมืองกาญจนบุรี กลุ่มตัวอย่างได้แก่ หัวหน้าครัวเรือน/ตัวแทนครัวเรือน และหน่วยงานภาครัฐ–เอกชน รวม 400 ราย จากการศึกษาพบว่า ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง อายุเกิน 50 ปี การศึกษาระดับมัธยม/ปวช./ปวส. อาชีพหลัก อสม. และรับจ้างทั่วไป รายได้ครัวเรือนต่ำกว่า 10,000 บาท/เดือน พักอาศัยในพื้นที่มากกว่า 10 ปี พฤติกรรมและทัศนคติ พบว่า ชุมชนรู้จักการแยกขยะ แต่ยัง ขาดความตระหนักและการมีส่วนร่วมเชิงปฏิบัติ แต่ยังมีการใช้วัสดุที่ย่อยสลายยาก เช่น ถุงพลาสติก กล่องโฟม มีทัศนคติอยากช่วยเรื่องขยะ อยู่ในระดับดี แต่การลงมือทำจริงยังไม่เด่นชัด โดยรวมการมีส่วนร่วมอยู่ใน ระดับมาก จากการสนทนากลุ่ม/สัมภาษณ์ ปัญหาที่พบ คือชุมชนขาดความรู้และความตระหนัก พฤติกรรมการใช้ชีวิตสร้างขยะมากขึ้น ระบบจัดการขยะในบางชุมชนไม่มีประสิทธิภาพ การสนับสนุนจากรัฐ/ท้องถิ่นยังไม่ทั่วถึง ปัญหาขยะพลาสติก–ย่อยสลายยาก ประชากรและเมืองขยายตัว และการมีส่วนร่วมของประชาชนยังน้อย

2. องค์ความรู้เกี่ยวกับการจัดการขยะตามแนวคิดเมืองแห่งการเรียนรู้

จากการศึกษา องค์ความรู้เกี่ยวกับการบริหารจัดการขยะมูลฝอยในพื้นที่เทศบาลเมืองกาญจนบุรี ตามแนวคิดเมืองแห่งการเรียนรู้เพื่อยกระดับเศรษฐกิจท้องถิ่นและการจัดการสิ่งแวดล้อม ประกอบด้วย 1) องค์ความรู้เกี่ยวกับการคัดแยกขยะอย่างถูกวิธี 2) องค์ความรู้เกี่ยวกับการจัดการขยะแต่ละประเภทที่เหมาะสมกับชุมชนเมือง 3) องค์ความรู้เกี่ยวกับการแปรรูปขยะให้เกิดรายได้ การประดิษฐ์หรือการสร้างผลิตภัณฑ์จากวัสดุเหลือใช้

3. พัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อสนับสนุนการจัดการขยะมูลฝอยด้วยแอปพลิเคชันสำหรับประชาชนทุกครัวเรือนในพื้นที่เทศบาลเมืองกาญจนบุรี

คณะผู้วิจัยได้พัฒนานวัตกรรมเพื่อสนับสนุนการจัดการขยะมูลฝอยในพื้นที่เทศบาลเมืองกาญจนบุรี โดยประกอบด้วยนวัตกรรมสำคัญ 2 ส่วน ได้แก่ 1) แอปพลิเคชันชุดการเรียนรู้การคัดแยกขยะ ซึ่งรวบรวมองค์ความรู้เกี่ยวกับการจัดการขยะที่เหมาะสมกับชุมชนเมือง การคัดแยกขยะอย่างถูกวิธี และการแปรรูปขยะเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มทางเศรษฐกิจ สามารถใช้งานได้ผ่านอุปกรณ์ดิจิทัลหลากหลายแพลตฟอร์ม ส่งเสริมการเรียนรู้ตลอดชีวิตและการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมด้านสิ่งแวดล้อมของประชาชน สามารถเข้าชุดการเรียนรู้คัดแยกขยะได้จากลิงค์ https://kru-1.glide.page และ 2) ระบบแจ้งเตือนการจัดเก็บขยะอัจฉริยะที่พัฒนาโดยผู้วิจัย ซึ่งสามารถแจ้งเตือนเมื่อจุดทิ้งขยะมีปริมาณเต็ม และส่งข้อมูลไปยังหน่วยงานเทศบาลเพื่อวางแผนการจัดเก็บขยะอย่างเหมาะสม ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการให้บริการสาธารณะ ลดระยะทางการเดินรถ และลดต้นทุนด้านพลังงานในการจัดเก็บขยะ และคณะผู้วิจัยได้จัดทำคู่มือการใช้งานแอปพลิเคชันการบริหารจัดการขยะมูลฝอย โดยนวัตกรรมที่พัฒนาขึ้น สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในหลายมิติ ได้แก่ ด้านสังคม ช่วยส่งเสริมความรู้ ความตระหนัก และการมีส่วนร่วมของประชาชนในการคัดแยกขยะ ด้านสิ่งแวดล้อม ช่วยลดปริมาณขยะตกค้าง เพิ่มประสิทธิภาพการจัดการขยะ และสนับสนุนแนวคิด Circular Economy ด้านเศรษฐกิจชุมชน ช่วยสนับสนุนการเพิ่มมูลค่าขยะและการสร้างรายได้ในระดับครัวเรือน และด้านการบริหารจัดการภาครัฐ ช่วยองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ลดต้นทุนการดำเนินงานและพัฒนาระบบบริการสาธารณะอัจฉริยะ (Smart Municipality) แสดงตามภาพที่ 2–5 โดยผลการประเมินการนำไปใช้ประโยชน์และความพึงพอใจของผู้ใช้งานอยู่ในระดับมากที่สุด (ค่าเฉลี่ย 4.68) สะท้อนถึงศักยภาพของนวัตกรรมในการขยายผลสู่พื้นที่เมืองอื่นที่มีข้อจำกัดด้านพื้นที่และต้องการแนวทางการจัดการขยะที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียสำคัญ ได้แก่ ประชาชนและครัวเรือนในเขตเทศบาลเมืองกาญจนบุรี เทศบาลเมืองกาญจนบุรีและหน่วยงานท้องถิ่นด้านสิ่งแวดล้อม

กลุ่มชุมชนและเครือข่ายการจัดการขยะ ผู้ประกอบการรีไซเคิลและเศรษฐกิจชุมชน นักวิจัยและหน่วยงานที่สามารถนำต้นแบบไปขยายผลเชิงนโยบายและเชิงพื้นที่



Figure 2 Interface of the Waste Management Learning Application



Figure 3 QR Code for Accessing the Waste Management Learning Application

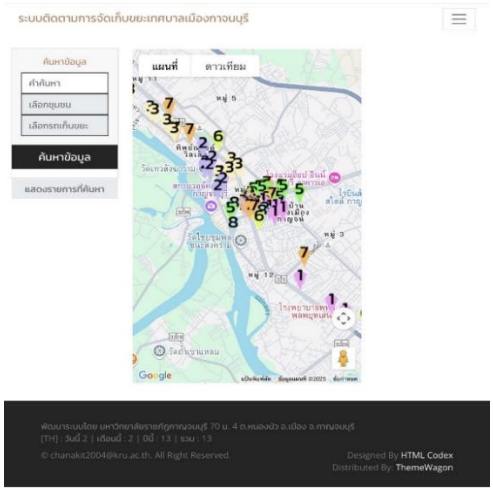


Figure 4 Interface of the Solid Waste Management Application



Figure 5 User Manual for Solid Waste Management Application

4. ศึกษาศักยภาพของการสร้างมูลค่าเพิ่มจากขยะมูลฝอยในระดับชุมชน

ศึกษาศักยภาพของการสร้างมูลค่าเพิ่มจากขยะมูลฝอยในระดับชุมชน ผลการศึกษาพบว่า นวัตกรรมการเพิ่มมูลค่าขยะมูลฝอยในระดับชุมชน ประกอบด้วย 3 นวัตกรรม ดังนี้

1) นวัตกรรมกระเป๋าสารพัดประโยชน์จากฝาขวดน้ำพลาสติก

สามารถใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เป็นกระเป๋าใส่ของตอนไปจ่ายตลาด หรือกระเป๋าถือใส่ของใช้ส่วนตัว เนื่องจากพื้นที่ในเขตเทศบาลเมืองกาญจนบุรีเป็นชุมชนเมือง จึงมีปริมาณขยะที่เป็นขวดพลาสติกในชุมชนค่อนข้างมาก หาได้ง่าย เป็นการนำวัสดุอุปกรณ์ที่ไม่ใช้แล้วนำมาทำนวัตกรรมเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยนำฝาขวดพลาสติกมาทำเป็นกระเป๋าสารพัดประโยชน์ ซึ่งชุมชนมีการดำเนินกิจกรรมการผลิตดังกล่าวอยู่ก่อนแล้วในระดับพื้นฐาน โดยทีมนักวิจัยได้เข้าไปเสริมสร้างองค์ความรู้และพัฒนากระบวนการผลิตเชิงสร้างสรรค์ เพื่อเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ให้มีความสวยงามและมีความน่าใช้งานมากขึ้น ผ่านการประยุกต์ใช้ลูกปัดหลากสีในการออกแบบสายกระเป๋า อันเป็นการยกระดับคุณค่าเชิงผลิตภัณฑ์และเชิงพาณิชย์ มีต้นทุนในการทำประมาณใบละ 150 บาท ชุมชนสามารถทำจำหน่ายได้ประมาณใบละ 300 บาท คิดเป็นกำไร 50% หรือ 150 บาท เป็นการสร้างรายได้ให้กลุ่มแม่บ้านผู้สูงอายุ และเยาวชนในชุมชน



Figure 6 Upcycled multi-purpose bag made from plastic bottle caps

2) นวัตกรรมหมอนสมุนไพรคลายเครียดจากหลอดพลาสติก

ทำจากหลอดพลาสติกเหลือใช้และสมุนไพรพื้นบ้านตามภูมิปัญญาท้องถิ่น สรรพคุณช่วยให้ความผ่อนคลายและลดความเครียดได้ อีกทั้งเป็นการนำวัสดุอุปกรณ์ที่ไม่ใช้แล้วนำมาทำนวัตกรรมเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด นอกจากนี้ยังทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพสมุนไพรที่ช่วยในการให้ผ่อนคลาย ลดความเครียด และบรรเทาอาการปวดได้ดี เนื่องจากพื้นที่ในเขตเทศบาลเมืองกาญจนบุรีเป็นชุมชนเมือง จึงมีปริมาณขยะที่เป็นหลอดพลาสติกในชุมชนค่อนข้างมาก และหาได้ง่าย ประกอบกับในชุมชนมีปราชญ์ชาวบ้านในพื้นที่ ที่มีความเชี่ยวชาญด้านสมุนไพรพื้นบ้านไทยเพื่อการบำบัดโรค จึงได้รวมกันพัฒนาต่อยอดเป็นนวัตกรรมใหม่โดยเพิ่มกระบวนการผลิตในขั้นตอนการประยุกต์หมอนรองคอจากไส้หลอดพลาสติก เป็นการเพิ่มสมุนไพรจากภูมิปัญญาท้องถิ่นเข้าไปในไส้หมอนด้วย เพื่อผู้ใช้เกิดการผ่อนคลายเวลาใช้จะได้กลิ่นสมุนไพร โดยในการทำหมอนสมุนไพรคลายเครียดจากหลอดพลาสติก มีต้นทุนในการทำประมาณใบละ 170 บาท ชุมชนสามารถจำหน่ายได้ประมาณใบละ 250 บาท คิดเป็นกำไร 32% หรือ 80 บาท



Figure 7 Stress-relieving herbal pillow made from plastic straws

3) นวัตกรรมจุลินทรีย์จากเศษอาหารในครัวเรือนชนิดผง และชนิดเม็ด

โดยการนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ที่เหมาะกับชุมชนเมือง เนื่องจากไม่ต้องใช้เนื้อที่เยอะ เพื่อให้ใช้การดับกลิ่นเหม็นภายในท่อระบายน้ำ ห้องน้ำ และใช้เป็นปุ๋ยทางการเกษตร ลดค่าใช้จ่ายในครัวเรือนในการซื้อปุ๋ยและสารบำรุงพืช เนื่องจากพื้นที่ในเขตเทศบาลเมืองกาญจนบุรีเป็นชุมชนเมือง จึงมีปริมาณขยะอินทรีย์ในชุมชนค่อนข้างมาก การทำน้ำหมักจุลินทรีย์จากเศษอาหารนี้จะไม่มีกลิ่น ใช้พื้นที่น้อยเหมาะกับชุมชนเมือง ซึ่งนวัตกรรมน้ำหมักจุลินทรีย์จากเศษอาหารในครัวเรือน ชุมชนเทศบาลเมืองกาญจนบุรี แตกต่างจากน้ำหมักจุลินทรีย์ทั่วไป โดยในการทำน้ำหมัก

จุลินทรีย์จากเศษอาหารในครัวเรือนทั้งชนิดผงและชนิดเม็ด มีต้นทุนในการทำค่อนข้างต่ำ ประมาณกระปุกละ 5 บาท ชุมชนสามารถจำหน่ายได้ประมาณกระปุกละ 20 บาท คิดเป็นกำไร 75% หรือ 15 บาท



Figure 8 Microorganisms from household food waste in powder and granule forms

Conclusion and Discussion

การวิจัยเรื่อง การจัดการขยะมูลฝอยแบบมีส่วนร่วมโดยใช้เทคโนโลยีและการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมเศรษฐกิจหมุนเวียนในเทศบาลเมืองกาญจนบุรี แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการบูรณาการองค์ความรู้ด้านการจัดการขยะเทคโนโลยี และนวัตกรรมการสร้างมูลค่าเพิ่ม ควบคู่กับการมีส่วนร่วมของประชาชน โดยมีประเด็นสำคัญเพื่อนำมาอภิปรายผลการวิจัยจากข้อค้นพบต่าง ๆ ดังนี้

การมีส่วนร่วมของประชาชนและปัจจัยด้านสังคมประชากร พบว่า ประชาชนในพื้นที่ส่วนใหญ่มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการแยกประเภทขยะในระดับดี โดยเฉพาะการแยกประเภทขยะเบื้องต้น เช่น ขยะรีไซเคิล ขยะอินทรีย์ และขยะทั่วไป แต่ยังมีข้อจำกัดด้านพฤติกรรมในการปฏิบัติจริง เช่น การไม่คัดแยกขยะอินทรีย์ก่อนทิ้ง และยังใช้บรรจุภัณฑ์ที่ย่อยสลายยาก ปัญหานี้สอดคล้องกับงานของ Sunthara et al. (2020) ที่พบว่าความรู้และทัศนคติที่ดีต่อการจัดการขยะไม่ได้รับประกันว่าจะนำไปสู่พฤติกรรมที่ถูกต้อง หากขาดแรงจูงใจและสิ่งสนับสนุนจากชุมชนและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และงานวิจัยของ Srisombat, S., et al. (2019).ที่พบว่าปัจจัยด้านแรงจูงใจและความสะดวกในการคัดแยกขยะมีผลต่อพฤติกรรมการจัดการขยะมากกว่าความรู้เพียงอย่างเดียว และงานวิจัยของ Yusof, et al. (2020) ที่ศึกษาการมีส่วนร่วมของชุมชนมาเลเซีย พบว่า แม้ชุมชนจะตระหนักถึงปัญหาสิ่งแวดล้อม แต่การขาดระบบสนับสนุน เช่น จุดรับขยะและรางวัลจูงใจ ส่งผลให้การคัดแยกขยะทำได้ไม่ต่อเนื่อง ซึ่งสอดคล้องกับข้อค้นพบของงานวิจัยนี้ว่าจำเป็นต้องมีการสร้างแรงจูงใจและระบบสนับสนุนจากภาครัฐและเอกชน

การพัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อสนับสนุนการจัดการขยะ โดยมีฟังก์ชันแจ้งเตือนวันเก็บขยะ การให้ข้อมูลประเภทขยะ และการแจ้งกิจกรรมชุมชน เป็นนวัตกรรมที่ช่วยเพิ่มการมีส่วนร่วมของประชาชนและสร้างพฤติกรรมเชิงบวกให้กับประชาชน ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ Davis (1989) เรื่อง Technology Acceptance Model (TAM) ที่ระบุว่าการยอมรับเทคโนโลยีขึ้นอยู่กับความเป็นประโยชน์ (perceived usefulness) และความง่ายในการใช้งาน

(perceived ease of use) โดยผลประเมินในงานวิจัยนี้พบว่าผู้ใช้ให้คะแนนทั้งสองด้านอยู่ในระดับมากที่สุด นอกจากนี้ งานวิจัยของ Zhang et al. (2021) ในประเทศจีนที่ใช้แอปพลิเคชันแจ้งเตือนและให้รางวัลแก่ครัวเรือนที่คัดแยกขยะถูกต้อง พบว่า สามารถเพิ่มอัตราการคัดแยกขยะได้กว่า 25% ภายใน 6 เดือน ซึ่งสนับสนุนประสิทธิภาพของการใช้เทคโนโลยีเพื่อกระตุ้นการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรม

การสร้างมูลค่าเพิ่มจากขยะและเศรษฐกิจหมุนเวียน เป็นการนำนวัตกรรมการแปรรูปขยะ เช่น กระเป๋าจากฝาขวดพลาสติก หมอนสมุนไพรจากหลอดพลาสติก และจุลินทรีย์จากเศษอาหาร มาใช้สร้างรายได้ให้แก่ชุมชน เป็นการประยุกต์แนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ยุทธนา ศรีวงค์ษา (2564) ที่พบว่าการเพิ่มมูลค่าขยะโดยใช้ภูมิปัญญาท้องถิ่นและการมีส่วนร่วมของชุมชน ช่วยลดปัญหาขยะและสร้างรายได้ และงานวิจัยของ Geissdoerfer et al. (2017) ได้เสนอกรอบแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนว่าต้องอาศัยการออกแบบผลิตภัณฑ์ การรีไซเคิล และการสร้างระบบธุรกิจที่สนับสนุนการใช้ซ้ำ ซึ่งตรงกับรูปแบบการแปรรูปขยะของงานวิจัยนี้ที่มุ่งผลิตสินค้าที่ใช้ได้จริงและมีตลาดรองรับ

ในด้านการสนับสนุนจากนโยบายและเครือข่ายชุมชน ผลวิจัยยังพบว่า การมีเครือข่ายความร่วมมือระหว่างชุมชน ภาครัฐ และเอกชน ช่วยทำให้การจัดการขยะมีประสิทธิภาพและต่อเนื่อง สอดคล้องกับงานของ Hoornweg & Bhada-Tata (2012) ของธนาคารโลกที่ระบุว่าการจัดการขยะในเมืองต้องอาศัยการบูรณาการนโยบาย เทคโนโลยี และการมีส่วนร่วมของประชาชน

สรุปโดยรวม ผู้นำชุมชนหรือนักจัดการเมืองมีบทบาทสำคัญในการสร้างการเปลี่ยนแปลงด้านการจัดการขยะมูลฝอยในเทศบาลเมืองกาญจนบุรี โดยมุ่งเน้นการบูรณาการความร่วมมือระหว่างภาครัฐ เอกชน และประชาชนทุกช่วงวัยซึ่งเป็นกลุ่มเป้าหมายของการนำผลการวิจัยไปใช้ ผ่านการนำเทคโนโลยีและนวัตกรรมมาใช้ในระบบบริหารจัดการขยะ เช่น การพัฒนาแอปพลิเคชันแจ้งเตือนการทิ้งและเก็บขยะ ระบบติดตามปริมาณขยะ และสื่อการเรียนรู้ที่เข้าถึงได้ง่าย ส่งผลให้การคัดแยกขยะและการนำกลับมาใช้ใหม่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ลดปริมาณขยะที่ต้องกำจัด ลดค่าใช้จ่ายของเทศบาล และเพิ่มรายได้ให้ชุมชนจากการแปรรูปขยะเป็นผลิตภัณฑ์สร้างสรรค์ ผู้นำยังเป็นผู้กระตุ้นให้เกิดการเรียนรู้ร่วมกันและสร้างแรงจูงใจแก่ประชาชน ทำให้เกิดจิตสำนึกด้านสิ่งแวดล้อมและความร่วมมือในระดับชุมชนอย่างกว้างขวาง จนสามารถขับเคลื่อนเศรษฐกิจหมุนเวียนและพัฒนาคุณภาพชีวิตของประชาชนได้อย่างยั่งยืน อีกทั้ง ผลการวิจัยสนับสนุนว่าการแก้ปัญหาขยะในชุมชนเมือง จำเป็นต้องใช้องค์ความรู้ เทคโนโลยี นวัตกรรมการสร้างมูลค่าเพิ่ม และการมีส่วนร่วมของประชาชนทุกช่วงวัย จึงจะสามารถลดปริมาณขยะ ลดค่าใช้จ่าย และสร้างรายได้อย่างต่อเนื่องและยั่งยืน โดยการวิจัยนี้เป็นการยกระดับการจัดการขยะมูลฝอยในเทศบาลเมืองกาญจนบุรีด้วยการสร้างองค์ความรู้และทักษะการคัดแยกขยะอย่างถูกวิธี พัฒนาเทคโนโลยีแอปพลิเคชันแจ้งเตือนและคลิปการเรียนรู้การจัดการขยะ รวมถึงนวัตกรรมการแปรรูปขยะเป็นผลิตภัณฑ์สร้างรายได้ ช่วยขับเคลื่อนเศรษฐกิจหมุนเวียนและลดค่าใช้จ่ายในครัวเรือน ผลกระทบที่เกิดขึ้นคือ ลดปริมาณขยะและมลพิษสิ่งแวดล้อม ลดงบประมาณจัดการขยะของเทศบาล เพิ่มรายได้ให้ชุมชน และสร้างการมีส่วนร่วมพร้อมจิตสำนึกด้านสิ่งแวดล้อม เงื่อนไขความสำเร็จมาจากการมีส่วนร่วมของทุกภาคส่วน การเลือกใช้นวัตกรรมที่เหมาะกับบริบท การถ่ายทอดความรู้อย่างต่อเนื่อง และการสนับสนุนจากหน่วยงานท้องถิ่น ขณะที่อุปสรรคที่พบ ได้แก่ การคัดแยกขยะที่ยังไม่จริงจัง การใช้บรรจุภัณฑ์ย่อยสลายยาก พฤติกรรมการบริโภคที่ก่อขยะเพิ่ม และระบบจัดการขยะบางพื้นที่ที่ยังไม่ครอบคลุม

Recommendations

1. ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย

1) เทศบาลเมืองกาญจนบุรีควรนำนวัตกรรมน้ำหมักจุลินทรีย์ชนิดเม็ดและชนิดผงมาทำเพื่อแจกจ่ายให้ชุมชนในเขตเทศบาล

2) ควรพัฒนาระบบแอปพลิเคชันให้มีฟังก์ชันการติดตามปริมาณขยะของแต่ละครัวเรือน และการให้คะแนนจูงใจ เพื่อกระตุ้นพฤติกรรมการคัดแยกขยะอย่างต่อเนื่อง

3) จัดให้มีกิจกรรมแลกเปลี่ยนเรียนรู้ระหว่างชุมชนที่ประสบความสำเร็จในการจัดการขยะ เพื่อสร้างแรงบันดาลใจและต้นแบบการปฏิบัติ

4) ส่งเสริมการตลาดออนไลน์สำหรับสินค้าที่ผลิตจากการรีไซเคิลและอัพไซเคิล เพื่อเพิ่มช่องทางจำหน่ายและรายได้ให้แก่ชุมชน

2. ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

1) ศึกษาผลกระทบระยะยาวของการใช้แอปพลิเคชันและนวัตกรรมการจัดการขยะต่อพฤติกรรมของประชาชน และปริมาณขยะในพื้นที่

2) วิจัยเปรียบเทียบการใช้เทคโนโลยีประเภทต่าง ๆ (เช่น แอปพลิเคชัน, IoT, AI) ในการบริหารจัดการขยะ เพื่อหาวิธีที่เหมาะสมกับบริบทของชุมชนเมืองและชนบท

3) ศึกษาปัจจัยทางสังคม วัฒนธรรม และเศรษฐกิจที่มีผลต่อการยอมรับนวัตกรรมการจัดการขยะ เพื่อออกแบบกิจกรรมที่ตอบสนองความต้องการของกลุ่มประชากรหลากหลาย

References

Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly, 13*(3), 319–340.

Department of Local Administration. (2007). Environmental management standards. Bangkok: Department of Local Administration, Ministry of Interior. (In Thai)

Duangmusik, N., Piyaweero, P. E., & Chamnanputtiporn, S. (2023). Solid waste management of Bang Chana Subdistrict Administrative Organization, Mueang District, Surat Thani Province. *Journal of Public and Private Management, 5*(3), 18–29.

Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2017). The circular economy – A new sustainability paradigm?. *Journal of Cleaner Production, 143*, 757–768.

Hoornweg, D., & Bhada-Tata, P. (2012). *What a waste: A global review of solid waste management*. World Bank.

Kallayanamit, P., & Ngamlamom, W. (2018). Guidelines for municipal solid waste management development of local administrative organizations. *Praewa Kalasin Academic Journal, Kalasin University, 5*(1), 172–193.

Kanchanaburi Municipality. (2023). Details regarding waste disposal management items for the fiscal year 2023. Kanchanaburi: Kanchanaburi Municipality. (In Thai)

Konla, K. (2019). Municipal solid waste management: A case study of Narathiwat Municipality, Mueang District, Narathiwat Province. Ramkhamhaeng *Journal of Public Administration, 2*(3), 84–112.

Khwansuwan, W., & Wattanakit, S. (2020). Value creation for waste materials towards decorative and fashion

products: Khao Rup Chang Municipality Model Community (Master's thesis). Mahachulalongkornrajavidyalaya University.

Kisner, M.K., Mazza, M.J., & Liggett, D.R. (1997). Building Partnerships. *New Directions for Community Colleges, 1997*(97), 23–28.

Noppol, I., Khiaoluea, T., & Wongwattanapong, K. (2022). Sustainable participatory municipal solid waste management process of communities. *Journal of Academic and Social Science Research, 7*(11), 480–493.

Pollution Control Department. (2009). Preliminary guidelines and requirements for waste reduction and utilization (3rd ed.). Bangkok: Hiz. (In Thai)

Promsen, W., Khamjainak, P., & Maeban, A. (2021). Waste management by public participation process in Patan Nakrua Municipality, Mae Tha District, Lampang Province. *Lampang Rajabhat University Journal, 10*(2), 104–114.

Puangprasert, P., et al. (2020). Community participation in municipal solid waste management: A case study of Ladsawai Municipality, Lam Luk Ka District, Pathum Thani Province (Independent study, Master of Political Science in Interdisciplinary Studies for Local Development). Ramkhamhaeng University. (In Thai)

Sriwongsa, Y. (2021). A model of value added creation from waste with participation of Yaycha Community, Sam Phran District, Nakhon Pathom Province (Research Report). Faculty of Architecture, Rajamangala University of Technology Srivijaya. (In Thai)

Sriwongsa, Y. (2021). Value creation from waste through community participation: A case study of a sub-district municipality in Chiang Mai province. *Journal of Community Management and Development, 9*(1), 15–29.

Srisombat, S., On-nom, A., & Thongthae, S. (2019). Factors affecting household solid waste management behaviors in urban communities. *Thai Environmental Journal, 35*(1), 45–60.

Yamane T. (1973). *Statistics: An Introductory Analysis* (3rd ed.). New York: Harper and Row Publications.

Yusof, N., Rahman, N., & Awang, H. (2020). Community participation in solid waste management: Case study of selected communities in Malaysia. *Environment, Development and Sustainability, 22*(6), 4821–4837.

Zhang, D., Huang, G., Xu, Y., & Gong, Q. (2021). Promoting household waste sorting in China: The role of environmental education, knowledge, and incentives. *Resources, Conservation and Recycling, 168*, 105262.

การพัฒนาแบบจำลองการจำแนกพื้นที่ปลูกอ้อยด้วยภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel–1 และ Sentinel–2

อาเขต สุขสมนึก[1,2], อสมาภรณ์ สิทธิ[1*] และ ชูเดช โลศิริ[1]

Development of a Sugarcane Plantation Classification Model Using Sentinel–1 and Sentinel–2 Satellite Imagery

Arket Sooksomnuek[1,2], Asamaporn Sitthi[1*] and Chudech Losiri[1]

[1] Department of Geography, Faculty of Social Sciences, Srinakharinwirot University, Bangkok, 10110

[2] Hydro–Informatics Institute (Public Organization), Bangkok, 10900

[*] Corresponding author: asamaporn@g.swu.ac.th

Received: 14 February 2026; Revised: 24 May 2026; Accepted: 24 June 2026

บทคัดย่อ

อำเภอภูเขียว จังหวัดชัยภูมิ เป็นพื้นที่ปลูกอ้อยที่มีความสำคัญของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ทั้งในด้านขนาดพื้นที่และปริมาณผลผลิตที่ใช้เป็นวัตถุดิบหลักของอุตสาหกรรมน้ำตาล อย่างไรก็ตาม การจัดทำข้อมูลพื้นที่ปลูกอ้อยยังคงพึ่งพาการสำรวจภาคสนามเป็นหลัก ส่งผลให้การวางแผนจัดการอ้อยขาดความต่อเนื่องและความละเอียดเชิงพื้นที่ การศึกษานี้พัฒนาแบบจำลองการจำแนกพื้นที่ปลูกอ้อยด้วยอัลกอริทึมป่าสุ่ม (Random Forest) โดยใช้ข้อมูล Sentinel–1 และ Sentinel–2 จำนวน 21 features ประกอบด้วย Spectral Bands 13 Bands ดัชนีพืชพรรณ 6 ดัชนี และโพลาไรเซชัน VV และ VH บนแพลตฟอร์ม Google Earth Engine โดยใช้แปลงตัวอย่าง 400 แปลง (54,304 จุดภาพ) สำหรับฝึกสอน และจุดตรวจสอบอิสระ 400 จุดสำหรับประเมินความถูกต้องการศึกษาได้เปรียบเทียบชุดข้อมูล 4 รูปแบบ ได้แก่ (1) ข้อมูลเชิงแสง RGB (2) ดัชนีพืชพรรณ (VIs) (3) ดัชนีพืชพรรณร่วมกับข้อมูลเรดาร์ (VIs + SAR) และ (4) ข้อมูลเรดาร์ (SAR) ผลการศึกษาพบว่าการบูรณาการดัชนีพืชพรรณร่วมกับข้อมูลเรดาร์ (VIs + SAR) ให้ผลดีที่สุด โดยมีค่าความถูกต้องโดยรวม (Overall Accuracy) ที่ 88.50% และสัมประสิทธิ์แคปปา (Kappa Coefficient) ที่ 81.90% และค่าความถูกต้องของผู้ผลิต (Producer Accuracy) สำหรับอ้อย 94.0% โดยดัชนีกลุ่มคลื่นขอบแดง ได้แก่ $CI_{red-edge}$ และ SAREI มีบทบาทสำคัญในการลดการทับซ้อนเชิงคลื่น เนื่องจากอ้อยในช่วงก่อนเปิดหีบมีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงและสม่ำเสมอทั่วแปลง ทำให้ค่า $CI_{red-edge}$ ของอ้อยมีช่วงการกระจายของข้อมูลต่ำและแยกออกจากพืชชนิดอื่นได้ชัดเจนกว่าดัชนีความเขียวทั่วไป ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการบูรณาการข้อมูลหลายเซนเซอร์ร่วมกับดัชนีกลุ่มคลื่นขอบแดงมีความเหมาะสมต่อการจำแนกพื้นที่ปลูกอ้อย และสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นต้นแบบสำหรับการติดตามพื้นที่ปลูกอ้อยต่อไป

คำสำคัญ: อ้อย, ภาพถ่ายจากดาวเทียมเซ็นติเนล–1/2, ช่วงคลื่นขอบแดง, กูเกิลเอิร์ธเอนจิน, อัลกอริทึมป่าสุ่ม

---

[1] ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพมหานคร 10110

[2] สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) กรุงเทพมหานคร 10900

Abstract

Phu Khiao District, Chaiyaphum Province, is a significant sugarcane–growing area in northeastern Thailand, both in terms of cultivation area and production volume serving as the primary raw material for the sugar industry. However, sugarcane area mapping still relies largely on field surveys, leading to limitations in spatial detail and temporal consistency. This study develops a sugarcane plantation classification model using a Random Forest algorithm with 21 features comprising 13 Sentinel–2 spectral bands, 6 vegetation indices, and VV and VH polarizations from Sentinel–1, processed on Google Earth Engine. A total of 400 training polygons (54,304 pixels) and 400 independent field validation points were used. Four feature datasets were compared: (1) RGB optical data, (2) vegetation indices (VIs), (3) vegetation indices combined with SAR data (VIs + SAR), and (4) SAR data alone. The results indicate that integrating vegetation indices with SAR data (VIs + SAR) yields the best performance, achieving an Overall Accuracy of 88.50%, a Kappa Coefficient of 81.90%, and a Producer's Accuracy for sugarcane of 94.0%. The Red–edge indices, particularly CI red edge and SAREI, effectively reduced spectral overlap between sugarcane and other vegetation types, as sugarcane prior to harvest exhibits high and uniform chlorophyll content, resulting in a narrow interquartile range that is clearly distinguishable from other crops. These findings suggest that multi–sensor integration with Red–edge indices is effective for sugarcane plantation classification and can serve as a prototype for large–scale sugarcane monitoring.

Keywords: Sugarcane, Sentinel–1/2 Imagery, Red–Edge Band, Google Earth Engine, Random Forest Algorithm

Introduction

ภาคการเกษตรนับเป็นรากฐานสำคัญของระบบเศรษฐกิจและความมั่นคงทางอาหารของประเทศไทย โดยพืชเศรษฐกิจหลายชนิดมีบทบาทต่อรายได้ของเกษตรกร การจ้างงาน และอุตสาหกรรมต่อเนื่อง โดยหนึ่งในพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญอย่างยิ่งคือ อ้อย ซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักของอุตสาหกรรมน้ำตาลและอุตสาหกรรมชีวภาพอื่น ๆ เช่น เอทานอล และพลังงานชีวมวล (Laohapattanalert et al., 2016) พื้นที่ปลูกอ้อยส่วนใหญ่พบในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ จังหวัดขอนแก่น อุดรธานี นครราชสีมา และชัยภูมิ ทั้งนี้จังหวัดชัยภูมิมีพื้นที่เพาะปลูกอ้อยประมาณ 593,597 ไร่ และมีปริมาณผลผลิตอ้อย 5.88 ล้านตัน โดยมีผลผลิตเฉลี่ยประมาณ 9.9 ตันต่อไร่ ซึ่งอยู่ในระดับสูงเมื่อเทียบกับจังหวัดสำคัญอื่น ๆ ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ สะท้อนถึงบทบาทของจังหวัดชัยภูมิในฐานะแหล่งผลิตอ้อยที่มีความสำคัญทั้งในระดับพื้นที่และระดับอุตสาหกรรม (Office of the Cane and Sugar Board, 2025) อีกทั้งยังมีรายได้ของเกษตรกรและการขับเคลื่อนอุตสาหกรรมแปรรูปสูง โดยเฉพาะใน อำเภอภูเขียว ซึ่งเป็นอำเภอที่มีพื้นที่ปลูกอ้อยมากที่สุดของจังหวัดชัยภูมิ จากข้อมูลรายงานสถานการณ์การปลูกอ้อย ปีการผลิต 2567/2568 พบว่าอำเภอภูเขียวมีพื้นที่ปลูกอ้อยประมาณ 196,386 ไร่ จากพื้นที่ทั้งหมด หรือคิดเป็นประมาณ ร้อยละ 39 ของพื้นที่อำเภอ (Office of the Cane and Sugar Board, 2025) สะท้อนให้เห็นว่าอ้อยเป็นพืชเศรษฐกิจหลักที่ครอบครองการใช้ที่ดินอย่างมีนัยสำคัญ และเป็นแหล่งวัตถุดิบสำคัญของโรงงานน้ำตาลขนาดใหญ่ส่งผลให้การวางแผนการผลิตและการจัดการอ้อยในพื้นที่ดังกล่าวมีความสำคัญทั้งในระดับพื้นที่และระดับอุตสาหกรรม (Mitr Phol Modern Farm, 2025) อย่างไรก็ตาม ลักษณะการปลูกอ้อยที่มีการขยายตัวอย่างต่อเนื่องและกระจายอยู่ในหลายสภาพพื้นที่ รวมถึงการปรับเปลี่ยนพื้นที่นามาเป็นพื้นที่ปลูกอ้อยจากผลกระทบของภัยแล้ง ส่งผลให้รูปแบบการใช้ที่ดินในพื้นที่มีความซับซ้อนมากขึ้น อีกทั้งการปลูกอ้อยที่อาศัยน้ำฝนเป็นหลัก

และมีความแปรผันตามฤดูกาล ยังทำให้การติดตามพื้นที่ปลูกอ้อยและประเมินสถานการณ์การเพาะปลูกด้วยวิธีสำรวจภาคสนามเพียงอย่างเดียวทำได้ยาก ทั้งในด้านเวลา ความครอบคลุม และความทันสมัยของข้อมูล

ในกระบวนการผลิตอ้อย โรงงานน้ำตาลและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องจำเป็นต้องทราบข้อมูลสำคัญ ได้แก่ พื้นที่เพาะปลูกอ้อย อายุของอ้อย ระยะการเจริญเติบโตและปริมาณผลผลิต (Office of Agricultural Research and Development Region 5, 2017) เพื่อใช้ในการคาดการณ์ปริมาณอ้อยในแต่ละฤดูการผลิต รวมถึงการวางแผนการรับซื้อและการบริหารจัดการโรงงานตามหลักการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติข้อมูลดังกล่าวมักได้มาจากการสำรวจภาคสนาม ซึ่งต้องใช้ทั้งเวลา งบประมาณและกำลังคนจำนวนมาก ส่งผลให้ข้อมูลการติดตามการเจริญเติบโตของอ้อยมีความคลาดเคลื่อนและไม่สอดคล้องกับสภาพจริง (Som-ard et al., 2024)

จากข้อจำกัดของการสำรวจภาคสนาม เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล (Remote Sensing) จึงถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือสำคัญในการติดตามพื้นที่เกษตรกรรมและจำแนกพื้นที่ปลูกอ้อย โดยงานวิจัยในระยะแรกมักใช้ข้อมูลดาวเทียมเชิงแสง (optical imagery) ร่วมกับดัชนีพืชพรรณในการจำแนกพื้นที่ปลูกอ้อย (Thaicharoen & Majandang, 2022; Nodthaisong et al., 2019) ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่ดีในสภาพอากาศปลอดเมฆ แต่ยังมีข้อจำกัดจากเมฆปกคลุมและความคล้ายคลึงของค่าการสะท้อนคลื่นแสงระหว่างอ้อยกับพืชชนิดอื่น ต่อมาจึงมีการนำข้อมูลเรดาร์ SAR จาก Sentinel-1 มาใช้ร่วมกับข้อมูลเชิงแสง เนื่องจากสามารถเก็บข้อมูลได้ต่อเนื่องในทุกสภาพอากาศ (Wijitthanasarn & Obpaet, 2023; Selvaraj et al., 2024) อีกทั้งการบูรณาการข้อมูลหลายเซนเซอร์ร่วมกับอัลกอริทึม Random Forest (RF) บนแพลตฟอร์ม Google Earth Engine (GEE) ยังช่วยเพิ่มความแม่นยำในการจำแนกพื้นที่ปลูกอ้อยได้อย่างมีนัยสำคัญ (Vora et al., 2023; Sanchez et al., 2023; Magidi et al., 2021; Phan et al., 2020) โดยแนวโน้มของงานวิจัยในช่วงหลังเริ่มมุ่งเน้นการใช้ข้อมูลหลายช่วงเวลา (Multi-Temporal) และข้อมูลหลายเซนเซอร์ (Multi-Sensor) เพื่อเพิ่มความต่อเนื่องในการติดตามการเปลี่ยนแปลงพื้นที่เกษตรและลดผลกระทบจากสภาพอากาศ รวมถึงการผสานข้อมูลภาคสนามจำนวนมากเพื่อเพิ่มความแม่นยำของแบบจำลอง ซึ่งสามารถให้ค่าความถูกต้องโดยรวมในระดับสูงและมีศักยภาพต่อการติดตามพื้นที่ปลูกอ้อยในระดับพื้นที่ขนาดใหญ่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Som-ard et al., 2022; Som-ard et al., 2025a)

อย่างไรก็ตาม จากการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าการใช้ข้อมูลเชิงแสงเพียงอย่างเดียวยังมีข้อจำกัดจากปัญหาเมฆปกคลุมและความคล้ายคลึงของลักษณะการสะท้อนคลื่นระหว่างอ้อยกับพืชเกษตรชนิดอื่น แม้ว่าการเพิ่มข้อมูล SAR จะช่วยลดข้อจำกัดด้านเมฆและเพิ่มข้อมูลเชิงโครงสร้างของพืชได้ แต่การใช้ SAR เพียงอย่างเดียวก็ยังไม่เพียงพอสำหรับการแยกชนิดพืชที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน ขณะที่การใช้ข้อมูลหลายช่วงเวลาและหลายเซนเซอร์ แม้จะให้ความแม่นยำสูง แต่ยังต้องอาศัยข้อมูลภาคสนามจำนวนมากและใช้ทรัพยากรในการประมวลผลค่อนข้างสูง ซึ่งอาจเป็นข้อจำกัดต่อการประยุกต์ใช้จริงในระดับพื้นที่ นอกจากนี้ งานวิจัยส่วนใหญ่ยังไม่ได้ให้ความสำคัญกับการบูรณาการดัชนีกลุ่มคลื่นขอบแดง (Red-edge indices) ร่วมกับข้อมูล SAR สำหรับการจำแนกพื้นที่ปลูกอ้อยในระดับอำเภอ ทั้งที่ดัชนีกลุ่มดังกล่าวมีศักยภาพในการลดความสับสนเชิงสเปกตรัมระหว่างอ้อยกับพืชพรรณประเภทอื่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาอัลกอริทึมป่าสุ่ม (Random Forest: RF) สำหรับการจำแนกพื้นที่ปลูกอ้อยโดยใช้ข้อมูลจากดาวเทียม Sentinel-1 และ Sentinel-2 ในพื้นที่อำเภอภูเขียว จังหวัดชัยภูมิ ผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาสามารถจัดทำข้อมูลพื้นที่ปลูกอ้อยที่มีความถูกต้องแม่นยำสูง ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการบริหารจัดการของโรงงานน้ำตาล ทั้งในด้านการวางแผนการเก็บเกี่ยว การเตรียมกำลังการผลิต และการบริหารจัดการวัตถุดิบได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังช่วยลดภาระการสำรวจภาคสนาม สนับสนุนการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเกษตรแม่นยำ (Precision Agriculture) และเป็นแนวทางสำคัญในการพัฒนาอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลให้มีความยั่งยืนในระดับประเทศ

Study Area

อำเภอภูเขียว เป็นอำเภอในจังหวัดชัยภูมิ พื้นที่ 801.929 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 6.27 ของพื้นที่ทั้งจังหวัด)

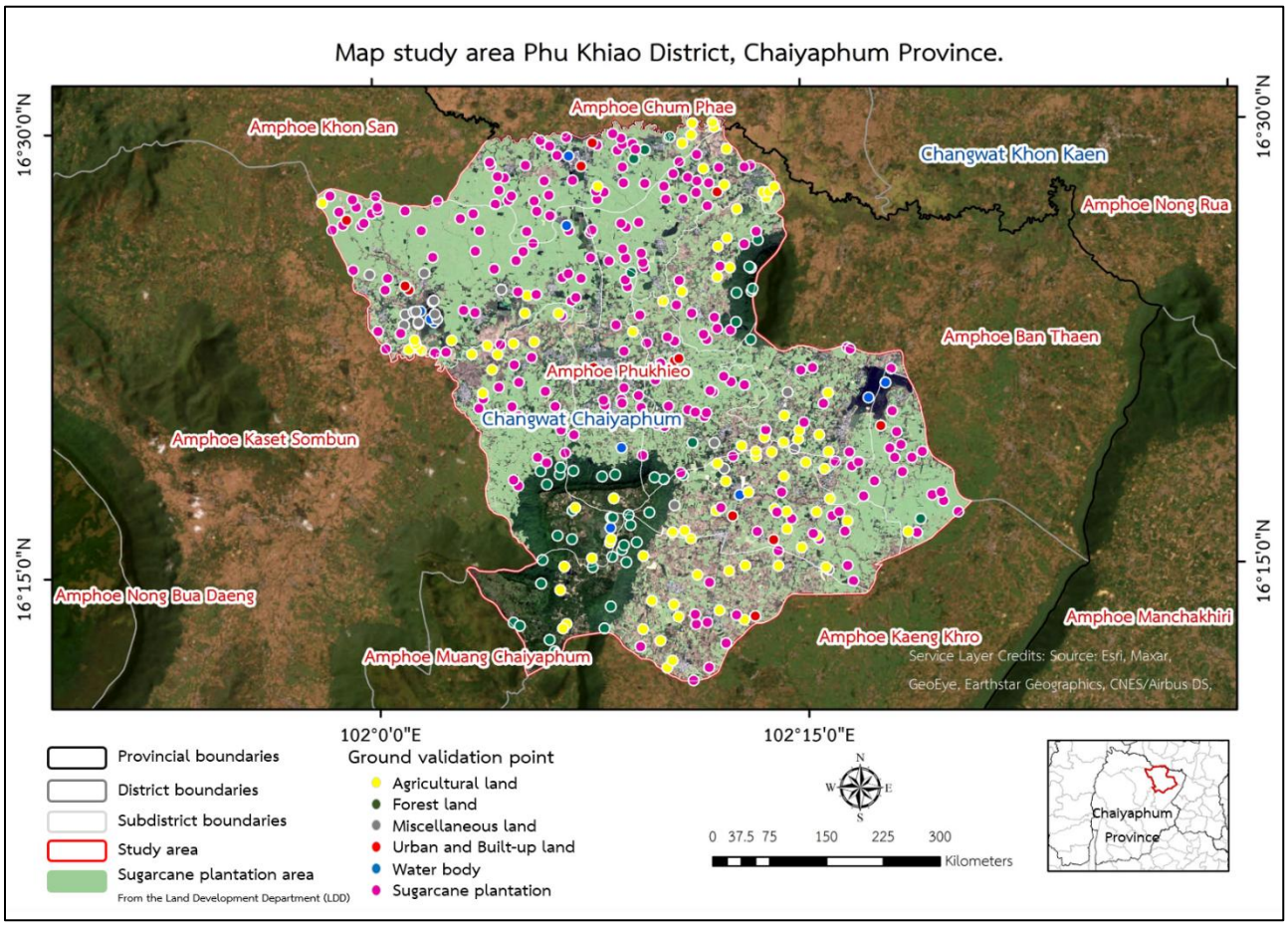


Figure 1 The study area in the Phu Khiao District, Chaiyaphum Province

อำเภอภูเขียว เป็นอำเภอในจังหวัดชัยภูมิ พื้นที่ 801.929 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 6.27 ของพื้นที่ทั้งจังหวัด) มีพื้นที่ปลูกอ้อยในปีการผลิต 2567/2568 จำนวน 196,386 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 39.04 ของเนื้อที่อำเภอภูเขียว โดยอ้อยเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีพื้นที่ปลูกมากเป็นอันดับสองรองจากข้าว และกระจายอยู่ในทุกหมู่บ้าน เนื่องจากอยู่ใกล้โรงงานน้ำตาล (Kwang Jhone Subdistrict Administrative Organization, n.d.) ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา ปัญหาภัยแล้งส่งผลให้เกษตรกรบางส่วนปรับเปลี่ยนพื้นที่นามาปลูกอ้อยแทนข้าว โดยนิยมใช้อ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 ซึ่งมีคุณสมบัติทนแล้ง แตกกอดี คลุมวัชพืชได้ดี ทนน้ำขัง และให้ค่าความหวานสูง เหมาะสมต่อการปลูกในพื้นที่นา (Keawtungmuang et al., 2017) การปลูกอ้อยในพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นอ้อยต้นฝน เริ่มปลูกช่วงเดือนพฤษภาคมถึงมิถุนายน อาศัยน้ำฝนเป็นหลัก โดยดินร่วนปนทรายในพื้นที่มีคุณสมบัติระบายน้ำได้ดีและเหมาะต่อการเจริญเติบโตของอ้อย แม้พื้นที่จะมีลักษณะเป็นที่ราบสูงสลับภูเขาและมีความเสี่ยงต่อภาวะฝนทิ้งช่วง แต่สภาพอากาศที่ค่อนข้างแห้งและอุณหภูมิสูงในช่วงปลายฤดูปลูกกลับเอื้อต่อการสะสมความหวานของอ้อย หากมีการจัดการน้ำและช่วงเวลาการปลูกอย่างเหมาะสม (Figure 1)

Dataset

1. ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel–2

ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel–2 ภายใต้โครงการ Copernicus ประกอบด้วยช่วงคลื่นทั้งหมด 13 เชิงคลื่น ครอบคลุมตั้งแต่ช่วงคลื่นแสงที่ตามองเห็นไปจนถึงอินฟราเรดคลื่นสั้น (SWIR) โดยมีความละเอียดเชิงพื้นที่ในช่วง 10–60 เมตร สำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้ข้อมูลผลิตภัณฑ์ระดับ Level–2A จากเซนเซอร์ Multi Spectral Instrument (MSI) ที่ผ่านกระบวนการปรับแก้เชิงตำแหน่งและผลกระทบจากชั้นบรรยากาศเรียบร้อยแล้ว โดยดำเนินการประมวลผลผ่านระบบ Google Earth Engine และคัดเลือกภาพในช่วงวันที่ 1–4 ธันวาคม 2568 ซึ่งเป็นระยะเวลาก่อนการเปิดหีบอ้อย เพื่อให้ข้อมูลสะท้อนสภาพการปกคลุมดินที่สอดคล้องกับช่วงฤดูกาลเก็บเกี่ยวมากที่สุด ทั้งนี้การเลือกช่วงเวลาดังกล่าวเนื่องจากในเดือนพฤศจิกายนซึ่งเป็นช่วงที่อ้อยมีการเจริญเติบโตสูงสุด มีเมฆปกคลุมสูงและไม่สามารถคัดเลือกภาพที่ผ่านเกณฑ์เมฆปกคลุมน้อยกว่าร้อยละ 10 ได้ ช่วงวันที่ 1–4 ธันวาคม จึงเป็นช่วงแรกที่ได้ภาพปลอดเมฆและครอบคลุมพื้นที่ศึกษาได้ครบถ้วน ซึ่งเป็นเหตุผลสำคัญประการหนึ่งที่การบูรณาการข้อมูล Sentinel–1 (SAR) มีความจำเป็นในการศึกษานี้ เนื่องจากสามารถเก็บข้อมูลได้ในทุกสภาพอากาศ พร้อมทั้งดำเนินการปรับค่าสัมประสิทธิ์ (Rescaling Factor) เพื่อแปลงค่าข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบค่าการสะท้อนที่ถูกต้องสำหรับการวิเคราะห์ดัชนีพืชพรรณและดัชนีเชิงคลื่นอื่น ๆ ในลำดับต่อไป (Pflumm et al., 2025)

2. ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel–1

ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel–1 โดยใช้ผลิตภัณฑ์ระดับ Ground Range Detected (GRD) ในโหมด Interferometric Wide Swath (IW) ซึ่งมีคุณสมบัติเด่นในการบันทึกข้อมูลผ่านสิ่งกีดขวางทางบรรยากาศได้ทุกสภาวะ โดยคัดเลือกข้อมูลโพลาไรเซชันแบบ VV และ VH เพื่อสกัดค่าการกระจัดกระจายกลับ (Backscatter) ที่สัมพันธ์กับโครงสร้างทางกายภาพและความชื้นของพื้นที่ปลูกอ้อย ข้อมูลทั้งหมดได้รับการประมวลผลด้วยวิธีการหาค่ามัธยฐานของข้อมูล (Median Composite) เพื่อรักษาความสอดคล้องทางเวลากับชุดข้อมูล Sentinel–2 ในช่วงก่อนฤดูเก็บเกี่ยว อันเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการบูรณาการข้อมูลแบบหลายเซนเซอร์ ให้มีความเที่ยงตรงสูงสุด โดยตัวอย่างข้อมูลสามารถแสดงได้ดัง Figure 2

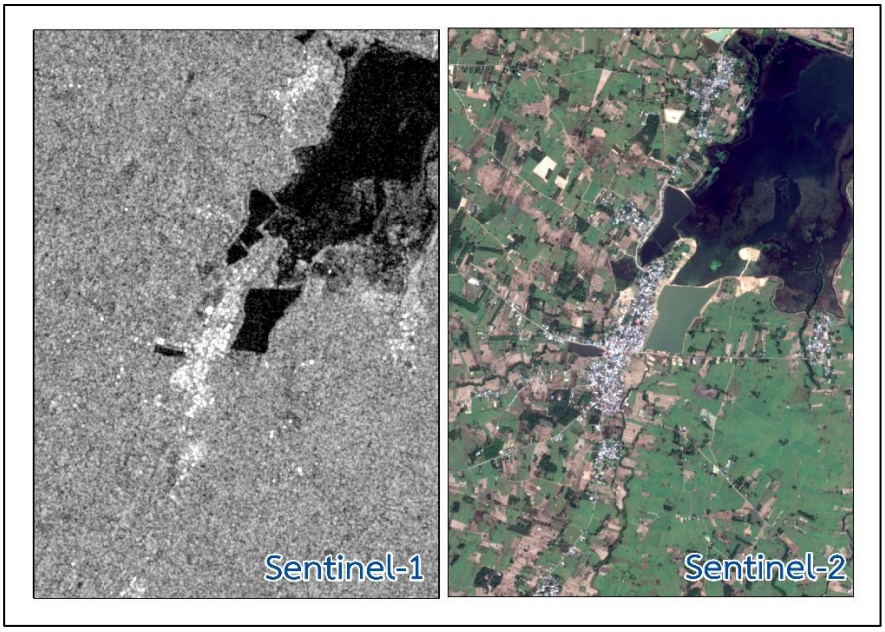


Figure 2 Dataset derived from Sentinel–1 (VV Polarization) and Sentinel–2 (True color composite)

Methodology

กระบวนการศึกษาครั้งนี้ประกอบด้วย 5 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ การประมวลผลขั้นต้น การคำนวณดัชนีเชิงคลื่น การกำหนดชุดข้อมูล การจำแนกข้อมูลด้วยอัลกอริทึมป่าสุ่ม และการประเมินความถูกต้อง โดยที่ขั้นตอนการดำเนินงานทั้งหมดถูกแสดงใน Figure 3 และมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

Framework of the Study

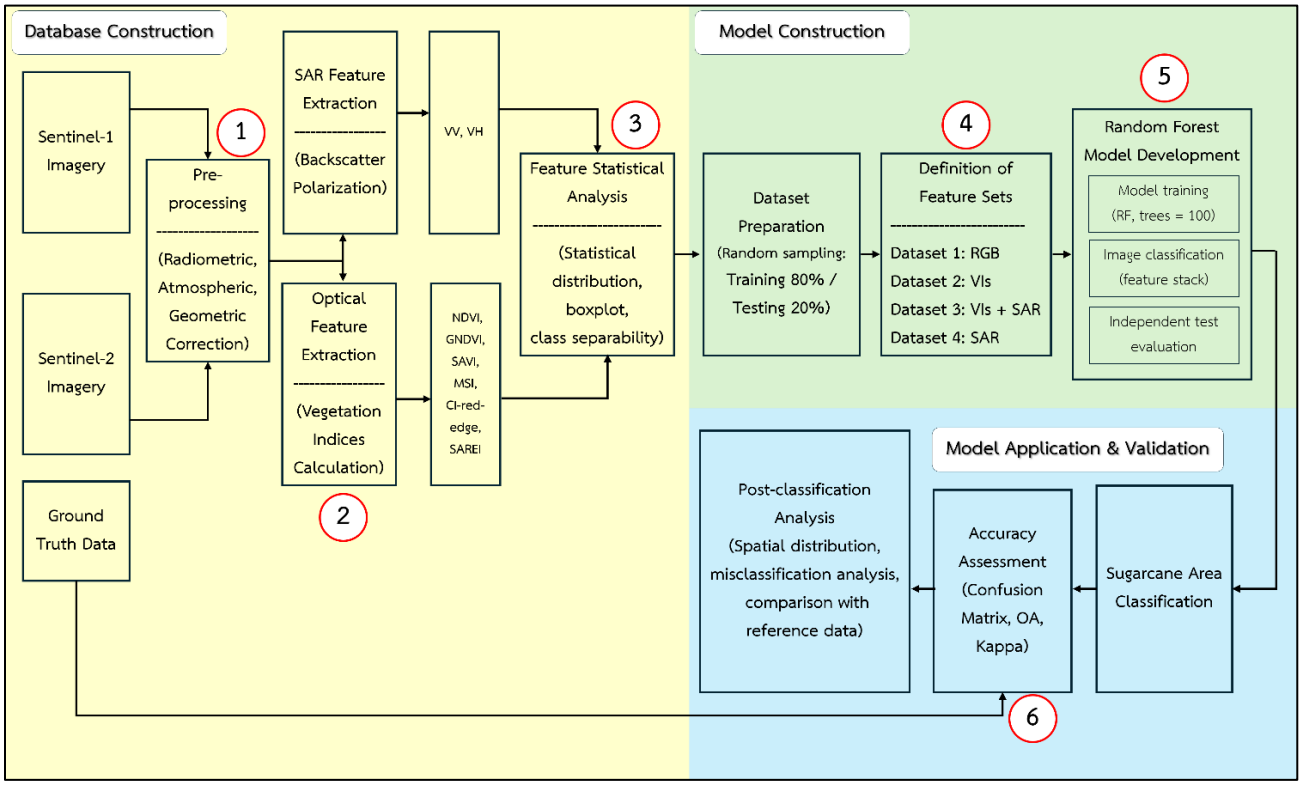


Figure 3 The conceptual framework

1. การประมวลผลข้อมูลขั้นต้น (Pre-processing)

การจัดเตรียมข้อมูลดาวเทียมผ่านแพลตฟอร์ม Google Earth Engine (GEE) ดำเนินการโดยการคัดเลือกชุดข้อมูล Sentinel-2 ระดับผลิตภัณฑ์ Level-2A ที่ผ่านกระบวนการแก้ไขความคลาดเคลื่อนทางบรรยากาศ (Atmospheric Correction) เพื่อแปลงค่าข้อมูลให้อยู่ในรูปค่าการสะท้อนพื้นผิว (Surface Reflectance) ที่ถูกต้อง บูรณาการร่วมกับข้อมูล Sentinel-1 (GRD) โพลาไรเซชัน VV และ VH ซึ่งผ่านกระบวนการปรับแก้เชิงรังสี (Radiometric Calibration) และการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเชิงเรขาคณิตจากลักษณะภูมิประเทศ (Terrain Correction) เพื่อให้ค่าการกระจัดกระจายกลับ (Backscatter) มีความถูกต้องเชิงตำแหน่งและเชิงปริมาณสูงสุด ในการเพิ่มคุณภาพข้อมูลได้ดำเนินการลดสัญญาณรบกวน (Speckle Noise) ด้วยตัวกรอง Focal Mean ซึ่งเป็นวิธีการที่นิยมใช้ในการเตรียมข้อมูล Sentinel-1 (SAR) (Mullissa et al., 2021; Badruzzaman et al., 2025) โดยเลือกข้อมูลจากชุดข้อมูลทั้งสองประเภทในช่วงเวลาที่สอดคล้องกัน เพื่อลดทอนความแปรผันชั่วคราวของสภาพชั้นบรรยากาศและสัญญาณรบกวนเชิงภาพ สำหรับการวิเคราะห์เชิงปริมาณในขั้นตอนถัดไป

2. การคำนวณดัชนีเชิงคลื่น

ภายหลังการปรับแก้ข้อมูลเชิงบรรยากาศและเชิงเรขาคณิต ข้อมูลค่าการสะท้อนพื้นผิวและค่าการกระจัดกระจายกลับจะถูกนำมาคำนวณดัชนีเชิงคลื่นเพื่อสกัดคุณลักษณะเด่น (Feature Extraction) ของวัตถุบนพื้นผิว โดยดำเนินการผ่านความสัมพันธ์ระหว่างช่วงคลื่น ในการจำแนกคุณลักษณะของวัตถุ โดยข้อมูลจาก Sentinel–2 จะถูกแปลงเป็นดัชนีบ่งชี้สภาพพืชพรรณและความชื้น ขณะที่ข้อมูล Sentinel–1 จะใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างพื้นผิวผ่านดัชนีอัตราส่วนโพลาไรเซชัน เพื่อสร้างชุดข้อมูล ที่มีความสมบูรณ์สำหรับการประมวลผลในขั้นตอนถัดไป โดยมีดัชนีที่สำคัญดังนี้

2.1 Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

ตัวชี้วัดพื้นฐานของความเขียวและความหนาแน่นพืช ทำหน้าที่แยกพื้นที่ที่มีพืชปกคลุมออกจากพื้นที่ไม่มีพืช และใช้ติดตามการเจริญเติบโตโดยรวมของอ้อยในเชิงพื้นที่ ค่าที่สูงแสดงถึงพืชที่มีความหนาแน่น เหมาะสำหรับการประเมินการเจริญเติบโตของพืชและการติดตามการเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมดิน (Jena et al., 2019 ; Shi et al., 2023) ดังสมการที่ 1

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad \text{(Equation 1)}$$

2.2 Green Normalized Difference Vegetation Index (GNDVI)

การตรวจจับความแตกต่างด้านความสมบูรณ์และโภชนาการของพืช ทำหน้าที่สะท้อนการเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์ในอ้อย ซึ่งช่วยแยกอ้อยในระยะเจริญเติบโตต่าง ๆ ได้ชัดเจนกว่าการใช้ NDVI เพียงอย่างเดียว ค่าดัชนีสูงมักสอดคล้องกับพืชที่มีปริมาณคลอโรฟิลล์มาก เหมาะกับพืชที่เรือนยอดหนาแน่นหรือพืชในช่วงที่กำลังสะสมชีวมวล (Vera–Esmeraldas et al., 2025) ดังสมการที่ 2

$$GNDVI = \frac{NIR-GREEN}{NIR+GREEN} \quad \text{(Equation 2)}$$

2.3 Moisture Stress Index (MSI)

การประเมินสภาวะความเครียดจากการขาดน้ำของพืช ทำหน้าที่สะท้อนปริมาณความชื้นในเรือนยอดและลำต้นอ้อย ซึ่งช่วยแยกพื้นที่อ้อยที่มีสภาพน้ำแตกต่างจากพืชชนิดอื่นได้ ค่าที่สูงบ่งชี้ระดับความเครียดจากการขาดน้ำและมีความชื้นน้อย เนื่องจาก SWIR มีความไวต่อปริมาณน้ำในใบพืช เหมาะสำหรับการติดตามความเครียดน้ำและการประเมินความเสี่ยงไฟป่า (Ruenrom et al., 2024) ดังสมการที่ 3

$$MSI = \frac{SWIR}{NIR} \quad \text{(Equation 3)}$$

2.4 Red–Edge Chlorophyll Index ($CI_{red\ edge}$)

การประเมินปริมาณคลอโรฟิลล์เชิงลึก โดยอาศัยคุณสมบัติเฉพาะของช่วงคลื่น **Red–edge** ซึ่งเป็นช่วงรอยต่อระหว่างคลื่นแสงสีแดงและคลื่นอินฟราเรดใกล้ที่มีความไว สูงต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ในระดับเซลล์พืช ส่งผลให้สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของอ้อยในช่วงสะสมชีวมวลได้อย่างละเอียดมากกว่าการใช้ช่วงคลื่นแสงที่ตามองเห็นปกติ นอกจากนี้ ช่วงคลื่นดังกล่าวยังมีขีดความสามารถในการทะลุผ่านทรงพุ่ม ได้ดี จึงช่วยลดปัญหา

การอิ่มตัวของค่าดัชนี (Saturation Effect) ในสภาวะที่พืชมีความหนาแน่นสูง และเพิ่มความแม่นยำในการจำแนกอ้อยออกจากพืชชนิดอื่นที่มีลักษณะความเขียวใกล้เคียงกัน (Liu et al., 2024) ดังสมการที่ 4

$$CI_{red\text{-}edge} = \frac{NIR}{RED\text{-}edge} - 1 \quad \text{(Equation 4)}$$

2.5 Soil–Adjusted Vegetation Index (SAVI)

ดัชนี SAVI มีความสำคัญในการลดอิทธิพลของสภาพดินที่ยังไม่ถูกปกคลุมด้วยพืช ช่วยเพิ่มความถูกต้องในการระบุพื้นที่อ้อยในระยะเริ่มปลูกหรือแปลงที่พืชยังปกคลุมไม่เต็มพื้นที่ โดยทั่วไปใช้ L = 0.5 เพื่อปรับผลกระทบจากพื้นดิน ทำให้สามารถแยกสัญญาณพืชออกจากพื้นผิวดินได้ชัดเจนยิ่งขึ้น เหมาะสำหรับพื้นที่กึ่งแห้งแล้งหรือพื้นที่เพาะปลูกที่ยังมีดินโผล่ให้เห็นเป็นจำนวนมาก นอกจากนี้ SAVI ยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการติดตามการเจริญเติบโตของพืชในช่วงต้นฤดูเพาะปลูกได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Kareem et al., 2023) ดังสมการที่ 5

$$SAVI = \frac{(NIR-RED)}{(NIR+RED+L)}(1+L) \quad \text{(Equation 5)}$$

2.6 Soil Adjusted Red–Edge Index (SAREI)

ดัชนี SAREI มีความสำคัญในการผสานข้อมูลคลอโรฟิลล์และผลกระทบจากดิน ทำหน้าที่เพิ่มความสามารถในการแยกอ้อยออกจากพืชชนิดอื่นในพื้นที่ที่มีการเปิดหน้าดินหรือมีสภาพแปลงไม่สม่ำเสมอ เหมาะสำหรับการติดตามสุขภาพพืชในระยะต้น และการตรวจจับความเครียดที่สัมพันธ์กับคลอโรฟิลล์ (Wolfe, 2017) ดังสมการที่ 6

$$SAREI = \frac{NIR-RED\text{-}edge}{NIR+RED\text{-}edge+L} \quad \text{(Equation 6)}$$

3. การสกัดคุณลักษณะและการตรวจสอบคุณภาพข้อมูล

การสกัดค่าคุณลักษณะดำเนินการโดยใช้ฟังก์ชัน ee.reduceRegion() ร่วมกับ ee.Reducer.mean() และ ee.Reducer.median() เพื่อคำนวณค่าเฉลี่ยและค่ามัธยฐานของดัชนีเชิงคลื่นจำนวน 8 ชนิดภายในแต่ละแปลงตัวอย่างจำนวน 400 แปลง ซึ่งได้จากการแปลความหมายด้วยสายตาร่วมกับข้อมูลอ้างอิงภาคพื้นดิน วิธีการดังกล่าวทำให้ค่าที่สกัดได้เป็นตัวแทนของสภาพพืชพรรณโดยรวมของแต่ละแปลง และช่วยลดผลกระทบจากความแปรผันของค่าจุดภาพภายในแปลงอันเนื่องมาจากความไม่สม่ำเสมอของสภาพพืช ความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่ง หรือการปะปนของจุดภาพบริเวณขอบแปลง ก่อนการฝึกสอนแบบจำลอง ได้ดำเนินการตรวจสอบคุณภาพข้อมูลโดยวิเคราะห์การกระจายตัวของค่าดัชนีด้วยแผนภาพกล่อง (Boxplot) โดยใช้ส่วนต่างระหว่างค่าเฉลี่ยและค่ามัธยฐาน (Mean–Median Difference) เป็นเกณฑ์เสริมในการระบุค่าผิดปกติ (Outliers) ร่วมกับเกณฑ์ช่วงพิสัยระหว่างควอไทล์ (Interquartile Range: 1.5 × IQR) และทำการคัดกรองข้อมูลดังกล่าวออกจากชุดฝึกสอน เพื่อเพิ่มความสอดคล้องของข้อมูลภายในแต่ละคลาสและลดสัญญาณรบกวนในการฝึกอัลกอริทึมป่าสุ่มในขั้นตอนถัดไป

4. การกำหนดชุดข้อมูล

การกำหนดชุดคุณลักษณะ (Feature Sets Design) ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพการบูรณาการระหว่างข้อมูลเชิงแสงและข้อมูลเรดาร์ ในการจำแนกพื้นที่ปลูกอ้อยที่มีลักษณะทางชีพลักษณ์และโครงสร้างทางกายภาพเฉพาะตัว โดยมุ่งเน้นการแก้ปัญหาข้อจำกัดด้านเมฆปกคลุมและลดความสับสนเชิงคลื่น ระหว่างอ้อยและพืชพรรณชนิดอื่นที่มีค่าการสะท้อนใกล้เคียงกัน ทั้งนี้ เพื่อระบุองค์ประกอบข้อมูลที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการประเมินพื้นที่ปลูกอ้อยให้มีความถูกต้องแม่นยำเชิงตำแหน่งสูงสุด งานวิจัยจึงได้จำแนกชุดคุณลักษณะออกเป็น 4 รูปแบบ เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบขีดความสามารถในการจำแนกจำเพาะ ดังนี้

4.1 ข้อมูลเชิงแสงแบบการมองเห็นด้วยตาเปล่า (RGB) ประกอบด้วยช่วงคลื่นสีน้ำเงิน (Blue) สีเขียว (Green) และสีแดง (Red) เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลพื้นฐานในการประเมินศักยภาพเชิงภาพ (Visual Potential) จากความแตกต่างของระดับสีและความเข้มส่องสว่างของพืชพรรณในการจำแนกพื้นที่เป้าหมาย (Ayhan & Kwan, 2020; Nyamekye et al., 2021; De Swaef et al., 2021)

4.2 ดัชนีพืชพรรณ (Vegetation Indices: VIs) ซึ่งเป็นการบูรณาการด้วยดัชนีเชิงคลื่น ได้แก่ NDVI, GNDVI, MSI, $CI_{red\ edge}$, SAVI และ SAREI เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจวัดคุณลักษณะทางชีพลักษณ์ (Phenology) เช่น ปริมาณคลอโรฟิลล์ ความหนาแน่นของพืชพรรณ ความชื้นในใบ และการลดทอนอิทธิพลจากการสะท้อนของดิน ซึ่งช่วยให้แบบจำลองสามารถรับรู้สรีรวิทยาการเจริญเติบโตของอ้อยได้ละเอียดกว่าการใช้ข้อมูลช่วงคลื่นพื้นฐานเพียงอย่างเดียว (Nsiah et al., 2024; Zhao et al., 2024; Li et al., 2024)

4.3 ดัชนีพืชพรรณและข้อมูลเรดาร์ (VIs + SAR) โดยเป็นการผสานข้อมูลเชิงแสงร่วมกับข้อมูลเรดาร์ (SAR) ในโพลาไรเซชัน VV และ VH เพื่อดึงคุณลักษณะเด่นด้านโครงสร้างเรือนยอด ความขรุขระของพื้นผิว และความชื้นสะสมในลำต้น ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของอ้อยที่มีรูปแบบการกระจัดกระจายกลับ (Backscatter) ต่างจากพืชไร่ชนิดอื่น การผสานข้อมูลรูปแบบนี้ช่วยแก้ปัญหาข้อจำกัดด้านเมฆปกคลุมและลดความสับสนในการจำแนกพืชที่มีลักษณะเชิงคลื่นใกล้เคียงกัน (Yuan et al., 2023; Chabalala et al., 2022; Dagne et al., 2023) ชุดข้อมูลนี้ประกอบด้วยทั้งสิ้น 21 ช่วงคลื่น ได้แก่ ดัชนีเชิงคลื่นของ Sentinel–2 จำนวน 13 ช่วงคลื่น (B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8, B8A, B9, B10, B11, B12) โพลาไรเซชัน VV และ VH จาก Sentinel–1 จำนวน 2 ช่วงคลื่น และดัชนีเชิงคลื่น 6 ดัชนี ได้แก่ NDVI, GNDVI, MSI, $CI_{red\ edge}$, SAVI และ SAREI เพื่อให้แบบจำลองสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งลักษณะทางสรีรวิทยา ระดับความชื้น และโครงสร้างเรือนยอด ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการจำแนกอ้อยออกจากพืชชนิดอื่นได้อย่างแม่นยำ

4.4 ข้อมูลเรดาร์ (SAR) โดยวิเคราะห์เฉพาะข้อมูลโพลาไรเซชัน VV และ VH เพื่อประเมินขีดความสามารถของสัญญาณไมโครเวฟในการจำแนกพื้นที่ปลูกอ้อยโดยปราศจากข้อมูลเชิงแสง ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งในการติดตามพื้นที่เกษตรกรรมภายใต้ข้อจำกัดด้านสภาพอากาศและเมฆปกคลุมต่อเนื่อง โดยเน้นการใช้ข้อมูลโครงสร้างกายภาพและความชื้นของพืชเป็นตัวจำแนกหลัก (Tsuchiya & Sonobe, 2025; Xu et al., 2019; Tomppo et al., 2021)

5. การจำแนกข้อมูลด้วยอัลกอริทึมป่าสุ่ม

5.1 การกำหนดค่าตัวจำแนก

อัลกอริทึมป่าสุ่มเป็นเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องที่มีประสิทธิภาพสูงในการจัดการกับชุดข้อมูลที่มีความซับซ้อน ในการกำหนดจำนวนต้นไม้ตัดสินใจ (numberOfTrees) ที่เหมาะสม ทำการทดสอบในช่วง 50–500 ต้น โดยประเมินจากค่าความถูกต้องโดยรวม (OA) และค่าสัมประสิทธิ์แคปปา (Kappa) ของชุดทดสอบ (Test Set) ซึ่งใช้สำหรับการเลือก Hyperparameter เท่านั้น ซึ่งไม่ใช่การรายงานผลการจำแนกหลัก ผลการทดสอบแสดงใน Figure 4

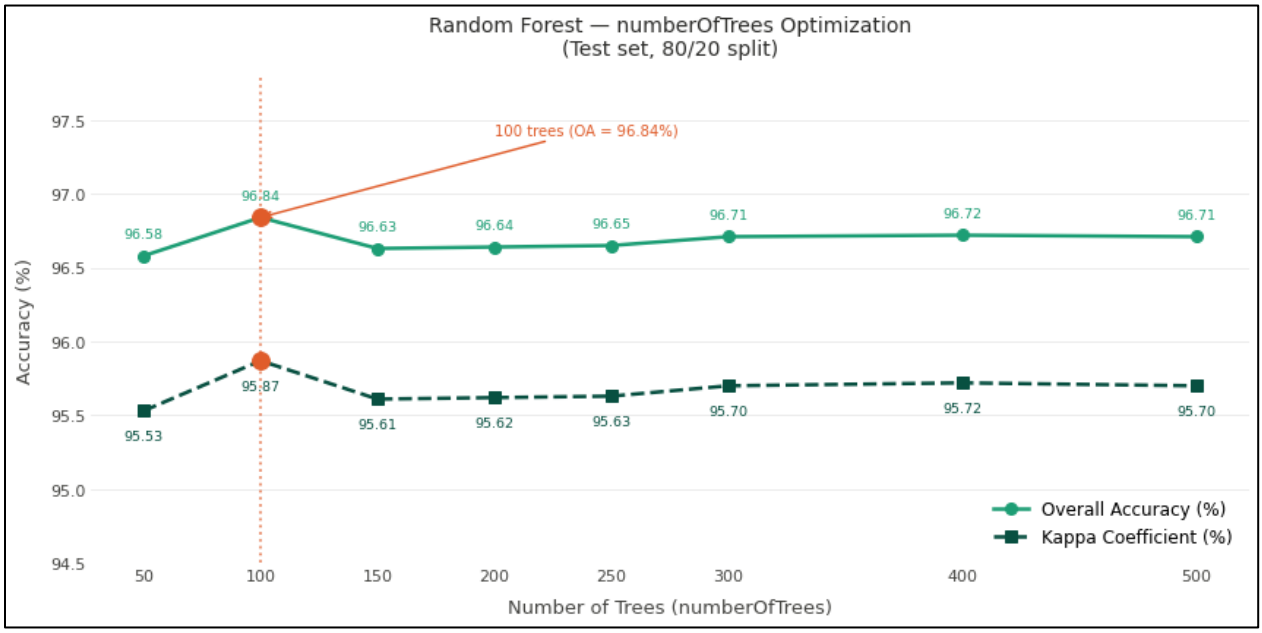


Figure 4 Random Forest Optimization, the comparison between number of trees and accuracy

จากผลการทดสอบพบว่าค่า OA และ Kappa มีความแตกต่างกันน้อยมากไม่เกิน 0.3% ในทุกช่วงที่ทดสอบ โดย 100 ต้นให้ค่า OA สูงสุดที่ 96.84% และ Kappa 95.87% จึงเลือกใช้ 100 ต้นเพื่อความสมดุลระหว่างความแม่นยำและประสิทธิภาพการประมวลผล ทั้งนี้ค่าความถูกต้องดังกล่าวสูงกว่าค่าที่ได้จากชุดข้อมูลตรวจสอบอิสระ (Validation Data) เนื่องจากชุดทดสอบเป็นจุดภาพที่สุ่มมาจากแปลงข้อมูลเดียวกับชุดฝึกสอน ซึ่งมีความใกล้เคียงกันเชิงพื้นที่ (Spatial Autocorrelation) ทำให้แบบจำลองทำนายได้แม่นยำกว่าข้อมูลภาคสนามอิสระ ดังนั้นผลการจำแนกหลักของการศึกษานี้จึงอ้างอิงจากชุดข้อมูลตรวจสอบอิสระ (Validation Data) 400 จุด ซึ่งสะท้อนความแม่นยำที่แท้จริงของแบบจำลองในพื้นที่จริงได้อย่างเป็นอิสระ จากนั้นนำแบบจำลองดังกล่าวมาจำแนกสิ่งปกคลุมดิน (Land Cover) ทั้ง 6 ประเภท ได้แก่ พื้นที่เกษตรกรรม (Agriculture) พื้นที่ป่าไม้ (Forest) พื้นที่เบ็ดเตล็ด (Miscellaneous) พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง (Urban and Built-up) พื้นที่แหล่งน้ำ (Water) และพื้นที่ปลูกอ้อย (Sugarcane) การบูรณาการข้อมูลระหว่างช่วงคลื่นแสง ดัชนีพืชพรรณ และข้อมูลเรดาร์ (VV, VH) ช่วยให้แบบจำลองสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งลักษณะทางสรีรวิทยา ระดับความชื้น และโครงสร้างเรือนยอด ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการจำแนกอ้อยออกจากพืชชนิดอื่นได้อย่างแม่นยำ

5.2 การฝึกสอนและจำแนกข้อมูล

ข้อมูลที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพแล้วจากแปลงตัวอย่างจำนวน 400 แปลง (54,304 จุดภาพ) ถูกแบ่งออกเป็นชุดฝึกสอน (Training Set) ร้อยละ 80 จำนวน 320 แปลง และชุดทดสอบ (Testing Set) ร้อยละ 20 จำนวน 80 แปลง เพื่อประเมินขีดความสามารถเบื้องต้นของแบบจำลอง นอกจากนี้ได้จัดเก็บข้อมูลตรวจสอบอิสระ (Validation Data) จำนวน 400 จุด จากการสำรวจภาคสนามแยกต่างหากระหว่างวันที่ 17–19 ธันวาคม พ.ศ. 2568 ซึ่งเป็นชุดข้อมูลสำหรับการตรวจสอบความถูกต้องที่แยกอิสระจากชุดข้อมูลฝึกสอนและทดสอบแบบจำลอง ในกระบวนการเรียนรู้ อัลกอริทึมป่าสุ่มจะจำแนกความแตกต่างระหว่างกลุ่มข้อมูล (Classes) โดยอาศัยความจำเพาะเชิงคลื่นของพืชพรรณและความเข้มของสัญญาณเรดาร์ที่สะท้อนถึงโครงสร้างลำต้นและความชื้นของอ้อย จากนั้นจึงนำแบบจำลองที่ผ่านการฝึกสอนมาดำเนินการจำแนกพื้นที่ศึกษาทั้งหมด (ROI) เพื่อจัดทำแผนที่ผลลัพธ์การใช้ประโยชน์ที่ดินที่ครอบคลุมพื้นที่อย่างต่อเนื่อง

6. การประเมินความถูกต้อง

การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองดำเนินการโดยใช้การวิเคราะห์เมทริกซ์ความสับสน (Confusion Matrix) เปรียบเทียบผลการจำแนกกับข้อมูลตรวจสอบอิสระ (Validation Data) จำนวน 400 จุด ที่สำรวจภาคสนามระหว่างวันที่ 17–19 ธันวาคม พ.ศ. 2568 เพื่อคำนวณค่าความถูกต้องโดยรวม (Overall Accuracy: OA) ค่าสัมประสิทธิ์แคปปา (Kappa Coefficient) ค่าความถูกต้องของผู้ผลิต (Producer's Accuracy: PA) และค่าความถูกต้องของผู้ใช้ (User's Accuracy: UA) สำหรับยืนยันความเที่ยงตรงเชิงพื้นที่ของผลการจำแนก

การกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างดำเนินการตามหลักสถิติของ Taro Yamane ซึ่งใช้เป็นเกณฑ์กำหนดขนาดตัวอย่างขั้นต่ำ ได้จำนวน 400 จุด (ประมาณ 398 จุด) จากนั้นกระจายจุดตัวอย่างตามสัดส่วนพื้นที่จริงของแต่ละประเภทการใช้ที่ดิน (Area–proportional stratified sampling) ได้แก่ พื้นที่เกษตรกรรม 96 จุด พื้นที่ป่าไม้ 50 จุด พื้นที่เบ็ดเตล็ด 11 จุด พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง 16 จุด พื้นที่แหล่งน้ำ 12 จุด และพื้นที่ปลูกอ้อย 215 จุด รวมทั้งสิ้น 400 จุด เพื่อให้จุดตรวจสอบในแต่ละประเภทมีความเป็นตัวแทนของพื้นที่จริงอย่างเพียงพอ ทั้งนี้ ตัวเลขร้อยละ 39 ของพื้นที่อ้อยที่ระบุในส่วนพื้นที่ศึกษา หมายถึงสัดส่วนพื้นที่ปลูกอ้อยเมื่อเทียบกับเนื้อที่ทั้งหมดของอำเภอภูเขียว โดยอ้างอิงจากรายงานสถานการณ์การปลูกอ้อยปีการผลิต 2567/2568 (Office of the Cane and Sugar Board, 2025) ขณะที่สัดส่วนของจุดตัวอย่างอ้อยในชุดข้อมูลตรวจสอบ เป็นผลจากการสุ่มตัวอย่างแบบชั้นภูมิตามสัดส่วนพื้นที่ปกคลุมดินจริง (Land Cover) ภายในพื้นที่วิเคราะห์ ซึ่งเป็นข้อมูลคนละส่วนและมีวัตถุประสงค์ต่างกัน ดังนั้นจึงไม่ส่งผลให้ค่าความถูกต้องโดยรวมสูงเกินจริง

ช่วงเวลาระหว่างการเก็บข้อมูลภาคสนามสำหรับฝึกสอน (25–28 พฤศจิกายน) และการบันทึกภาพดาวเทียม (1–4 ธันวาคม) ห่างกันเพียงประมาณ 1 สัปดาห์ ซึ่งเป็นช่วงก่อนการเปิดหีบอ้อยที่สภาพการปกคลุมดินยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ จึงถือว่าข้อมูลอ้างอิงภาคสนามมีความสอดคล้องกับสภาพพื้นผิว ณ วันที่บันทึกภาพดาวเทียม อย่างไรก็ตาม ช่วงเวลาตรวจสอบความถูกต้อง (17–19 ธันวาคม) ซึ่งอยู่หลังการเปิดหีบอ้อยบางส่วน อาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนเชิงเวลาเล็กน้อย อันเป็นข้อจำกัดของการศึกษาครั้งนี้ ดังนั้น การศึกษาในอนาคตควรวางแผนการเก็บข้อมูลภาคสนามให้สอดคล้องกับวันบันทึกภาพดาวเทียมมากยิ่งขึ้น เพื่อลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพพื้นที่ตามช่วงเวลา ทั้งนี้ งานวิจัยได้เปรียบเทียบชุดข้อมูลจำนวน 4 รูปแบบ เพื่อวิเคราะห์อิทธิพลของแหล่งข้อมูลที่แตกต่างกันต่อความแม่นยำของการจำแนก โดยมุ่งเน้นการบูรณาการข้อมูลเชิงแสงและข้อมูลเรดาร์ เพื่อดึงคุณลักษณะด้านสรีรวิทยาและโครงสร้างพืชพรรณมาช่วยลดความคลาดเคลื่อนในการจำแนกพื้นที่ปลูกอ้อยให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

Results

1. การวิเคราะห์การกระจายตัวของคุณลักษณะเชิงคลื่นและเรดาร์จากแปลงตัวอย่าง

ผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของค่าคุณลักษณะจากแปลงตัวอย่างภาคสนามจำนวน 400 แปลง ซึ่งสกัดค่าด้วยสถิติค่าเฉลี่ย (Mean) จากข้อมูลดาวเทียมในช่วงเวลาเดียวกับที่ใช้ในการจำแนกพื้นที่ปลูกอ้อย โดยการใช้แผนภาพกล่อง (Boxplot) ซึ่งช่วยให้สามารถพิจารณาค่ามัธยฐาน ช่วงควอไทล์ (Q1 – Q3) และค่าผิดปกติได้อย่างเป็นระบบ เป็นขั้นตอนสำคัญในการตรวจสอบคุณภาพและความเหมาะสมของชุดข้อมูลก่อนนำไปใช้ในกระบวนการฝึกสอนแบบจำลอง (Figure 5)

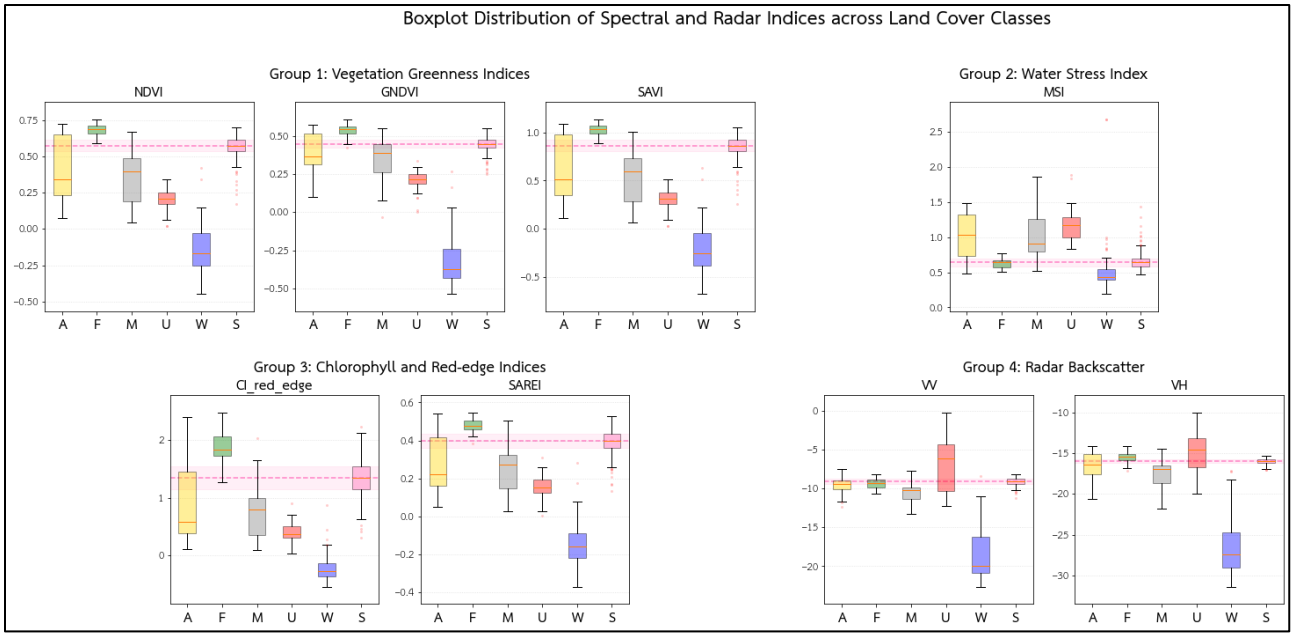


Figure 5 Box plots illustrating the value distributions of each vegetation index across classes

(A : Agricultural, F : Forest, M : Miscellaneous, U : Urban and Built-up, W : Water and S : Sugarcane)

ผลการวิเคราะห์การกระจายตัวชี้ให้เห็นว่า ดัชนีเชิงแสงกลุ่มความเขียว (NDVI, GNDVI, SAVI) ในพื้นที่ปลูกอ้อยแสดงค่าในระดับสูงและสามารถแยกออกจากแหล่งน้ำ ชุมชน และพื้นที่เบ็ดเตล็ดได้ชัดเจน แต่ยังคงมีการทับซ้อนกับเกษตรกรรมในช่วงควอไทล์ที่ 3 ขณะที่ดัชนีความเครียดน้ำ (MSI) ของอ้อยมีค่ามัธยฐานและการกระจายตัวที่เสถียรที่สุดเมื่อเทียบกับหลายประเภท แต่ยังซ้อนกับป่าไม้บางส่วน ด้านดัชนี Red-edge ($CI_{red\ edge}$ และ SAREI) ให้ประสิทธิภาพการจำแนกสูงสุด โดยสามารถแยกอ้อยออกจากประเภทอื่นได้ชัดเจนที่สุดจากระยะห่างของค่ามัธยฐานและช่วงควอไทล์ ส่วนข้อมูลเรดาร์ (VV, VH) แม้จะมีการทับซ้อนกับป่าไม้และพืชเกษตรอื่นค่อนข้างมาก แต่มีความได้เปรียบในการแยกแหล่งน้ำได้อย่างเด็ดขาด และสะท้อนความแปรปรวนของพื้นที่ชุมชนได้ชัดเจน โดยรวมสะท้อนว่าการบูรณาการหลายดัชนีช่วยเพิ่มศักยภาพในการจำแนกพื้นที่ปลูกอ้อยได้ดียิ่งขึ้น

2. การประเมินความถูกต้องของการจำแนก (Accuracy Assessment)

ประเมินความถูกต้องของการจำแนก โดยเปรียบเทียบผลลัพธ์จากโมเดลกับชุดข้อมูลตรวจสอบภาคสนาม ผ่านการวิเคราะห์เมทริกซ์ความสับสน เพื่อวัดความแม่นยำประกอบด้วยความถูกต้องรวมและค่าสถิติ แคปปา ซึ่งกระบวนการนี้เป็นขั้นตอนสำคัญในการยืนยันความน่าเชื่อถือของแบบจำลองก่อนนำไปจัดทำแผนที่ผลการจำแนกพื้นที่ปลูกอ้อยในลำดับสุดท้าย โดยมีตารางการตรวจสอบความถูกต้องหลังการจำแนกสิ่งปกคลุมดิน แสดงใน Table 1

Table 1 Confusion matrix and accuracy assessment results for land cover classification

Method 1 : RGB							
Class	A	F	M	U	W	S	Total
Agriculture (A)	80	6	1	3	0	6	96
Forest (F)	13	32	0	0	5	0	50
Miscellaneous (M)	6	0	3	0	0	2	11
Urban and Built-up (U)	2	0	1	11	1	1	16
Water (W)	0	0	0	1	10	1	12
Sugarcane (S)	12	0	1	2	2	198	215
Total	113	38	6	17	18	208	400
Overall Accuracy = 83.50% | Kappa = 74.11%							

Method 2 : VIs							
Class	A	F	M	U	W	S	Total
Agriculture (A)	81	4	1	3	0	7	96
Forest (F)	10	39	0	0	1	0	50
Miscellaneous (M)	5	0	5	0	0	1	11
Urban and Built-up (U)	3	0	0	11	0	2	16
Water (W)	0	0	0	1	11	0	12
Sugarcane (S)	14	0	0	1	1	199	215
Total	113	43	6	16	13	209	400
Overall Accuracy = 86.50% | Kappa = 78.74%							

Method 3 : VIs + SAR							
Class	A	F	M	U	W	S	Total
Agriculture (A)	84	4	2	1	0	5	96
Forest (F)	8	41	0	0	1	0	50
Miscellaneous (M)	3	1	6	0	0	1	11
Urban and Built-up (U)	3	0	1	10	0	2	16
Water (W)	0	0	0	1	11	0	12
Sugarcane (S)	10	1	1	1	0	202	215
Total	108	47	10	13	12	210	400
Overall Accuracy = 88.50% | Kappa = 81.90%							

Method 4 : SAR							
Class	A	F	M	U	W	S	Total
Agriculture (A)	45	20	1	0	1	29	96
Forest (F)	15	21	0	0	1	13	50
Miscellaneous (M)	3	2	3	1	0	2	11
Urban and Built-up (U)	5	4	0	5	1	1	16
Water (W)	0	0	0	1	11	0	12
Sugarcane (S)	44	33	0	2	0	136	215
Total	112	80	4	9	14	181	400
Overall Accuracy = 55.25% | Kappa = 32.44%							

จากตาราง Confusion Matrix พบว่าวิธี VIs + SAR สามารถแยกแยะจุดภาพได้แม่นยำที่สุด โดยเฉพาะพื้นที่อ้อยที่จำแนกได้ถูกต้องถึง 202 จุด จาก 215 จุด ซึ่งส่งผลให้มีความถูกต้องโดยรวมสูงสุดที่ OA = 88.50% และ Kappa = 81.90% ในขณะที่ข้อมูล SAR เพียงอย่างเดียวแสดงให้เห็นระดับความสับสนสูงระหว่างพื้นที่อ้อยกับพื้นที่เกษตรกรรมและป่าไม้ โดยมีค่าความถูกต้องโดยรวมต่ำที่สุดเพียง 55.25% ชี้ให้เห็นว่าการบูรณาการข้อมูลร่วมกันให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการใช้ข้อมูลชนิดเดียวอย่างมีนัยสำคัญ โดยสามารถแสดงค่าความถูกต้องของการจำแนกแต่ละชุดข้อมูลได้ดัง Figure 6 ทั้งนี้ เพื่อให้เห็นภาพรวมของประสิทธิภาพการจำแนกในแต่ละวิธีได้อย่างชัดเจน จึงได้สรุปค่าความถูกต้องโดยรวม ค่าสัมประสิทธิ์แคปปา และค่าความถูกต้องของผู้ผลิตสำหรับพื้นที่ปลูกอ้อยไว้ใน Table 2 และรายละเอียดค่าความถูกต้องของผู้ผลิต (Producer's Accuracy: PA) ค่าความถูกต้องของผู้ใช้ (User's Accuracy: UA) และค่า F1-Score แยกตามประเภทการใช้ที่ดินแต่ละคลาสไว้ใน Table 3

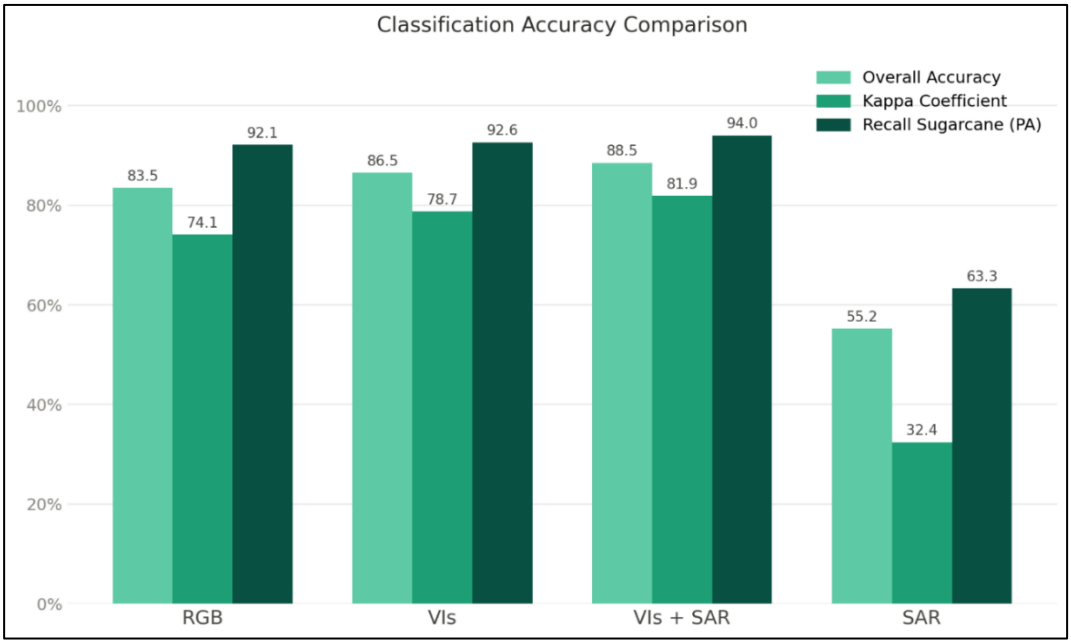


Figure 6 Accuracy comparison of different classification approaches

Table 2 Summary of classification accuracy for each method.

Method	Overall Accuracy (%)	Kappa Coefficient (%)	Recall Sugarcane (%)
Method 1: RGB	83.50	74.11	92.10
Method 2: VIs	86.50	78.74	92.60
Method 3: VIs + SAR	88.50	81.90	94.00
Method 4: SAR	55.25	32.44	63.30

Table 3 Recall (Producer's Accuracy), Precision (User's Accuracy), and F1–Score by land use category (%).

Class	Recall — Producer's Accuracy (%)				Precision — User's Accuracy (%)				F1–Score (%)			
	RGB	VIs	VIs+SAR	SAR	RGB	VIs	VIs+SAR	SAR	RGB	VIs	VIs+SAR	SAR
Agriculture (A)	83.3	84.4	87.5	46.9	70.8	71.7	77.8	40.2	76.6	77.5	82.4	43.3
Forest (F)	64.0	78.0	82.0	42.0	84.2	90.7	87.2	26.2	72.7	83.9	84.5	32.3
Miscellaneous (M)	27.3	45.5	54.5	27.3	50.0	83.3	60.0	75.0	35.3	58.8	57.1	40.0
Urban and Built–up (U)	68.8	68.8	62.5	31.2	64.7	68.8	76.9	55.6	66.7	68.8	69.0	40.0
Water (W)	83.3	91.7	91.7	91.7	55.6	84.6	91.7	78.6	66.7	88.0	91.7	84.6
Sugarcane (S)	92.1	92.6	94.0	63.3	95.2	95.2	96.2	75.1	93.6	93.9	95.1	68.7

Note: Method 1: RGB (Blue, Green, Red); Method 2: VIs (NDVI, GNDVI, MSI, CIred edge, SAVI, SAREI); Method 3: VIs + SAR (13 Sentinel–2 bands + 6 VIs + VV/VH = 21 features); Method 4: SAR (VV, VH only).

จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจำแนกทั้ง 4 รูปแบบ พบว่าวิธีที่ 3 ซึ่งใช้ดัชนีพืชพรรณร่วมกับข้อมูลเรดาร์ ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการจำแนกพื้นที่ปลูกอ้อย โดยมีค่าความถูกต้องโดยรวม (OA) เท่ากับ 88.50% และค่าสัมประสิทธิ์แคปปา (Kappa) เท่ากับ 81.90% ขณะที่พื้นที่ปลูกอ้อยมีค่า Producer's Accuracy (PA) 94.0% ค่า User's Accuracy (UA) 96.2% และค่า F1–Score 95.1% สะท้อนให้เห็นว่าการบูรณาการข้อมูลเชิงสรีรวิทยาจากดัชนีพืชพรรณร่วมกับข้อมูลเชิงโครงสร้างจากเรดาร์สามารถช่วยลดความสับสนระหว่างพื้นที่อ้อยกับพื้นที่เกษตรกรรมอื่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ดัชนีพืชพรรณเพียงอย่างเดียว (VIs) ซึ่งให้ค่า PA, UA และ F1–Score ของอ้อยที่ 92.6%, 95.2% และ 93.9% ตามลำดับ แม้ยังสามารถจำแนกอ้อยได้ดีแต่ยังพบความคลาดเคลื่อนบริเวณรอยต่อของพืชพรรณ ส่วนข้อมูล RGB ให้ค่า PA 92.1% ค่า UA 95.2% และค่า F1–Score 93.6% โดยมีข้อจำกัดด้านจุดรบกวนเชิงพื้นที่ ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการจำแนกพื้นที่เกษตรกรรมและอ้อยมากขึ้น ขณะที่การใช้ข้อมูล SAR เพียงอย่างเดียวให้ผลลัพธ์ต่ำที่สุด โดยมีค่า PA 63.3% ค่า UA 75.1% และค่า F1–Score 68.7% เนื่องจากข้อจำกัดของสัญญาณเรดาร์ในการแยกแยะชนิดพืชพรรณเมื่อไม่มีข้อมูลเชิงสเปกตรัมจากช่วงคลื่นแสงมาสนับสนุน

จากการเปรียบเทียบผลการจำแนกสิ่งปกคลุมดินทั้ง 6 ประเภท ด้วยอัลกอริทึมป่าสุ่ม จากชุดข้อมูล 4 รูปแบบ สามารถบรรยายลักษณะความแตกต่างเชิงพื้นที่ได้ดัง Figure 7

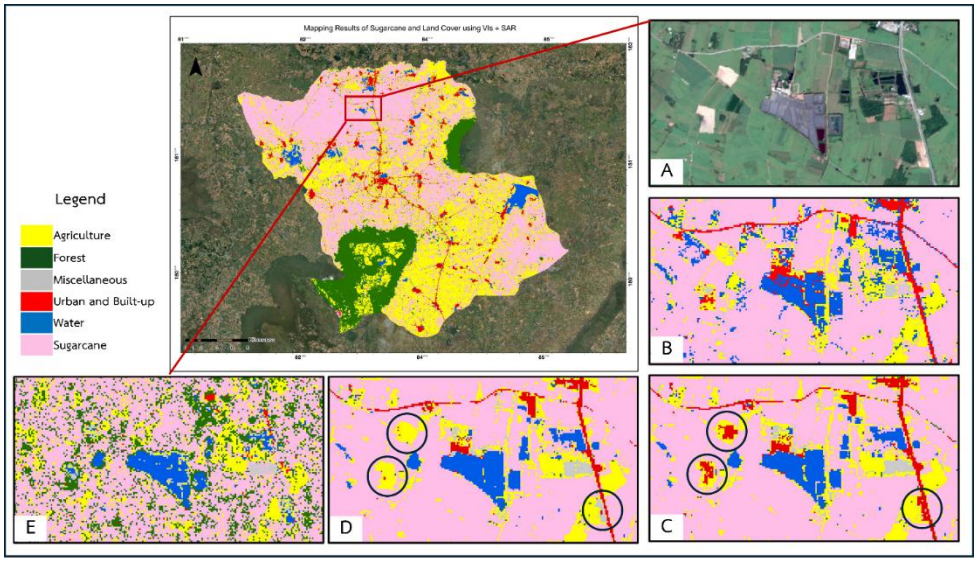


Figure 7 Comparison of land–cover classification maps produced by different methods

(A) Satellite Image (B) RGB (C) VIS (D) VIS+SAR (E) SAR

การจำแนกด้วยข้อมูล RGB เพียงอย่างเดียว โดยการใช้ข้อมูลเชิงแสงแบบการมองเห็นด้วยตาเปล่า (Figure 7B) พบปัญหาการจำแนกแหล่งน้ำปะปนกับพื้นที่ชุมชนค่อนข้างสูง โดยแผนที่มีจุดรบกวนกระจายตัว ทำให้พื้นที่เกษตรและอ้อยทับซ้อนกันจนแยกไม่ออก ในขณะที่การใช้ข้อมูลเรดาร์ (SAR) เพียงอย่างเดียว (Figure 7E) ให้ผลลัพธ์ต่ำที่สุด โดยภาพมีลักษณะหยาบ ไม่สามารถระบุขอบเขตแปลงพืชพรรณหรือเส้นทางคมนาคมที่ชัดเจนได้ เนื่องจากสัญญาณมีความไวต่อโครงสร้างทางกายภาพที่คล้ายคลึงกันเกินไป

การนำดัชนีพืชพรรณต่าง ๆ (Figure 7C)มาใช้ร่วมกับค่าสีช่วยให้โครงสร้างเชิงพื้นที่เด่นชัดขึ้น โดยเฉพาะโครงข่ายถนนที่เป็นเส้นสายต่อเนื่องและการเกาะกลุ่มของพื้นที่เมือง อย่างไรก็ตาม ในส่วนของพื้นที่เกษตรกรรม (สีเหลือง) ยังคงพบข้อจำกัดสำคัญคือการจำแนกผิดพลาดเป็นพื้นที่ชุมชน (สีแดง) หลงเหลืออยู่หลายบริเวณ เนื่องจากลักษณะการสะท้อนแสงของพื้นที่เกษตรบางช่วงหรือพื้นที่เตรียมปลูกอาจมีความใกล้เคียงกับวัสดุสิ่งปลูกสร้าง

ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากการรวมข้อมูล VIs และ SAR การจำแนกด้วยวิธีที่ 3 (Figure 7D) คือวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ข้อมูลเรดาร์ช่วยเสริมความแม่นยำในการแยกแยะโครงสร้างทางกายภาพ ทำให้จุดภาพที่เคยจำแนกผิดเป็นชุมชนถูกปรับแก้เป็นพื้นที่เกษตรตามรูปทรงแปลงที่แท้จริง นอกจากนี้ยังช่วยให้ขอบเขตระหว่างพื้นที่ปลูกอ้อยและพื้นที่ป่ามีความคมชัดและลดการปะปนกันของจุดภาพได้ดีกว่าทุกวิธี

จะเห็นได้ว่าชุดข้อมูลการบูรณาการข้อมูลทั้งค่าสะท้อนพืชพรรณ (VIs) และข้อมูลโครงสร้างพื้นผิว (SAR) ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจำแนกพื้นที่ปลูกอ้อยมากที่สุด

Discussion

ผลการวิเคราะห์การกระจายข้อมูลจากแผนภูมิกล่อง สะท้อนให้เห็นความแตกต่างของศักยภาพดัชนีพืชพรรณแต่ละกลุ่มในการจำแนกพื้นที่ปลูกอ้อยอย่างชัดเจน ดัชนีกลุ่มความเขียว ได้แก่ NDVI, GNDVI และ SAVI สามารถแยกอ้อยออกจากแหล่งน้ำ ชุมชน และพื้นที่เบ็ดเตล็ดได้ดี เนื่องจากอ้อยมีการสังเคราะห์แสงสูงในช่วงฤดูปลูก อย่างไรก็ตาม ค่าดัชนีดังกล่าวยังคงทับซ้อนกับป่าไม้ ซึ่งเป็นข้อจำกัดที่พบได้ทั่วไปในงานจำแนกพืชพรรณ เนื่องจากดัชนีกลุ่มนี้อาศัยช่วงคลื่นแดงและอินฟราเรดใกล้ (NIR) เป็นหลัก และมีความไวต่อปริมาณใบเขียว (Sonobe et al., 2018) ขณะที่ดัชนีความเครียดน้ำ (MSI) ของอ้อยแสดงค่ามัธยฐานและช่วงการกระจายที่ค่อนข้างเสถียร แต่ยังพบการซ้อนทับกับพื้นที่ป่าบางส่วนที่มีความชุ่มชื้นสูง

โดยผลลัพธ์ที่โดดเด่นที่สุดคือดัชนีกลุ่มขอบแดง ได้แก่ $CI_{red-edge}$ และ SAREI ซึ่งแสดงการแยกตัวของช่วงควอไทล์ (IQR) ระหว่างอ้อยกับประเภทพื้นที่อื่นได้ชัดเจนที่สุด สะท้อนให้เห็นว่าดัชนีกลุ่มนี้มีความสามารถในการแยกแยะชนิดพืช (Feature Separability) สูงกว่าดัชนีกลุ่มอื่น ทั้งนี้เนื่องจากอ้อยในช่วงก่อนการเปิดหีบ (ธันวาคม) มีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงและสม่ำเสมอทั่วแปลง ส่งผลให้ค่า $CI_{red-edge}$ มีการกระจายตัวของข้อมูลต่ำและมีค่ามัธยฐานสูงกว่าพืชประเภทอื่นอย่างชัดเจน ขณะที่พืชเกษตรอื่นและป่าไม้มีการกระจายตัวของข้อมูลสูงกว่า ทำให้เกิดการทับซ้อนระหว่างประเภทมากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับ Rekha et al. (2025) ที่รายงานว่า RECI และ NDRE เป็นดัชนีที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการแยกแยะอ้อยจากพืชชนิดอื่น เนื่องจากช่วงคลื่นขอบแดงมีความไวต่อปริมาณคลอโรฟิลล์และสภาพทางสรีรวิทยาของพืชมากกว่าดัชนีความเขียวทั่วไป (Sonobe et al., 2018; Kang et al., 2021) นอกจากนี้ การรวมข้อมูล Spectral Bands ของ Sentinel-2 ร่วมกับข้อมูล SAR จาก Sentinel-1 และดัชนีพืชพรรณ ยังช่วยเพิ่มศักยภาพในการแยกแยะประเภทพื้นที่ได้อย่างครอบคลุม โดยเฉพาะดัชนีกลุ่มคลื่นขอบแดงที่มีบทบาทสำคัญต่อการเพิ่มความแม่นยำของแบบจำลองด้านป่าไม้และพืชเกษตร (Bantchina and Gündoğdu, 2024) สอดคล้องกับ Suwanlee et al. (2025) และ Som-ard et al. (2025a) ที่รายงานว่าการบูรณาการข้อมูลหลายเซนเซอร์ช่วยเพิ่มความแม่นยำในการจำแนกพืชเกษตรในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย อย่างไรก็ตาม การศึกษาครั้งนี้ยังมีข้อจำกัด

จากการใช้ข้อมูลเพียงช่วงเวลาเดียวและจำนวนข้อมูลรายแปลงค่อนข้างจำกัด ทำให้ไม่สามารถสะท้อนความแตกต่างของระยะการเจริญเติบโตของอ้อยได้อย่างครบถ้วน เมื่อเปรียบเทียบกับ Som-ard et al. (2025a) ที่ใช้ข้อมูลหลายช่วงเวลาและข้อมูลรายแปลงจำนวนมาก ซึ่งมีส่วนช่วยเพิ่มความแม่นยำของการจำแนกได้มากยิ่งขึ้น

ผลการจำแนกข้อมูลหลายรูปแบบแสดงให้เห็นว่าการบูรณาการข้อมูลจากหลายเซนเซอร์สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจำแนกพื้นที่ปลูกอ้อยได้อย่างชัดเจน โดยเฉพาะการผสานข้อมูลดัชนีพืชพรรณร่วมกับข้อมูลเรดาร์ (VIs + SAR) ซึ่งสามารถแยกขอบเขตพื้นที่ปลูกอ้อยออกจากพื้นที่เกษตรกรรมอื่นและพื้นที่ป่าไม้ได้ดีกว่าการใช้ข้อมูลจากเซนเซอร์เดียว มีประสิทธิภาพสูงสุดและเพิ่มความแม่นยำของแบบจำลองด้านป่าไม้และพืชเกษตร (Bantchina and Gündoğdu, 2024)

ทั้งนี้ เนื่องจากข้อมูลเชิงแสงเพียงอย่างเดียว เช่น RGB ยังมีข้อจำกัดด้านความคล้ายคลึงเชิงคลื่นระหว่างพื้นที่เกษตรกรรม ชุมชน และแหล่งน้ำ ขณะที่ข้อมูล SAR เพียงอย่างเดียวมีความไวต่อโครงสร้างทางกายภาพที่ใกล้เคียงกัน จึงทำให้เกิดความสับสนระหว่างพื้นที่เกษตรและป่าไม้ และไม่สามารถระบุขอบเขตแปลงได้ชัดเจน ซึ่งสอดคล้องกับ Vizzari et al. (2025) ที่รายงานว่าการใช้ข้อมูลเรดาร์เพียงประเภทเดียวมีข้อจำกัดในการแยกประเภทการใช้ที่ดินที่มีโครงสร้างคล้ายคลึงกัน นอกจากนี้ การผสานข้อมูล VIs และ SAR ยังช่วยลดความคลุมเครือเชิงคลื่นในบริเวณรอยต่อระหว่างอ้อยกับพื้นที่เกษตรกรรมอื่น เนื่องจากข้อมูล SAR สามารถสะท้อนลักษณะโครงสร้างพื้นผิวและรูปทรงของแปลงพืชได้ดีขึ้น ส่งผลให้ขอบเขตพื้นที่ปลูกอ้อยมีความคมชัดมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ Jensch et al. (2025) อย่างไรก็ตาม ยังพบข้อจำกัดด้านการจำแนกผิดพลาดระหว่างอ้อยกับพืชไร่อื่น โดยเฉพาะในช่วงต้นฤดูปลูกที่อ้อยยังมีลักษณะการสะท้อนคลื่นใกล้เคียงกับพืชชนิดอื่น สอดคล้องกับ Som-ard et al. (2025a) ที่ระบุว่าความคลาดเคลื่อนส่วนใหญ่มักเกิดขึ้นในช่วงรอยต่อของฤดูกาลเพาะปลูก โดยเฉพาะในพื้นที่เกษตรกรรมที่มีการใช้ที่ดินหลากหลายประเภทในประเทศไทย เมื่อเปรียบเทียบกับงานของ Som-ard et al. (2025b) ซึ่งใช้ข้อมูลหลายเซนเซอร์หลายช่วงเวลาร่วมกับอัลกอริทึม RF เพื่อจำแนกพืชเกษตรหลายชนิดในจังหวัดชัยภูมิ พบว่าผลการศึกษาครั้งนี้ยังสามารถให้ความแม่นยำในระดับใกล้เคียงกัน แม้จะใช้ข้อมูลเพียงช่วงเวลาเดียวและจำนวนจุดอ้างอิงที่จำกัด สะท้อนให้เห็นว่าดัชนีกลุ่มคลื่นขอบแดงมีศักยภาพในการช่วยชดเชยข้อจำกัดด้านข้อมูลหลายช่วงเวลาได้บางส่วน ทั้งนี้ ในอนาคตควรมีการวิเคราะห์รูปแบบ Misclassification เชิงพื้นที่เพิ่มเติมในบริบทการใช้ที่ดินที่หลากหลาย เช่น บริเวณรอยต่อระหว่างอ้อยกับนาข้าวหรือพื้นที่ป่าไม้ เพื่อพัฒนาแนวทางการจำแนกที่มีความแม่นยำและเสถียรมากยิ่งขึ้น

การศึกษาในอนาคตควรพิจารณาใช้ข้อมูลหลายช่วงเวลาเพื่อจับความแตกต่างของชีพลักษณ์อ้อยในแต่ละระยะการเจริญเติบโต เช่น วิธีการหาอนุพันธ์การบิดเบือนเวลาแบบไดนามิก (Derivative Dynamic Time Warping: DDTW) (Ye et al., 2023) นอกจากนี้ควรดำเนินการวิเคราะห์ Feature Importance จากแบบจำลองโดยตรง เพื่อยืนยันบทบาทของแต่ละช่วงคลื่นในเชิงปริมาณและระบุได้อย่างแม่นยำว่าดัชนีใดมีอิทธิพลสูงสุดต่อการจำแนกพื้นที่ปลูกอ้อย นอกจากนี้ควรพิจารณาใช้ Edge-preserving filter เช่น Refined Lee Filter แทน Focal Mean ในการลด Speckle noise ของข้อมูล SAR เนื่องจาก Focal Mean เป็นการหาค่าเฉลี่ยในพื้นที่สี่เหลี่ยมคงที่ซึ่งอาจทำให้รายละเอียดบริเวณขอบแปลงถูกลดทอน ในขณะที่ Edge-Preserving Filter สามารถลด Speckle Noise ได้โดยยังคงรักษาความคมชัดของขอบเขตแปลงไว้ ส่งผลให้ความแม่นยำในการจำแนกพื้นที่ปลูกอ้อยในระดับแปลงเพิ่มขึ้น (Shamsoddini & Trinder, 2011) และควรพิจารณาคัดเลือกภาพดาวเทียม Sentinel-2 ในช่วงเดือนพฤศจิกายนซึ่งเป็นช่วงที่อ้อยมีการเจริญเติบโตสูงสุด หากสภาพอากาศเอื้ออำนวยและมีภาพที่ผ่านเกณฑ์เมฆปกคลุมน้อยกว่าร้อยละ 10 เพื่อให้ข้อมูลสะท้อนสภาพพืชพรรณในระยะที่มีความแตกต่างเชิงคลื่นชัดเจนที่สุด หรืออาจพิจารณาใช้ข้อมูลจากดาวเทียมที่มีความละเอียดเชิงเวลาสูงและมีช่วงคลื่นที่หลากหลายมากขึ้น เพื่อเพิ่มโอกาสในการได้ภาพปลอดเมฆในช่วงฤดูมรสุม และช่วยขยายขอบเขตการวิเคราะห์ลักษณะทางสรีรวิทยาและการเจริญเติบโตของอ้อยได้ครอบคลุมยิ่งขึ้น นอกจากนี้ควรออกแบบการเก็บข้อมูลภาคสนามให้สอดคล้องกับวันบันทึกภาพดาวเทียมในช่วงเวลา

ใกล้เคียงกันมากที่สุด เพื่อลดความคลาดเคลื่อนเชิงเวลาระหว่างข้อมูลอ้างอิงภาคสนามและภาพดาวเทียม ซึ่งจะช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือของการประเมินความถูกต้องและสะท้อนสภาพพื้นที่จริง ณ วันที่บันทึกข้อมูลได้อย่างแม่นยำยิ่งขึ้น

Conclusion

การศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการบูรณาการข้อมูลดาวเทียม Sentinel–1 และ Sentinel–2 จำนวน 21 features ร่วมกับอัลกอริทึมป่าสุ่มบนแพลตฟอร์ม Google Earth Engine สามารถจำแนกพื้นที่ปลูกอ้อยในอำเภอภูเขียว จังหวัดชัยภูมิ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยชุดข้อมูลที่บูรณาการดัชนีพืชพรรณกลุ่มคลื่นขอบแดง (Red–edge) ร่วมกับข้อมูลเรดาร์ (VIs + SAR) ให้ค่าความถูกต้องโดยรวมสูงสุดที่ 88.50% ค่า Kappa 81.90% และค่าความถูกต้องของผู้ผลิตสำหรับพื้นที่ปลูกอ้อยที่ 94.0% ผลลัพธ์ดังกล่าวยืนยันว่าดัชนีกลุ่มคลื่นขอบแดงมีบทบาทสำคัญในการลดความสับสนเชิงคลื่นระหว่างอ้อยกับพืชพรรณประเภทอื่น อันเนื่องมาจากความไวสูงต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ในระดับเซลล์พืชที่ดัชนีความเขียวทั่วไปไม่สามารถตรวจวัดได้ในระดับเดียวกัน อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้มีข้อจำกัดในด้านการจำแนกเชิงเวลา เนื่องจากใช้ข้อมูลภาพถ่ายเพียงช่วงเวลาเดียว ซึ่งอาจไม่เพียงพอในการระบุระยะการเจริญเติบโตและอายุของอ้อยในแต่ละแปลงได้อย่างแม่นยำ รวมถึงความคลาดเคลื่อนเชิงเวลาระหว่างการเก็บข้อมูลภาคสนามและวันถ่ายภาพดาวเทียมที่อาจส่งผลต่อความสอดคล้องของข้อมูลอ้างอิง ข้อค้นพบจากการศึกษาครั้งนี้เป็นประโยชน์สำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการนำไปประยุกต์ใช้เป็นต้นแบบสำหรับการติดตามพื้นที่ปลูกอ้อยในระดับอำเภอ เพื่อสนับสนุนการวางแผนการผลิต การบริหารจัดการโรงงานน้ำตาล และการทำเกษตรแม่นยำในระดับประเทศต่อไป

Reference

Ayhan, B., & Kwan, C. (2020). Tree, shrub, and grass classification using only RGB images. *Remote Sensing*, *12*(8), 1333. Form https://doi.org/10.3390/rs12081333

Badruzzaman, A., Wulandari, P., Sainal, S., Ashley, M., Jobling, S., Austen, M. C., & Praptiwi, R. A. (2025). Satellite imagery pre–processing and feature extraction for the mapping of coastal ecosystems using Google Earth Engine: A workflow for practitioners. *MethodsX*, 103516. Form https://doi.org/10.1016/j.mex.2025.103516

Bantchina, B. B., & Gündoğdu, K. S. (2024). Crop type classification using Sentinel 2A–derived normalized difference red edge index (NDRE) and machine learning approach. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, *38*(1), 89–105.

Chabalala, Y., Adam, E., & Ali, K. A. (2022). Machine learning classification of fused Sentinel–1 and Sentinel–2 image data towards mapping fruit plantations in highly heterogenous landscapes. *Remote Sensing*, *14*(11), 2621. Form https://doi.org/10.3390/rs14112621

Dagne, S. S., Hirpha, H. H., Tekoye, A. T., Dessie, Y. B., & Endeshaw, A. A. (2023). Fusion of Sentinel–1 SAR and Sentinel–2 MSI data for accurate urban land use–land cover classification in Gondar City, Ethiopia. *Environmental Systems Research*, *12*(1), 40. Form https://doi.org/10.1186/s40068–023–00324–5

De Swaef, T., Maes, W. H., Aper, J., Baert, J., Cougnon, M., Reheul, D., ... & Lootens, P. (2021). Applying RGB– and thermal–based vegetation indices from UAVs for high–throughput field phenotyping of drought tolerance in forage grasses. *Remote Sensing*, *13*(1), 147. Form https://doi.org/10.3390/rs13142702

Jena, J., Misra, S. R., & Tripathi, K. P. (2019). Normalized difference vegetation index (NDVI) and its role in agriculture. *Agriculture and Food: E-Newsletter*, *1*(12), 387–389.

Jensch, K., Ghazaryan, G., Ernst, S., Hostert, P., & Nendel, C. (2025). Integrating Landsat, Sentinel-2 and Sentinel-1 time series for mapping intermediate crops. *European Journal of Remote Sensing*, *58*(1), 2507738. Form https://doi.org/10.1080/22797254.2025.2507738

Kang, Y., Meng, Q., Liu, M., Zou, Y., & Wang, X. (2021). Crop classification based on red edge features analysis of GF-6 WFV data. *Sensors*, *21*(13), 4328. Form https://doi.org/10.3390/s21134328

Kareem, H. H., Attaee, M. H., & Omran, Z. A. (2023). Evaluation the soil-adjusted vegetation indices SAVI and MSAVI for Bristol city, United Kingdom using Landsat 8-OLI through geospatial technology. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, *24*. Form https://doi.org/10.12912/27197050/169749

Keawtungmuang, S., Srisombat, I., & Bothisarn, W. (2017). Study of life-way of cane farm community in Bannongdindum, Phukieow District, Chaiyaphum Province. *Academic MCU Buriram Journal*, *2*(2), 108–118. (in Thai)

Kwang Jhone Subdistrict Administrative Organization. (n.d.). Economic conditions of Kwang Jhone Subdistrict, Phu Khiao District, Chaiyaphum Province. Form https://www.kwangjhone.go.th/data.php?content_id=3

Laohapattanalert, K., Jamjamroon, K., & Kobpuleaw, L. (2016). Ethanol production from cassava pulp using diluted acid and alkaline solution pretreatment and simultaneous saccharification and fermentation. In *Proceedings of the RSU National Research Conference 2016* (p. 281). Rangsit University. (in Thai)

Li, N., Guo, Y., Wang, L., Wang, Q., Yan, D., Zhao, S., & Lei, T. (2024). Evaluation and quantitative characterization for the ecological environment impact of open pit mining on vegetation destruction from Landsat time series: A case study of Wulishan limestone mine. *Ecological Indicators*, *158*, 111371. Form https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.111371

Liu, M., Zhan, Y., Li, J., Kang, Y., Sun, X., Gu, X., ... & Yang, J. (2024). Validation of red-edge vegetation indices in vegetation classification in tropical monsoon region—a case study in Wenchang, Hainan, China. *Remote Sensing*, *16*(11), 1865. Form https://doi.org/10.3390/rs16101865

Magidi, J., Nhamo, L., Mpandeli, S., & Mabhaudhi, T. (2021). Application of the random forest classifier to map irrigated areas using Google Earth Engine. *Remote Sensing*, *13*(5), 876. Form https://doi.org/10.3390/rs13071376

Mitr Phol Modern Farm. (2025, August 22). Precise water management to enhance sustainable sugarcane productivity. Form https://www.mitrpholmodernfarm.com/news/2025/08/

Mullissa, A., Vollrath, A., Odongo-Braun, C., Slagter, B., Balling, J., Gou, Y., Gorelick, N., & Reiche, J. (2021). Sentinel-1 SAR backscatter analysis ready data preparation in Google Earth Engine. *Remote Sensing*, *13*(10), 1954. Form https://doi.org/10.3390/rs13101954

Nodthaisong, C., Saengprachathanarug, K., Chea, C., Posom, J., Wongpichet, S., Konyai, S., & Wongphati, M. (2019). Feasibility study of sugarcane yield prediction using NDVI and CI red–edge indices associated with volume of digital surface model (DSM). *Khon Kaen Agriculture Journal*, *47*(4), 679–694. Form https://doi.org/10.14456/kaj.2019.65 (in Thai)

Nsiah, R. A., Mantey, S., & Ziggah, Y. Y. (2024). Assessing the contribution of RGB VIs in improving building extraction from RGB–UAV images. *Mersin Photogrammetry Journal*, *6*(1), 9–21. Form https://doi.org/10.53093/mephoj.1399083

Nyamekye, C., Ghansah, B., Agyapong, E., Obuobie, E., Awuah, A., & Kwofie, S. (2021). Examining the performances of true color RGB bands from Landsat–8, Sentinel–2 and UAV as stand–alone data for mapping artisanal and small–scale mining (ASM). *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, *24*, 100655. Form https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100655

Office of Agricultural Research and Development Region 5. (2017). *Knowledge management: Management of sugarcane white leaf disease in the central and western regions using clean planting materials*. Department of Agriculture, Ministry of Agriculture and Cooperatives. (in Thai)

Office of the Cane and Sugar Board. (2025). *Report on sugarcane cultivation status for the 2024/2025 production year*. Office of the Cane and Sugar Board, Ministry of Industry, Thailand. (in Thai)

Pflumm, L., Kang, H., Wilting, A., & Niedballa, J. (n.d.). GEE–PICX: Generating cloud–free Sentinel–2 and Landsat image composites and spectral indices for custom areas and time frames—A Google Earth Engine web application. *EarthArXiv*. (preprint).

Phan, T. N., Kuch, V., & Lehnert, L. W. (2020). Land cover classification using Google Earth Engine and random forest classifier—The role of image composition. *Remote Sensing*, *12*(15), 2411. Form https://doi.org/10.3390/rs12152411

Rekha, B. U., Desai, V. V., Kuri, S., Ajawan, P. S., Jha, S. K., & Patil, V. C. (2025). Field–level sugarcane yield estimation utilizing Sentinel–2 time–series and machine learning. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, *37*(1), 475–487. Form https://doi.org/10.11591/ijeecs.v37.i1.pp475–487

Ruenrom, S., Ket–ord, R., & Iamchuen, N. (2024). Multi–scenario satellite drought assessment using moisture stress index (MSI) in Mae Suk Watershed, Mae Chai District, Phayao Province. *Journal of Spatial Innovation Development (JSID)*, *5*(3), 93–105. (in Thai)

Sanchez, A., Barboza, L. A., Watson, D., & Alfaro, E. J. (2023). Machine learning techniques applied to atmospheric sciences: a systematic review. *Frontiers in Climate*, *5*, 1250605.

Selvaraj, S., Bargiel, D., Htitiou, A., & Gerighausen, H. (2024). Analyzing temporal characteristics of winter catch crops using Sentinel–1 time series. *Remote Sensing*, *16*(19), 3737. Form https://doi.org/10.3390/rs16193737

Shamsoddini, A., & Trinder, J. C. (2011). Edge–detection–based filter for SAR speckle noise reduction. *International Journal of Remote Sensing*, *33*(8), 2296–2320. Form https://doi.org/10.1080/01431161.2011.614286

Shi, L., Fan, H., Yang, L., Jiang, Y., Sun, Z., & Zhang, Y. (2023). NDVI–based spatial and temporal vegetation trends and their response to precipitation and temperature changes in the Mu Us Desert from 2000 to 2019. *Water Science & Technology*, *88*(2), 430–442. Form https://doi.org/10.2166/wst.2023.212

Som–ard, J., Suwanlee, S. R., Pinasu, D., Keawsomsee, S., Kasa, K., Seesanhao, N., ... & Immitzer, M. (2022). Monitoring three decades of crop type dynamics in Thailand using multi–temporal satellite imagery and random forest classifier. *Computers and Electronics in Agriculture*, *198*, 107083. Form https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107083

Som–ard, J., Suwanlee, S. R., Pinasu, D., Keawsomsee, S., Kasa, K., Seesanhao, N., ... & Sarvia, F. (2024). Evaluating sugarcane yield estimation in Thailand using multi–temporal Sentinel–2 and Landsat data together with machine–learning algorithms. *Land*, *13*(9), 1481. Form https://doi.org/10.3390/land13091481

Som–ard, J., Suwanlee, S. R., Keawsomsee, S., Kasa, K., Seesanhao, N., Izquierdo–Verdiguier, E., Moreno–Martínez, Á., Ninsawat, S., & Atzberger, C. (2025a). Mapping sugarcane plantations in Northeast Thailand using multi–temporal data from multi–sensors and machine–learning algorithms. *Big Earth Data*, *9*(2), 187–216. Form https://doi.org/10.1080/20964471.2025.2463730

Som–ard, J., Hossain, M. D., Keawsomsee, S., Suwanlee, S. R., Veerachitt, V., Heawchaiyaphum, P., Puntura, A., Izquierdo–Verdiguier, E., Immitzer, M., & Atzberger, C. (2025b). Integrating multi–temporal satellite data and machine learning approaches for crop rotation pattern mapping in Thailand. *Remote Sensing*, *17*(18), 3156. Form https://doi.org/10.3390/rs17183156

Sonobe, R., Sano, T., & Horie, H. (2018). Using spectral reflectance to estimate leaf chlorophyll content of tea with shading treatments. *Biosystems Engineering*, *175*, 168–182. Form https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.09.018

Suwanlee, S. R., Keawsomsee, S., Izquierdo–Verdiguier, E., Moreno–Martínez, Á., Ninsawat, S., & Som–ard, J. (2025). Synergistic use of multi–sensor satellite data for mapping crop types and land cover dynamics from 2021 to 2023 in Northeast Thailand. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, *141*, 104673. Form https://doi.org/10.1016/j.jag.2025.104673

Thaicharoen, K., & Majandang, J. (2022). The development of an equation for sugarcane yield prediction using vegetation indices from Sentinel–2 satellite imagery: A case study in Chaiwan District, Udon Thani Province. *Journal of Science and Technology Mahasarakham University*, *41*(6), 317–324. (in Thai)

Tomppo, E., Ronoud, G., Antropov, O., Hytönen, H., & Praks, J. (2021). Detection of forest windstorm damages with multitemporal SAR data—A case study: Finland. *Remote Sensing*, *13*(3), 383. Form https://doi.org/10.3390/rs13020383

Tsuchiya, Y., & Sonobe, R. (2025). Crop classification using time–series Sentinel–1 SAR data: A comparison of LSTM, GRU, and TCN with attention. *Remote Sensing*, *17*(12), 2095. Form https://doi.org/10.3390/rs17122095

Vera–Esmeraldas, A., Pizarro–Oteíza, S., Labbé, M., Rojo, F., & Salazar, F. (2025). UAV–based spectral and thermal indices in precision viticulture: A review of NDVI, NDRE, SAVI, GNDVI, and CWSI. *Agronomy*, *15*(11), 2569. Form https://doi.org/10.3390/agronomy15112569

Vizzari, M., Antonielli, F., Bonciarelli, L., Grohmann, D., & Menconi, M. E. (2025). Urban greenery mapping using object–based classification and multi–sensor data fusion in Google Earth Engine. *Urban Forestry & Urban Greening*, *105*, 128697. Form https://doi.org/10.1016/j.ufug.2025.125697

Vora, A. P., Dudhagara, R. C., Kathiriya, D. R., & Pundir, R. S. (2023). Applications of Google Earth Engine for big data analytics. *The Pharma Innovation Journal*, *12*(3), 2054–2062.

Wijitthanasarn, P., & Obpaet, A. (2023). *Evaluation of harvest status in sugarcane fields in Khon Kaen Province, Thailand using Sentinel–1 SAR data*. In *Proceedings of the 28th National Convention on Civil Engineering (NCE28)*, May 24–26, 2023, Phuket, Thailand. (in Thai).

Wolfe, J. D. (2017). *Using ENVI for agriculture research: Optical remote sensing of sugarcane development*. NV5 Geospatial Software. Form https://www.nv5geospatialsoftware.com/Learn/Whitepapers/Whitepaper–Detail/using–envi–for–agriculture–research–optical–remote–sensing–of–sugarcane–development

Xu, L., Zhang, H., Wang, C., Zhang, B., & Liu, M. (2019). Crop classification based on temporal information using Sentinel–1 SAR time–series data. *Remote Sensing*, *11*(1), 53. Form https://doi.org/10.3390/rs11010053

Ye, J., Bao, W., Liao, C., Chen, D., & Hu, H. (2023). Corn phenology detection using the derivative dynamic time warping method and Sentinel–2 time series. *Remote Sensing*, *15*(14), 3456. Form https://doi.org/10.3390/rs15143456

Yuan, X., Shi, J., & Gu, L. (2023). A review of deep learning methods for semantic segmentation of remote sensing imagery. *Expert Systems with Applications*, *169*, 114417.

Zhao, C., Pan, Y., Ren, S., Gao, Y., Wu, H., & Ma, G. (2024). Accurate vegetation destruction detection using remote sensing imagery based on the three–band difference vegetation index (TBDVI) and dual–temporal detection method. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, *127*, 103669. Form https://doi.org/10.1016/j.jag.2024.103669

การพัฒนาและประเมินประสิทธิผลของรูปแบบการดูแลผู้ป่วยโรคไม่ติดต่อเรื้อรังด้วยการแพทย์ทางไกล แบบบูรณาการชุมชน โดยคณะกรรมการพัฒนาคุณภาพชีวิตระดับอำเภอคลองเขื่อน จังหวัดฉะเชิงเทรา

วิพัชรินทร์ ทรงเดชาพิพัฒน์[1]

Development and Effectiveness Evaluation of a Community–Integrated Telemedicine Care Model for Patients with Noncommunicable Diseases through the Khlong Khuean District Health Board, Chachoengsao Province, Thailand

Wipatcharin Songdechapipat[1]

[1] โรงพยาบาลคลองเขื่อน สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดฉะเชิงเทรา จังหวัดฉะเชิงเทรา 24000

[1] Khlong Khuean Hospital, Chachoengsao Provincial Public Health Office, Chachoengsao, 24000

Corresponding author: yok7.rama@gmail.com

Received: 21 September 2026; Revised: 16 October 2026; Accepted: 19 October 2026

บทคัดย่อ

อำเภอคลองเขื่อนมีผู้สูงอายุและผู้ป่วยโรคไม่ติดต่อเรื้อรังจำนวนมาก การเดินทางไปรับบริการที่โรงพยาบาลก่อให้เกิดภาระด้านเวลา ค่าเดินทาง และค่าใช้จ่ายของผู้ป่วยและครอบครัว การวิจัยและพัฒนาแบบผสมผสานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและประเมินประสิทธิผลของรูปแบบการดูแลด้วยการแพทย์ทางไกลแบบบูรณาการชุมชน โดยเชื่อมโยงโรงพยาบาลคลองเขื่อน โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล อาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น และคณะกรรมการพัฒนาคุณภาพชีวิตระดับอำเภอ รูปแบบได้รับการพัฒนาผ่านการประชุมผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย 3 ครั้ง เพื่อออกแบบ ทบทวนปรับปรุง และสรุปรูปแบบ โดยมีการปรับประเด็นที่สำคัญ ได้แก่ การสนับสนุนเครื่อง DTX/BP การควบคุมคุณภาพ DTX การใช้ assisted video consultation และ telepharmacy การประสานงานและเตรียมยาล่วงหน้า การตรวจสอบตัวตนผู้รับยา ระบบเตือนนัด และ safety/referral pathway การประเมินประสิทธิผลใช้ prospective quasi–experimental controlled cohort กลุ่มตัวอย่างเป็นผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 และ/หรือความดันโลหิตสูงที่มีอาการคงที่ เป็นกลุ่มทดลองและกลุ่มเปรียบเทียบกลุ่มละ 50 คน มีการติดตามวัดผล 3 ครั้ง ช่วงทดลอง 6 เดือน ที่ T0, T3 และ T6 ทั้ง 2 กลุ่มมีคุณลักษณะพื้นฐานที่ใกล้เคียงกัน ด้านตัววัดผลสำคัญ พบว่ากลุ่ม DM–based cohort มีค่า HbA1c เปลี่ยนจาก 5.93% เป็น 6.26% ในกลุ่มทดลอง และ 5.87% เป็น 6.15% ในกลุ่มเปรียบเทียบ โดยไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p=0.750) และผู้ป่วยทุกคนมี HbA1c <7.5% ที่ T6 ในกลุ่ม HT–based cohort ค่า SBP ลดจาก 128.71 เป็น 118.93 mmHg เทียบกับ 134.67 เป็น 133.04 mmHg โดยกลุ่มทดลองลดลงต่างกัน 8.16 mmHg (p=0.005) ด้านค่าใช้จ่ายรวมในการรับบริการของกลุ่มทดลองลดลงมากกว่ากลุ่มเปรียบเทียบ 418.6 บาทต่อครั้ง และเวลาที่เสียลดลงมากกว่า 3.72 ชั่วโมงต่อครั้ง (p<0.001) นอกจากนี้ไม่พบการขาดยา การเข้าห้องฉุกเฉินหรือนอนโรงพยาบาลจาก NCD instability หรือการเปลี่ยนจาก telemedicine เป็น onsite/ER และกลุ่มทดลองมีความพึงพอใจเพิ่มขึ้นมากกว่า (p<0.001) รูปแบบที่พัฒนาขึ้นมีความเป็นไปได้ในการใช้กับผู้ป่วย NCD ที่อาการคงที่ ช่วยคงการควบคุมระดับน้ำตาลตามเป้าหมายรายบุคคล ลด SBP และลดภาระเวลาและค่าใช้จ่ายของครัวเรือน โดยควรตีความภายใต้ข้อจำกัดของการจัดกลุ่มแบบไม่สุ่มและระยะติดตาม 6 เดือน

คำสำคัญ: การแพทย์ทางไกล, โรคไม่ติดต่อเรื้อรัง, เบาหวานชนิดที่ 2, ความดันโลหิตสูง, การดูแลแบบบูรณาการชุมชน

Abstract

Khlong Khuean District has a substantial of elderly people with noncommunicable diseases (NCDs), Going to the hospital for services creates a burden in terms of time, travel costs, and expenses for patients and their families. This mixed–methods research aimed to develop and assess the effectiveness of an integrated community–telemedicine care model that connecting Khlong Khuean hospital, subdistrict health promoting hospitals, village health volunteers, local administrative organizations, and the district–level quality of life development committee. The model was developed through three stakeholder meetings to design, review, refine, and finalize it with key adjustments namely: supporting DTX/BP, DTX quality control, using video consultation, and telepharmacy. Coordinating and preparing medications in advance, verifying patient identity, appointment reminders, and safety/referral pathways were emphasized. A prospective quasi–experimental controlled cohort was used to assess the model effectiveness. Fifty clinically stable type 2 diabetes and/or hypertension patients were enrolled in the experimental group while another 50 were assigned into the comparison group. Having assessment 3 times during 6 month trial at baseline (T0), month 3 (T3), and month 6 (T6). Both groups had the comparable basic characteristics. Regarding the key outcomes, it was found that the DM–based cohort group had HbA1c change from 5.93% to 6.26% in the experimental group and from 5.87% to 6.15% in the comparison group that was not significant different (p=0.750), and all patients had HbA1c <7.5% at T6. In the HT–based cohort group, the SBP decreased from 128.71 to 118.93 mmHg, compared to 134.67 to 133.04 mmHg of the comparison group, that the 8.16 mmHg difference was found (p=0.005). The total services cost of the experimental group was saved by 418.6 baht per visit compared to the comparison group, and the time spent was reduced by more than 3.72 hours per visit (p<0.001). In addition, no running out of medicines, ER visits, or hospitalizations due to NCD instability or switching from telemedicine to onsite/ER were found, and the experimental group had more satisfaction (p<0.001). The developed model was feasible for clinically stable NCD patients, preserved individualized glycemic control, improved systolic blood pressure, and reduced household time and financial burden. Interpretation should account for nonrandomized allocation and the 6 month follow up.

Keywords: Telemedicine, Noncommunicable disease, Type 2 diabetes, Hypertension, Community–integrated care

Introduction

โรคไม่ติดต่อเรื้อรัง เป็นภาระสำคัญต่อระบบสุขภาพและเศรษฐกิจ โดยเฉพาะโรคเบาหวานและโรคความดันโลหิตสูง ซึ่งต้องอาศัยการติดตามต่อเนื่อง การใช้ยาอย่างสม่ำเสมอ และการจัดการปัจจัยเสี่ยงในระยะยาว (World Health Organization, 2025a; United Nations Development Programme et al., 2021; World Health Organization Thailand, n.d.) การที่ผู้ป่วยต้องเดินทางมารับบริการที่โรงพยาบาลเป็นประจำตามนัดนั้นทำให้ต้องเพิ่มค่าใช้จ่าย เวลา และการสูญเสียผลิตภาพ โดยเฉพาะในผู้สูงอายุ และครัวเรือนที่ต้องพึ่งผู้ดูแล

การแพทย์ทางไกลเป็นส่วนหนึ่งของระบบสุขภาพดิจิทัล ที่ช่วยลดข้อจำกัดด้านระยะทางและสนับสนุนความต่อเนื่องของการดูแล กระทรวงสาธารณสุขไทยได้กำหนดยุทธศาสตร์ eHealth และ Digital Health เพื่อสนับสนุนการใช้เทคโนโลยีในบริการสุขภาพ (Ministry of Public Health Thailand, 2017, 2021; World Health Organization, 2025b) หลักฐานเชิงระบบที่สนับสนุนประโยชน์ของ telemedicine ต่อผู้สูงอายุในด้านการดูแลเบาหวาน การควบคุมความดันโลหิต และความพึงพอใจที่มีต่อบริการ แต่ digital divide และความสามารถในการใช้อุปกรณ์ยังเป็นข้อจำกัดที่สำคัญ (Şahin et al.,

2024; Choxi et al., 2022; Hangaard et al., 2023; Sakima et al., 2025; Snoswell et al., 2020; Kruse et al., 2017)

ในปี พ.ศ. 2569 อำเภอคลองเขื่อน จังหวัดฉะเชิงเทรา มีประชากร 12,489 คน เป็นผู้สูงอายุ ร้อยละ 24.91 เป็นผู้ป่วยความดันโลหิตสูง 2,480 คน (19.85%) และผู้ป่วยเบาหวาน 1,229 คน (9.8%) (Khlong Khuean Hospital, 2026) ผู้ป่วยจำนวนหนึ่งมีข้อจำกัดด้านการเดินทาง ขณะที่ญาติในวัยทำงานอาจต้องลางานเพื่อพาผู้ป่วยมารับบริการ จึงมีความจำเป็นต้องพัฒนารูปแบบบริการที่ลดข้อจำกัดดังกล่าวโดยยังคงความต่อเนื่องและความปลอดภัยในการดูแล โรงพยาบาลคลองเขื่อนจึงได้พัฒนารูปแบบ Community–integrated Telemedicine Care Model เพื่อเชื่อมโรงพยาบาลอำเภอ โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล (รพ.สต.) อาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน(อสม.) องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น และคณะกรรมการพัฒนาคุณภาพชีวิตระดับอำเภอ (พชอ.) เพื่อช่วยเตรียม BP/DTX และผลตรวจตามข้อบ่งชี้ สนับสนุน assisted video consultation และ telepharmacy จัดส่งยาผ่านเครือข่ายชุมชน และจัดให้มี safety/referral pathway โดยการศึกษานี้มุ่งทั้งพัฒนารูปแบบผ่านกระบวนการมีส่วนร่วม การปรับระบบเป็นวงรอบ และประเมินประสิทธิผลของรูปแบบเมื่อใช้ในบริการจริง

การประเมินผลทางคลินิกต้องคำนึงถึงเป้าหมายรายบุคคลตามแนวทางไทย โดยเฉพาะ HbA1c ในผู้สูงอายุ ซึ่งไม่ควรตีความว่าค่าที่ต่ำที่สุดเป็นผลลัพธ์ที่ดีที่สุดเสมอ และอาจต้องลดความเข้มข้นของการรักษาเมื่อเหมาะสม (Diabetes Association of Thailand et al., 2024) ส่วนแนวทางความดันโลหิตสูงไทย พ.ศ. 2567 เน้นเป้าหมายตามอายุและความเสี่ยง รวมถึงบทบาทของ telemedicine ในการช่วยควบคุมความดันโลหิต (Thai Hypertension Society, 2024)

Objectives

1. เพื่อพัฒนา Community–Integrated Telemedicine Care Model สำหรับผู้ป่วยโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง ในเขตพื้นที่อำเภอคลองเขื่อน โดยการมีส่วนร่วมของคณะกรรมการพัฒนาคุณภาพชีวิตระดับอำเภอและเครือข่ายชุมชน

2. เพื่อประเมินประสิทธิผลของรูปแบบการดูแลผู้ป่วยที่มีต่อผลลัพธ์ทางคลินิก ความต่อเนื่อง และความปลอดภัยในการดูแล ค่าใช้จ่ายและเวลาในการไปรับบริการของผู้ป่วยต่อครอบครัว ความพึงพอใจ และผลลัพธ์ระดับระบบบริการ เมื่อเปรียบเทียบกับการดูแล ณ โรงพยาบาลตามปกติ (usual onsite care)

3. เพื่อสังเคราะห์ประสบการณ์ อุปสรรค การปรับระบบ และข้อเสนอเชิงนโยบายจากผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย เพื่อพัฒนาและสรุปรูปแบบการดูแลที่เหมาะสมกับบริบทพื้นที่

Materials and Methods

Study Design and Period

การศึกษานี้เป็นการวิจัยและพัฒนา (Research and Development; R&D) แบบผสมผสาน (Mixed Method) ประกอบด้วย 2 ส่วนที่เชื่อมโยงกัน ได้แก่ (1) กระบวนการพัฒนารูปแบบเชิงคุณภาพผ่านการประชุมและการอภิปรายกลุ่มของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย เพื่อร่วมออกแบบรูปแบบบริการ ทบทวนปัญหาและปรับระบบระหว่างดำเนินงาน และสรุปรูปแบบหลังครบ 6 เดือน และ (2) การประเมินประสิทธิผลเชิงปริมาณด้วย prospective quasi–experimental controlled cohort study แบบไม่สุ่มเข้ากลุ่ม ดำเนินการเก็บข้อมูลระหว่างวันที่ 1 มีนาคม ถึง 31 สิงหาคม พ.ศ. 2569 โดยรายงานการศึกษาเชิงปริมาณตามหลัก TREND/STROBE และใช้หลัก COREQ เป็นกรอบในการจัดระบบข้อมูลเชิงคุณภาพ (Des Jarlais et al., 2004; von Elm et al., 2007; Tong et al., 2007)

Development and Implementation of the Care Model

กระบวนการพัฒนารูปแบบดำเนินการแบบเป็นวงรอบผ่านการประชุมผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย 3 ครั้ง ก่อนเริ่มดำเนินงาน วันที่ 16 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2569 มีผู้เข้าร่วมประกอบด้วยแพทย์ผู้วิจัย พยาบาล เภสัชกร นักเทคนิคการแพทย์ สาธารณสุขอำเภอ เจ้าหน้าที่ รพ.สต. อสม. องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น และคณะกรรมการ พชอ. เพื่อทบทวนปัญหาของการให้บริการ กำหนดบทบาท ทรัพยากร safety pathway และ operational workflow จากนั้นนำรูปแบบไปใช้จริงและนำปัญหาที่พบกลับมาทบทวนในการประชุมครั้งที่ 2 วันที่ 29 พฤษภาคม 2569 เพื่อปรับกระบวนการให้บริการ และประชุมครั้งที่ 3 วันที่ 3 กันยายน 2569 หลังครบการดำเนินงาน 6 เดือน เพื่อสรุปผลการใช้รูปแบบ องค์ประกอบที่ปรับแล้ว ความเป็นไปได้ในการดำเนินงานอย่างต่อเนื่อง และแนวทางขยายผล โดยรูปแบบหลังการพัฒนามีแนวทางดังนี้

ผู้ป่วยหรือญาติที่มีอุปกรณ์ Smartphone และมีเครื่องตรวจ DTX เครื่องวัด BP สามารถเชื่อมต่อระบบได้โดยตรงกับโรงพยาบาลอำเภอ ส่วนผู้ที่ไม่มีอุปกรณ์ดังกล่าวสามารถขอรับความช่วยเหลือจาก อสม. และรพ.สต. ได้หากต้องตรวจเลือดตามข้อบ่งชี้ โดย รพ.สต.จะทำการจัดเก็บตัวอย่างก่อนวันให้บริการ telemedicine ในวันให้บริการ แพทย์ผู้ให้บริการจะประเมินอาการและผลตรวจผ่าน video call เภสัชกรทำ telepharmacy และจัดยาแยกตามผู้ป่วยรายตำบล จากนั้นเครือข่าย อบต./รพ.สต./อสม.ทำการรับและส่งยาให้กับผู้ป่วย โดยตรวจสอบตัวตนก่อนส่งมอบ หากพบ red flag หรือ clinical instability จะเปลี่ยนสถานะของผู้ป่วยให้เป็น onsite หรือ ER ดังตารางที่ 1

Table 1 Components of a community–integrated telemedicine care model for patients with chronic non–communicable diseases

Components	Actual implementation
Service scheduling	Khlong Khuean hospital provides Telemedicine services that be integrated into the NCDs clinic every Wednesday for DM and every Friday for HT.
Pre–appointment preparation	Availability assessment of a smartphone, a DTX tester, and a BP monitor of patients or their relatives. Their ability to get service at the consultation point, and additional laboratory tests that be needed as clinically indicated.
Community support	Usually patients/relatives are required to take the DTX/BP test by themselves. If they could not do the tests, then the DTX/BP will be done by the village health volunteers (VHVs) approximately 1 day before the appointment. In case a smartphone is not available or travelling is difficult, the VHVs/primary care staff assist them for video consultation.
Laboratory testing	When blood tests beyond DTX are clinically indicated, specimens will be collected by primary care units approximately 1 day before telemedicine service and the specimens be sent to the hospital so their results will be available for consultation.
Physician assessment	The physician reviews symptoms, BP/DTX, laboratory results, and medications by video call, with VHV/primary care assistance when needed.
Telepharmacy	Pharmacists review medications, provide medication–use/adherence counseling, prepare medicines by patient and area, and verify accuracy before dispensing.

Components	Actual implementation
Medication delivery	Local administrative organizations, primary care units, and VHVs receive and deliver medicines to patients' homes with identity verification.
Follow-up and safety	Received medication and problems encounter are recorded; appointments are coordinated and reminded. Red flags or clinical instability trigger conversion to onsite/emergency care according to the safety/referral pathway.
Post-implementation support	DTX/BP equipment support; monthly DTX quality control; smartphone/internet support for video consultation assistant; communication and reminder among groups; medication preparation, identity verification, and community delivery systems; pathways for new, homebound/bedbound patients or those with travel barriers.

Population, Sampling, and Group Allocation

ประชากรเป้าหมายในการศึกษาครั้งนี้ คือผู้ป่วย T2DM และ/หรือผู้ป่วย HT ที่อาศัยอยู่ในเขตอำเภอคลองเขื่อน และอยู่ในระบบดูแลให้บริการของโรงพยาบาลคลองเขื่อน แบ่งเป็น 2 กลุ่มเพื่อการวิเคราะห์คือ เป็นผู้ป่วย DM-based cohort (มี DM ไม่ว่าจะมี HT/CKD ร่วม) และผู้ป่วย HT-based cohort (มี HT แต่ไม่มี DM) โดย CKD เป็นโรคร่วม/subset ไม่ใช่ cohort หลักที่สาม

เกณฑ์คัดเข้า ได้แก่

1) อายุ 18 ปีขึ้นไป

2) ได้รับการวินิจฉัยว่าเป็นผู้ป่วยโรคเบาหวานชนิดที่ 2 (T2DM) และ/หรือโรคความดันโลหิตสูง (HT) และมีรายชื่อในระบบ HOSxP/ทะเบียน NCD ของโรงพยาบาลคลองเขื่อน

3) เป็นผู้ป่วยที่อาศัยอยู่ในเขตพื้นที่ทั้ง 5 ตำบล ที่เป็นตำบลทั้งหมดของอำเภอคลองเขื่อน และมีแผนติดตามรักษาที่โรงพยาบาลคลองเขื่อนในช่วง 6 เดือนของการศึกษา

4) มีภาวะทางคลินิกคงที่ (clinically stable) และแพทย์ประเมินว่าสามารถติดตามผ่าน telemedicine ได้อย่างปลอดภัย

5) สามารถสื่อสารกับทีมรักษาได้ด้วยตนเอง หรือมีญาติ ผู้ดูแล หรือ อสม. ช่วยในการสื่อสาร

6) ยินยอมเข้าร่วมการศึกษาด้วยความสมัครใจ

นิยามของ clinically stable หมายถึง ผู้ป่วยอยู่ในภาวะโรคเรื้อรังคงที่และแพทย์ประเมินว่า สามารถติดตามการรักษาผ่าน telemedicine ได้อย่างปลอดภัย โดยในช่วง 6 เดือนก่อนเข้าโครงการ ไม่มีประวัติมารับบริการห้องฉุกเฉิน หรือเข้ารักษาเป็นผู้ป่วยในจากภาวะ acute decompensation ที่สำคัญ ได้แก่

- severe hypoglycemia, severe symptomatic hyperglycemia, diabetic ketoacidosis (DKA) หรือ hyperosmolar hyperglycemic state (HHS)
- hypertensive urgency/emergency ที่ต้องรับบริการ ER หรือ admission
- acute myocardial infarction/acute coronary syndrome
- acute stroke
- acute decompensated heart failure
- acute kidney injury หรือ clinically significant volume overload ที่ต้องรับบริการ ER/admission

• critical illness หรือ respiratory failure ที่ต้องใส่ endotracheal tube/mechanical ventilation

• นอกจากนี้ ณ วันคัดเลือกตัวอย่าง ต้องไม่มีภาวะเจ็บป่วยเฉียบพลันหรือ red-flag symptoms ที่แพทย์ลงความเห็นว่าจำเป็นต้องตรวจ แบบ face-to-face ทั้งนี้ประวัติ chronic heart failure ที่คงที่ หรือประวัติที่เคยใส่ท่อช่วยหายใจจากสาเหตุที่ไม่สะท้อน clinical instability ในช่วงที่กำหนด จะไม่ถูกคัดออกโดยอัตโนมัติ

เกณฑ์คัดออก ได้แก่

1) มีภาวะเจ็บป่วยเฉียบพลันหรือโรคไม่คงที่ที่จำเป็นต้องตรวจร่างกาย หรือประเมินแบบ onsite

2) มีภาวะแทรกซ้อนรุนแรงที่อยู่ระหว่างการติดตามเฉพาะทางอย่างใกล้ชิด และแพทย์ลงความเห็นว่า telemedicine ไม่เหมาะสมในช่วงเริ่มศึกษา

3) ไม่สามารถสื่อสารผ่านระบบการแพทย์ทางไกลได้ และไม่มีญาติ ผู้ดูแล หรือ อสม. ช่วยเหลือ

4) ย้ายออกนอกพื้นที่ หรือมีแผนเปลี่ยนสถานพยาบาลหลักในช่วงติดตาม

5) ไม่สมัครใจที่จะเข้าร่วมการศึกษา

ประชากรที่ผ่านเกณฑ์คัดเลือกมี 1,272 คน (DM-based 485 คน; HT-based 787 คน) กำหนดขนาดตัวอย่างสำหรับเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวแปรตามระหว่าง 2 กลุ่ม ด้วยสถิติ t-test จากตาราง Power ของ Cohen (1977) (Cohen, J.(1977). Statistical power analysis for the behavioral sciences. (2nd ed.) New York: Academic Press) กำหนดค่าขนาดของอิทธิพล (Effect size) ขนาดกลาง (Medium effect size) คือมีขนาดความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของตัวแปรตามระหว่างตัวอย่าง 2 กลุ่ม 1 ส่วน 2 เท่า ของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าตัวแปรตามระหว่าง 2 กลุ่ม และกำหนดค่าอำนาจการทดสอบ ($1-\beta$) เท่ากับ 80 จากตารางจะต้องใช้ตัวอย่างกลุ่มละ 50 คน ทำการคัดเลือกตัวอย่างจากรายชื่อเรียงตามอักษรด้วยช่วงคงที่ 10 โดยเลือกเลขลำดับลงท้าย 0 ใน DM-based และ 2 ใน HT-based แล้วจัดสรรผู้ยินยอมแบบสลับลำดับ (alternating allocation) โดยไม่สุ่ม กลุ่ม DM คัดเลือกเบื้องต้น 48 คน ไม่เข้าร่วม 3 คน เหลือ 45 คน (ทดลอง 22; เปรียบเทียบ 23) กลุ่ม HT คัดเลือกเบื้องต้น 65 คน ไม่เข้าร่วม 10 คน เหลือ 55 คน (ทดลอง 28; เปรียบเทียบ 27) รวมผู้เข้าร่วม 100 คน กลุ่มละ 50 คน

Variables and Data Collection

ข้อมูลพื้นฐานของผู้ป่วยกลุ่มตัวอย่าง ประกอบด้วย อายุ เพศ ตำบล CKD stage โรคร่วม จำนวนยา ประวัติ telemedicine ระยะทางและข้อจำกัดการเดินทาง ผลลัพธ์หลักเฉพาะโรคคือ HbA1c ใน DM-based cohort และ SBP ใน HT-based cohort ผลลัพธ์รอง ได้แก่ FBS, DBP, LDL-C และ eGFR ตลอดจนความต่อเนื่องในการรับบริการ ความปลอดภัย ค่าใช้จ่ายและเวลาของผู้ป่วย/ครัวเรือน ความพึงพอใจในบริการที่ได้รับ และตัวชี้วัดระบบบริการ

ทำการรวบรวมข้อมูลผลลัพธ์ทางคลินิกที่ T0, T3 และ T6 ตาม routine care ทั้งนี้ HbA1c, eGFR และ LDL-C ไม่ได้บังคับตรวจทุก 3 เดือนในผู้ป่วยที่อาการคงที่หากไม่มีข้อบ่งชี้ทางคลินิก ค่าที่ไม่มีใน T3 จึงถือเป็น planned/routine-care missingness ไม่ใช่ loss to follow-up และไม่ใช้ last observation carried forward ผู้เข้าร่วมการวิจัยทั้ง 100 คน ได้รับการติดตามสถานะครบจาก T0 ถึงT6

ด้านภาระเศรษฐศาสตร์ระดับผู้ป่วย/ครัวเรือน ประกอบด้วยค่าเดินทาง ค่าใช้จ่ายอื่น เวลาที่เสีย รายได้ผู้ป่วยและผู้ดูแลที่เสียจริง และค่าใช้จ่ายรวม โดยรายได้ที่เสียจริงหมายถึงค่าแรงที่สูญเสียจากการหยุดงาน ไม่ตีมูลค่าเวลาที่ไม่สามารถประเมินเป็นเงินได้อย่างน่าเชื่อถือ ต้นทุนส่วนเพิ่มของ อบต. รพ.สต. และ อสม. ไม่สามารถแยกจากภารกิจประจำได้ จึงไม่สรุปเป็น health-system cost saving

ส่วนความพึงพอใจในบริการที่ได้รับ ประเมินด้วยแบบ 5-item Likert scale ที่ T3 และ T6 ครอบคลุมความพึงพอใจโดยรวม ความสะดวก การประหยัดเวลา ความเชื่อมั่นและความต้องการใช้บริการต่อ ข้อมูลตัวชี้วัดระบบบริการรวบรวมทุก clinic date ได้แก่ จำนวนผู้ป่วย onsite/telemedicine เวลารอพบแพทย์มัธยฐาน เวลารวมบริการมัธยฐาน จำนวนขาดนัด และจำนวนแพทย์ที่ตรวจ NCD clinic

Table 2 Outcome Variables, Assessment Timepoints, and Data Sources

Domain	Main variables	Timepoint/frequency	Data source
Clinical – DM	HbA1c (primary DM), FBS, LDL-C	T0, T3*, T6 (*according to routine laboratory schedule)	HOSxP/Laboratory/record form
Clinical – HT	SBP (primary HT), DBP, LDL-C	T0, T3, T6	HOSxP/record form
Clinical – CKD subset	eGFR	T0, T3*, T6 (*as clinically indicated)	HOSxP/Laboratory
Continuity/safety	Medication gaps, ER visit/admission, conversion to onsite/ER	History at T0; T3; T6; and throughout the study	HOSxP/record form
Patient/household economic	Travel cost, other expenses, time loss, actual income loss	T0, T3, T6	Questionnaire
Satisfaction	5-item Likert scale and suggestions	T3, T6	Questionnaire
System-level	Onsite/telemedicine volume, waiting time, total service time, missed appointments	Every clinic date	Clinic registry/records
Qualitative	Opinions, experiences, barriers, feasibility, system adaptations, sustainability, and policy suggestions	Three stakeholder meetings: 16 Feb, 29 May, and 3 Sep 2026	Meeting/focus-group records

Note: T0 = baseline before implementation; T3 = approximately 3 months; T6 = approximately 6 months; DM = diabetes mellitus; HT = hypertension; CKD = chronic kidney disease; ER = emergency room.

Statistical Analysis

วิเคราะห์ข้อมูลด้วย Python 3.13 โดยใช้ SciPy และ statamodels กำหนดนัยสำคัญแบบ two-sided ที่ $p<0.05$ รายงานด้วย mean±SD และจำนวน/ร้อยละ ตามชนิดข้อมูล เปรียบเทียบ baseline ด้วย Welch t-test, Chi-square หรือ Fisher exact test ตามความเหมาะสม สำหรับผลลัพธ์ T0-T6 ใช้ complete-case ของผลลัพธ์นั้น เปรียบเทียบ change score ระหว่างกลุ่มด้วย Welch t-test และทำ sensitivity ANCOVA ที่ T6 โดยปรับ baseline outcome อายุ เพศ และ CKD สำหรับผลลัพธ์หลัก

ด้านค่าใช้จ่ายและเวลา วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระหว่าง T0–T6 ความพึงพอใจวิเคราะห์ระหว่าง T3–T6 สำหรับ system–level outcomes เปรียบเทียบ clinic dates ก่อนมี integrated telemedicine กับวันที่มี telemedicine และใช้ exploratory multivariable linear regression ปรับจำนวนผู้ป่วย onsite จำนวนแพทย์ และประเภทคลินิก ในการวิเคราะห์ข้อมูลระดับคลินิกถือเป็น exploratory เนื่องจากมี time–varying confounding สำหรับข้อมูลเชิงคุณภาพทำการวิเคราะห์ด้วย content analysis โดยวิเคราะห์แยกตามประเด็นความคิดเห็น ปัญหา ข้อเสนอ และการปรับระบบที่เกิดขึ้นจริงตามช่วงเวลา

Ethical Considerations

การวิจัยครั้งนี้ได้ผ่านคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ของสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดฉะเชิงเทรา ได้รับการรับรองจริยธรรมการวิจัย รหัสโครงการวิจัยอ้างอิงเลขที่ PH_CCO_REC 058/2568 วันที่รับรอง 13 ตุลาคม 2568

Results

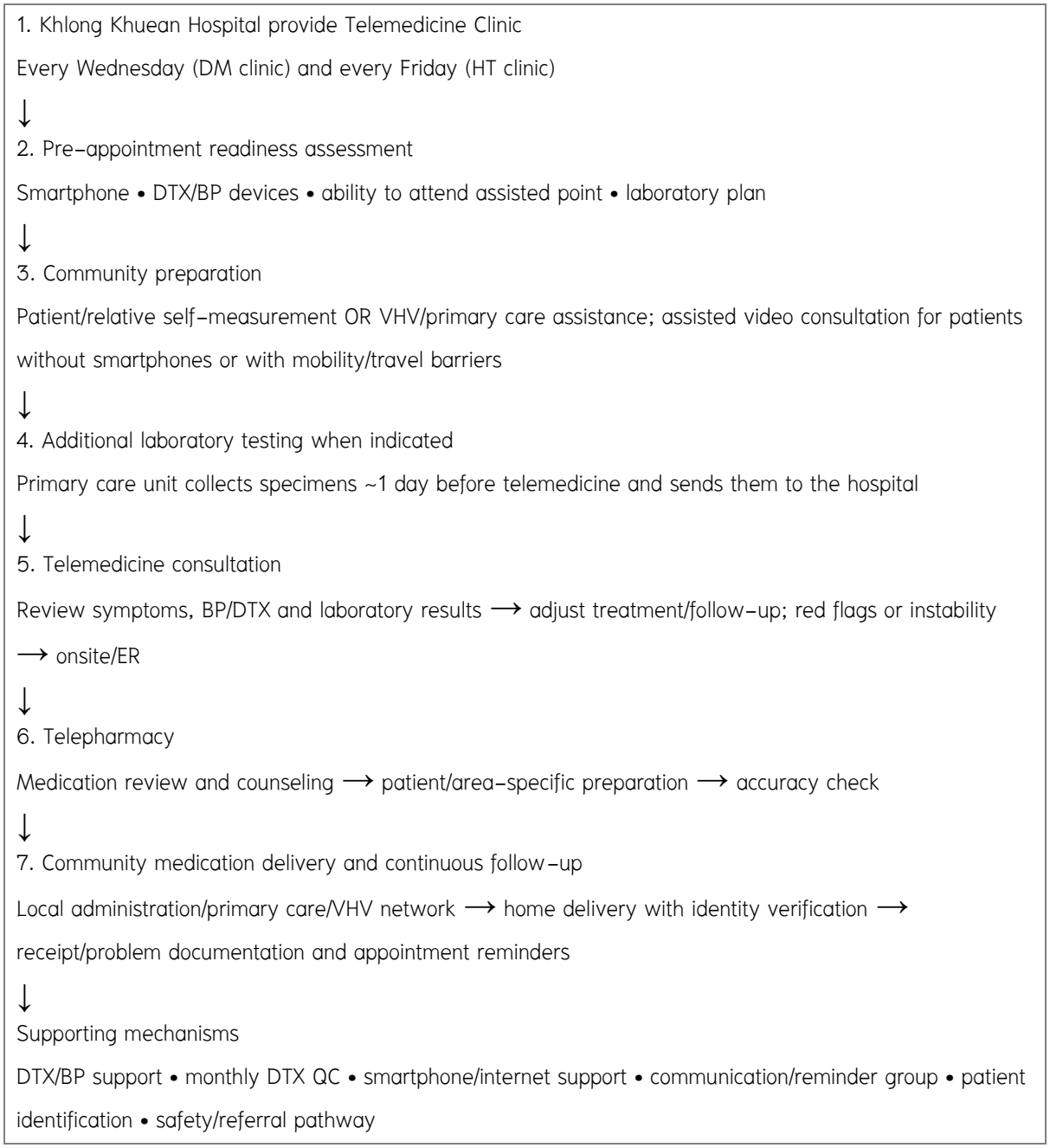
Iterative System Development

การพัฒนารูปแบบผ่านการประชุมผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย 3 ครั้ง มีบันทึกประเด็นรวม 24 ประเด็น แบ่งเป็นก่อนเริ่มระบบ 11 ประเด็น ระหว่างดำเนินงาน 7 ประเด็น และหลังครบ 6 เดือน 6 ประเด็น ในระยะแรก ประเด็นสำคัญที่ใช้กำหนดรูปแบบตั้งต้น ได้แก่ อุปกรณ์ DTX/BP ไม่เพียงพอ การควบคุมคุณภาพ DTX ความจำเป็นที่แพทย์และเภสัชกรต้องเห็นและสื่อสารกับผู้ป่วยผ่าน video call การสร้างกลุ่มสื่อสารระหว่างหน่วยงาน การจัดผู้ป่วยตำบลเดียวกันในวันนัดเดียวกัน และการป้องกันการส่งยาผิดคน เมื่อเริ่มนำรูปแบบไปใช้ ประเด็นจากการปฏิบัติงานจริงถูกนำกลับเข้าสู่การประชุมครั้งที่ 2 เพื่อปรับ workflow ก่อนสรุปเป็นรูปแบบหลังการประชุมครั้งที่ 3

การปรับระบบที่เกิดขึ้นจริงจากกระบวนการพัฒนา ได้แก่ โรงพยาบาลสนับสนุนเครื่อง DTX/BP ระหว่างรอการจัดสรรงบประมาณ รพ.สต.ทำ QC DTX ทุกเดือน ใช้ assisted video call โดย อสม.สำหรับผู้ที่ไม่มี smartphone ใช้ telepharmacy ผ่าน video call สร้างกลุ่มสื่อสารระหว่างหน่วยงาน วางระบบนัดและเตรียมยาล่วงหน้า และตรวจสอบตัวตนผู้รับยาก่อนส่งมอบ ระหว่างดำเนินงานยังได้เพิ่มแนวทางสำหรับผู้ป่วยที่เดินไม่ได้และระบบแจ้งเตือนนัด หลังครบ 6 เดือน ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียเห็นว่าภาระงานที่เพิ่มขึ้นจากบริการทางการแพทย์ทางไกลไม่มากเมื่อเทียบกับประโยชน์โดยรวม และเสนอให้พิจารณาขยายบริการไปยังผู้ป่วยกลุ่มอื่นที่มีอาการคงที่และมีข้อจำกัดในการเดินทาง โดยให้ รพ.สต.ประเมินเบื้องต้นและเชื่อม video call กับแพทย์ รูปแบบสุดท้ายที่ได้หลังการประชุมครั้งที่ 3 แสดงดังภาพ 1

Participant Selection and Baseline Characteristics

ผู้ป่วยที่เข้าร่วมวิจัยทั้ง 100 คน ได้รับการติดตามและรวบรวมข้อมูลครบที่ T0, T3 และ T6 แบ่งเป็น intervention 50 คน (DM–based 22, HT–based 28) และ control 50 คน (DM–based 23, HT–based 27) ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะพื้นฐานของกลุ่ม intervention และของกลุ่ม control พบว่า ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นความยากลำบากในการเดินทางไปรับบริการที่โรงพยาบาลซึ่งกลุ่ม intervention ระบุว่ามีมากกว่า (20.0% เทียบกับ 2.0% ในกลุ่ม control, p=0.008) ดังตารางที่ 3



195-Figure 1 Final Workflow of the Community-Integrated Telemedicine Care Model after the Third Stakeholder Meeting

Table 3 Baseline characteristics of the study participants

Variable	Intervention group (n=50)	Control group (n=50)	p-value
Age, years	64.06 ± 13.51	66.00 ± 10.62	0.427
Number of medications	2.00 ± 0.90	2.02 ± 0.96	0.915
Distance to hospital, km	6.10 ± 2.41	5.62 ± 2.40	0.321
Male, n (%)	26 (52.0)	31 (62.0)	0.419
DM-based cohort, n (%)	22 (44.0)	23 (46.0)	1.000
CKD, n (%)	34 (68.0)	39 (78.0)	0.368
Difficulty traveling to hospital, n (%)	10 (20.0)	1 (2.0)	0.008

Clinical Outcomes and Safety

ในกลุ่มผู้ป่วย DM-based cohort พบว่าทั้งกลุ่ม intervention และกลุ่ม control มี HbA1c เพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ค่า HbA1c ที่เพิ่มขึ้นของทั้ง 2 กลุ่มไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ (p=0.750) ที่ T6 ผู้ป่วยทุกคนมี HbA1c <7.5% และร้อยละ 95.5 ของ intervention กับร้อยละ 91.3 ของ control มี HbA1c <7.0% ส่วนค่า FBS ที่ T6 ลดลงจาก T0 ทั้งสองกลุ่ม โดยการลดลงของทั้ง 2 กลุ่ม ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p=0.166)

ส่วนในกลุ่ม HT-based cohort พบว่า ค่า SBP ลดลงเฉลี่ย 9.79 mmHg ในกลุ่ม intervention เทียบกับ 1.63 mmHg ที่ลดลงในกลุ่ม control โดยมีความแตกต่างของ change score ของทั้ง 2 กลุ่ม เท่ากับ −8.16 mmHg (p=0.005) และจากการวิเคราะห์ Sensitivity ANCOVA ที่ T6 ซึ่งปรับ baseline SBP ด้าน อายุ เพศ และ CKD ให้ผลที่สอดคล้องกัน โดยกลุ่ม intervention มี SBP ต่ำกว่ากลุ่ม control 16.02 mmHg (95% CI −23.25 ถึง −8.80; p<0.001) และสัดส่วน SBP <130 mmHg เพิ่มจาก 42.9% เป็น 89.3% ในกลุ่ม intervention ขณะที่กลุ่ม control เพิ่มจาก 25.9% เป็น 29.6% ส่วน DBP ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

นอกจากนี้ ไม่พบวันขาดยา การเข้าห้องฉุกเฉิน/นอนโรงพยาบาล ที่เกี่ยวข้องกับ NCD-related clinical instability ตามนิยามความปลอดภัย หรือ conversion จาก telemedicine ไป onsite/ER ในผู้เข้าร่วมวิจัยทั้งสองกลุ่มตลอด 6 เดือนของการดำเนินงานวิจัย ผลด้านความปลอดภัยนี้ใช้ได้เฉพาะประชากร clinically stable ที่ผ่านเกณฑ์คัดเลือก

Table 4 Clinical Outcomes from T0 to T6

Outcome	Intervention group at T0	Intervention group at T6	Control group at T0	Control group at T6	Δ change	p	95% CI ของ Δ change (I – C)
HbA1c, % (DM)	5.93 ± 0.60	6.26 ± 0.52	5.87 ± 0.63	6.15 ± 0.54	+0.05	0.750	–0.26 ถึง +0.36
FBS, mg/dL (DM)	123.64 ±19.25	113.41 ± 11.97	141.09 ± 25.21	124.43 ± 15.38	+6.42	0.166	–2.79 ถึง +15.64
SBP, mmHg (HT)	128.71 ± 9.76	118.93 ± 7.28	134.67 ± 8.93	133.04 ± 9.23	–8.16	0.005	–13.67 ถึง –2.64
DBP, mmHg (HT)	73.86 ± 8.82	78.18 ± 5.57	78.52 ± 7.76	78.41 ± 7.52	+4.43	0.102	–0.91 ถึง +9.77
LDL–C, mg/dL (DM)	99.91 ± 27.37	96.82 ± 16.78	94.27 ± 20.31	94.36 ± 14.57	–3.18	0.461	–11.83 ถึง +5.47
LDL–C, mg/dL (HT)	124.64 ±26.48	116.56 ± 21.45	122.59 ± 34.03	113.07 ± 23.86	+1.44	0.714	–6.41 ถึง +9.28
eGFR, (DM)	87.60 ± 17.89	88.33 ± 15.94	93.80 ± 15.24	93.69 ± 15.76	+0.85	0.563	–2.08 ถึง +3.78
eGFR (HT)	87.39 ± 21.28	86.97 ± 18.32	91.15 ± 11.75	88.68 ± 10.48	+2.05	0.268	–1.64 ถึง +5.74

Note: Δchange = between–group difference in change from T0 to T6; unmeasured T3 laboratory values under routine care were treated as planned missingn ess.

Patient/Household Burden and Service Outcomes

ภาระค่าใช้จ่ายและเวลาของผู้ป่วย/ครัวเรือนลดลงอย่างชัดเจนในกลุ่ม intervention โดยค่าใช้จ่ายรวมลดจาก 421.6 บาท เป็น 3.0 บาทต่อครั้ง ในขณะที่ กลุ่มcontrol มีค่าใช้จ่ายในการไปรับบริการเท่ากับ 408.0 บาททั้ง T0 และ T6 โดยค่าใช้จ่ายของกลุ่ม intervention ลดลงมากกว่ากลุ่ม control –418.6 บาทต่อการไปรับบริการแต่ละครั้งอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.001) และเวลาที่ใช้ไปในการไปรับบริการลดลงมากกว่ากลุ่ม control 3.72 ชั่วโมงต่อครั้ง (p<0.001) ผลดังกล่าวเป็น patient/household economic saving ไม่ใช่ health–system cost saving ดังตารางที่ 5

Table 5 Patient/Household Economic Burden

Variable	Intervention group at T0	Intervention group at T6	Control group at T0	Control group at T6	Δchange	p
Travel cost, THB/encounter	66.6	3.0	68.8	68.8	–63.6	<0.001
Time loss, hours/encounter	4.40	0.00	4.10	3.42	–3.72	<0.001
Actual patient income loss, THB/encounter	219.0	0.0	269.2	269.2	–219.0	<0.001
Actual caregiver income loss, THB/encounter	136.0	0.0	70.0	70.0	–136.0	0.001
Total cost, THB/encounter	421.6	3.0	408.0	408.0	–418.6	<0.001

ข้อมูล clinic–date มี 47 วัน โดย 10 วันแรกยังไม่มี integrated telemedicine และ 37 วันต่อมามี telemedicine เวลารอพบแพทย์เฉลี่ยของค่ามัธยฐานรายวันลดจาก 65.29 เป็น 50.32 นาที ขณะที่เวลารวมบริการเฉลี่ย 165.23 เทียบกับ 166.93 นาที และจำนวนขาดนัดเฉลี่ย 9.30 เทียบกับ 9.97 คน/วัน Exploratory regression ที่ปรับจำนวนผู้ป่วย onsite จำนวนแพทย์ และประเภทคลินิก พบช่วงที่มี integrated telemedicine สัมพันธ์กับเวลารอพบแพทย์ลดลงประมาณ 13.96 นาที แต่ยังไม่ถึงนัยสำคัญ (p=0.069) และไม่สัมพันธ์กับเวลารวมบริการอย่างมีนัยสำคัญ (p=0.392)

Satisfaction and Stakeholder Experience

คะแนนความพึงพอใจเฉลี่ยของกลุ่ม intervention เพิ่มจาก 3.79±0.23 ที่ T3 เป็น 4.84±0.19 ที่ T6 (p<0.001) ส่วนกลุ่ม control เพิ่มจาก 3.57±0.26 เป็น 4.40±0.21 (p<0.001) การเพิ่มขึ้นของคะแนนความพึงพอใจของกลุ่ม intervention มากกว่าของกลุ่ม control เฉลี่ย 0.23 คะแนน (p<0.001) นอกจากนี้ผู้ป่วย/ผู้ดูแลในกลุ่ม intervention ได้ให้ความเห็นในทางที่สนับสนุนประโยชน์ของการรับบริการทางการแพทย์ทางไกลด้านการไม่ต้องเสียค่าเดินทาง การลดเวลารอ/เดินทาง และไม่ต้องเสียเวลาหยุดงาน ขณะที่ รพ.สต. อสม. และ อบต. เห็นว่าการให้บริการทางการแพทย์ทางไกลไม่ได้เพิ่มภาระงานมาก เมื่อเทียบกับประโยชน์โดยรวม

Discussion

การศึกษานี้แสดงให้เห็นทั้งกระบวนการพัฒนาและผลการประเมิน Community–Integrated Telemedicine Care Model ในบริการจริง โดยการมีส่วนร่วมของเครือข่ายระดับอำเภอและการนำปัญหาระหว่างดำเนินงานกลับมาปรับ workflow ทำให้ได้รูปแบบที่รองรับทั้งผู้ป่วยที่มีอุปกรณ์และผู้ที่ต้องใช้ assisted telemedicine เมื่อประเมินประสิทธิผลในผู้ป่วย NCDs ที่อาการคงที่ ผลเด่นอยู่ที่การลดภาระเวลาและค่าใช้จ่ายของครัวเรือน การสนับสนุนความต่อเนื่องของบริการ และการลด SBP ในกลุ่ม HT–based cohort ขณะที่ HbA1c ไม่ลดลงแต่เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ทั้งสองกลุ่มโดยไม่มีความแตกต่างระหว่างกลุ่ม การตีความ HbA1c ควรคำนึงว่าผู้ป่วย DM ถูกคัดจากกลุ่ม stable และมีค่าเริ่มต้นต่ำอยู่แล้ว จึงมี room for improvement จำกัด ซึ่งสอดคล้องกับ systematic review ที่พบว่า ผู้ที่มี HbA1c สูงกว่ามีแนวโน้มจะได้ประโยชน์จาก telemedicine มากกว่า (Hangaard et al., 2023) และแนวทางไทยสนับสนุน individualized targets โดยเฉพาะผู้สูงอายุ (Diabetes Association of Thailand et al., 2024)

ผล SBP สอดคล้องกับหลักฐาน systematic review/meta–analysis ที่สนับสนุน digital health/telemedicine ในการจัดการความดันโลหิต (Sakima et al., 2025) และแนวทางความดันโลหิตสูงไทย พ.ศ. 2567 (Thai Hypertension Society, 2024) อย่างไรก็ตาม baseline SBP ของกลุ่ม intervention ต่ำกว่า ของกลุ่ม control อยู่แล้วการสรุปผลจึงอาศัย change score และ sensitivity ANCOVA มากกว่าการเปรียบเทียบ T6 แบบดิบ และไม่ควรตีความเป็น causal effect ที่ปราศจาก residual confounding

ผลด้านเศรษฐศาสตร์มีขนาดมากเนื่องจากการรับบริการแบบ telemedicine ลดความจำเป็นในการเดินทางและการหยุดงานสำหรับนัดติดตามตามปกติ ผลนี้สะท้อน patient/household saving ที่ไม่ใช่ต้นทุนของระบบสุขภาพ การทบทวนก่อนหน้าชี้ว่าความคุ้มค่าของ telehealth ขึ้นอยู่กับโครงสร้างบริการและมุมมองในการคำนวณต้นทุน (Snoswell et al., 2020) การศึกษานี้จึงไม่ตีมูลค่าทรัพยากรของ อบต. รพ.สต. และ อสม. ที่ผนวกอยู่กับงานประจำ

เวลารอพบแพทย์ระดับคลินิกมีแนวโน้มลดลง แต่เวลารวมบริการและจำนวนขาดนัดไม่ได้ดีขึ้นอย่างชัดเจน และผล regression ยังไม่ถึงนัยสำคัญทางสถิติ จึงไม่ควรสรุปว่า telemedicine เป็นสาเหตุโดยตรงของการลดเวลารอในโรงพยาบาลชุมชนจำนวนผู้ป่วย จำนวนแพทย์ การลา/ประชุม ภาระ ER/IPD และเหตุฉุกเฉินเปลี่ยนแปลงตามเวลา และเป็นปัจจัยกวนสำคัญ

องค์ประกอบสำคัญที่เกิดจากกระบวนการพัฒนารูปแบบคือ assisted telemedicine ซึ่งลด digital barrier โดยไม่กำหนดว่าผู้ป่วยต้องมี smartphone หรืออุปกรณ์วัดของตนเอง การมี อสม./รพ.สต.ช่วยเตรียมข้อมูล เชื่อม video call และสนับสนุนการส่งยา ทำให้ผู้สูงอายุหรือผู้มีข้อจำกัดด้านเทคโนโลยียังเข้าถึงบริการได้ ขณะเดียวกัน telepharmacy, quality control, patient identification และ safety/referral pathway ช่วยทำให้การดูแลทางไกลเชื่อมต่อกับระบบบริการเดิมอย่างเป็นรูปธรรม ประเด็นด้าน assisted telemedicine ตอบข้อกังวลเรื่อง digital divide ใน telehealth (Choxi et al., 2022) และอาจอธิบายความพึงพอใจที่สูงขึ้นร่วมกับการลดภาระการเดินทาง (Kruse et al., 2017)

ข้อจำกัดสำคัญของการวิจัยนี้ ได้แก่ การจัดสรรกลุ่มแบบไม่สุ่มด้วย alternating allocation และ baseline travel barrier ไม่สมดุล ซึ่งอาจเกิด allocation bias และ residual confounding; ขนาดตัวอย่างย่อย DM/HT ค่อนข้างเล็ก; การคัดเฉพาะ clinically stable มีข้อจำกัดในการนำผลไปใช้กับผู้ป่วยไม่คงที่; ข้อมูล HbA1c/eGFR/LDL–C บาง timepoint เป็น planned missingness ตาม routine care; การติดตามระยะ 6 เดือน; clinic–level outcomes มี time–varying confounders; และไม่มี micro–costing ของต้นทุนระบบ/ผู้ให้บริการ นอกจากนี้ไม่ได้เก็บ de–intensification ที่เป็นตัวแปรระดับบุคคล จึงไม่สามารถระบุสาเหตุของการเปลี่ยน HbA1c รายคนได้

จุดแข็งคือการพัฒนารูปแบบจากบริการจริงโดยผู้มีส่วนได้ส่วนเสียหลายภาคส่วน มี comparison group จากประชากรที่ผ่านเกณฑ์ใกล้เคียงกัน ติดตามสถานะผู้เข้าร่วมครบ 100% และประเมินหลายมิติ ทั้งคลินิก ความปลอดภัย เศรษฐศาสตร์ครัวเรือน ความพึงพอใจ กระบวนการบริการ และข้อมูล implementation เชิงคุณภาพ พร้อมนำผลระหว่างดำเนินงานกลับมาปรับระบบตามแนวคิด R&D

Conclusion and Discussion

การพัฒนา Community–Integrated Telemedicine Care Model ผ่านการมีส่วนร่วมของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียและการปรับระบบเป็นวงรอบ ทำให้ได้รูปแบบการดูแลผู้ป่วยโรคไม่ติดต่อเรื้อรังที่เชื่อมโรงพยาบาลกับเครือข่ายชุมชนผ่านกลไกคณะกรรมการพัฒนาคุณภาพชีวิตระดับอำเภอคลองเขื่อน เมื่อประเมินในบริการจริง รูปแบบมีความเป็นไปได้ในการใช้กับผู้ป่วย T2DM/HT ที่อาการคงที่ โดยคงการควบคุมเบาหวานให้อยู่ในช่วงเป้าหมายรายบุคคล ลด SBP ในกลุ่ม HT–based cohort และลดภาระค่าเดินทาง ระยะเวลาในการไปรับบริการ และรายจ่ายของผู้ป่วย/ครัวเรือน ผู้รับบริการมีความพึงพอใจสูงและไม่พบเหตุการณ์ด้านความปลอดภัยตามนิยามที่กำหนดในช่วงติดตาม 6 เดือน การขยายผลควรคงองค์ประกอบสำคัญของรูปแบบ ได้แก่ assisted telemedicine, telepharmacy, quality control, patient identification และ safety/referral pathway และควรมีการประเมินระยะยาวในประชากรและบริบทที่กว้างขึ้น

Acknowledgements

ขอขอบคุณคณะกรรมการพัฒนาคุณภาพชีวิตระดับอำเภอคลองเขื่อน บุคลากรโรงพยาบาลคลองเขื่อน สำนักงานสาธารณสุขอำเภอ โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล อาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ผู้ป่วยและผู้ดูแลทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการพัฒนาและดำเนินระบบ

References

Choxi, H., VanDerSchaaf, H., Li, Y., & Morgan, E. (2022). Telehealth and the digital divide: Identifying potential care gaps in video visit use. *Journal of Medical Systems, 46*(9), 58.

Des Jarlais, D. C., Lyles, C., & Crepaz, N., TREND Group. (2004). Improving the reporting quality of nonrandomized evaluations of behavioral and public health interventions: The TREND statement. *American Journal of Public Health, 94*(3), 361–366.

Diabetes Association of Thailand, The Endocrine Society of Thailand, Department of Medical Services, Ministry of Public Health, & National Health Security Office. (2024). *Clinical practice guideline for diabetes 2023* (revised February 2024). (in Thai)

Hangaard, S., Laursen, S. H., Andersen, J. D., Kronborg, T., Vestergaard, P., Hejlesen, O., et al. (2023). The effectiveness of telemedicine solutions for the management of type 2 diabetes: A systematic review, meta–analysis, and meta–regression. *Journal of Diabetes Science and Technology, 17*(3), 794–825. https://doi.org/10.1177/19322968211064633

Khlong Khuean Hospital. (2026). *HOSxP NCD registry and Khlong Khuean District health service data*, 2026 [Unpublished administrative data]. Chachoengsao, Thailand.

Kruse, C. S., Krowski, N., Rodriguez, B., Tran, L., Vela, J., & Brooks, M. (2017). Telehealth and patient satisfaction: A systematic review and narrative analysis. *BMJ Open, 7*(8), e016242.

Ministry of Public Health Thailand. (2017). *eHealth strategy, Ministry of Public Health (2017–2026*). Nonthaburi, Thailand.

Ministry of Public Health Thailand. (2021*). Digital health strategy, Ministry of Public Health (2021–2025).* Nonthaburi, Thailand.

Sakima, A., Akagi, Y., Akasaki, Y., Fujii, T., Haze, T., Kawakami-Mori, F., et al. (2025). Effectiveness of digital health interventions for telemedicine/telehealth for managing blood pressure in adults: A systematic review and meta-analysis. *Hypertension Research, 48*(2), 478–491. https://doi.org/10.1038/s41440-024-01792-7

Şahin, E., Yavuz Veizi, B. G., & Naharci, M. I. (2024). Telemedicine interventions for older adults: A systematic review. *Journal of Telemedicine and Telecare, 30*(2), 305–319.

Snoswell, C. L., Taylor, M. L., Comans, T. A., Smith, A. C., Gray, L. C., & Caffery, L. J. (2020). Determining if telehealth can reduce health system costs: Scoping review. *Journal of Medical Internet Research, 22*(10), e17298.

Thai Hypertension Society. (2024). *2024 Thai guidelines on the treatment of hypertension*. (in Thai)

Tong, A., Sainsbury, P., & Craig, J. (2007). Consolidated criteria for reporting qualitative research (COREQ): A 32-item checklist. *International Journal for Quality in Health Care, 19*(6), 349–357.

United Nations Development Programme, World Health Organization, Ministry of Public Health Thailand, & United Nations Interagency Task Force on NCDs. (2021). *Prevention and control of noncommunicable diseases in Thailand: The case for investment*. Bangkok, Thailand.

von Elm, E., Altman, D. G., Egger, M., et al. (2007). The STROBE statement: Guidelines for reporting observational studies. *The Lancet, 370*(9596), 1453–1457.

World Health Organization. (2025a). *Noncommunicable diseases.* Geneva, Switzerland.

World Health Organization. (2025b). *Global strategy on digital health 2020–2027.* Geneva, Switzerland.

World Health Organization Thailand. (n.d.). *Noncommunicable diseases: Health in all public policies for the prevention and control of NCDs*. Bangkok, Thailand.

การท่องเที่ยวเชิงอายุยืน: การสังเคราะห์วรรณกรรมอย่างเป็นระบบและทิศทางการวิจัยในบริบทประเทศไทย

วารัชต์ มัธยมบุรุษ[1*], กิตติพิชญ์ กิตติพรไพบูลย์[1] และ ธนาภรณ์ ภู่พฤกษชาติ[2]

Longevity Tourism: A Systematic Literature Synthesis and Research Directions in the Thai Context

Warach Madhyamapurush[1*], Kittipit Kittipornpaiboon[1] and Tanaporn Pooprueksachat [2]

[1] Department of Tourism and Hotel Management, School of Business and Communication Arts, University of Phayao, Phayao, 56000

[2] UOE Low Carbon Tourism and Hotel Management, School of Business and Communication Arts, University of Phayao, Phayao, 56000

[*] Corresponding author: warachm@gmail.com

Received: 12 March 2026; Revised: 16 May 2026; Accepted: 6 July 2026

บทคัดย่อ

การท่องเที่ยวเชิงอายุยืน (Longevity Tourism) เป็นสาขาวิจัยที่กำลังเติบโตอย่างรวดเร็วภายใต้กระแสสังคมผู้สูงอายุและความตื่นตัวด้านสุขภาพของประชากรโลก บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) สังเคราะห์วรรณกรรมเกี่ยวกับการท่องเที่ยวเชิงอายุยืนอย่างเป็นระบบ (2) วิเคราะห์Research Gapในบริบทเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยเฉพาะประเทศไทย และ (3) นำเสนอกรอบแนวคิดบูรณาการและทิศทางการวิจัยในอนาคต ผู้วิจัยใช้กระบวนการ Systematic Literature Synthesis (SLS) โดยค้นหาจากฐานข้อมูล Scopus, Web of Science, PubMed และ Google Scholar ด้วยชุดคำสำคัญที่กำหนดไว้ล่วงหน้า คัดกรองตามเกณฑ์ PICOS ได้งานที่ผ่านเกณฑ์จำนวน 25 งาน จากงานที่พบทั้งหมด 889 รายการ ผลการสังเคราะห์จัดกลุ่มเนื้อหาออกเป็นห้าประเด็น ได้แก่ นิยามและกรอบทฤษฎี พื้นที่อายุยืนและการท่องเที่ยว ผลกระทบต่อสุขภาพผู้สูงอายุ การแพทย์บูรณาการและการท่องเที่ยว และบริบทเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ พบว่างานวิจัยทางฝั่งเอเชียมักเชื่อมโยงกับพื้นที่อายุยืน (Blue Zone) ในขณะที่งานวิจัยตะวันตกเน้นมิติการออกแบบบริการและนโยบายสำหรับสังคมอายุยืน ช่องว่างสำคัญที่พบ ได้แก่ การขาดงานวิจัยเชิงประจักษ์ในบริบทไทย

การออกแบบการวิจัย และการขาดกรอบทฤษฎีที่เฉพาะเจาะจงสำหรับ Longevity Tourism บทความนี้จึงเสนอกรอบแนวคิดบูรณาการ (Integrative Longevity Tourism Framework : ILTF) เพื่อเป็นฐานสำหรับการวิจัยเชิงประจักษ์ในบริบทไทยต่อไป

คำสำคัญ: การท่องเที่ยวเชิงอายุยืน, การท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ, สังคมผู้สูงอายุ, การสังเคราะห์วรรณกรรมอย่างเป็นระบบ, ประเทศไทย

---

[1] สาขาการจัดการการท่องเที่ยวและการโรงแรม คณะบริหารธุรกิจและนิเทศศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

[2] หน่วยวิจัย การจัดการการท่องเที่ยวและโรงแรมแบบคาร์บอนต่ำ คณะบริหารธุรกิจและนิเทศศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวะดพะเยา 56000

Abstract

Longevity Tourism is a rapidly growing research domain driven by global population ageing and heightened health consciousness. This article aims to (1) systematically synthesize the literature on longevity tourism; (2) identify research gaps in the Southeast Asian context, particularly Thailand; and (3) propose an integrative conceptual framework and future research directions. The authors employed a Systematic Literature Synthesis (SLS) protocol, searching Scopus, Web of Science, PubMed, and Google Scholar using pre-specified keyword strings, and screening results against PICOS criteria. A total of 25 works were included from 889 initially identified records. Synthesized findings were organized into five thematic clusters: definitional and theoretical foundations; Blue Zone tourism; health impacts on older tourists; integrative medicine and tourism; and Southeast Asian contexts. Asian scholarship predominantly situates longevity tourism within recognized longevity regions, while Western scholarship foregrounds service design and policy for ageing societies. Critical gaps identified include a near-absence of empirical work in the Thai context, a dearth of longitudinal research designs, and the lack of a domain-specific theoretical framework for Longevity Tourism. This article proposes the Integrative Longevity Tourism Framework (ILTF) as a foundation for future empirical inquiry in Thailand.

Keywords: Longevity Tourism, Health Tourism, Ageing Society, Systematic Literature Synthesis, Thailand

Introduction

ปรากฏการณ์สังคมผู้สูงอายุถือเป็นหนึ่งในความเปลี่ยนแปลงด้านประชากรศาสตร์ที่สำคัญที่สุดของศตวรรษที่ 21 องค์การอนามัยโลกรายงานว่าประชากรโลกที่มีอายุ 60 ปีขึ้นไปจะเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าภายในปี พ.ศ. 2593 คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 22 ของประชากรทั้งหมด (World Health Organization, 2021) ควบคู่กับการขยายอายุขัย ความต้องการบริการด้านสุขภาพและคุณภาพชีวิตของกลุ่มประชากรผู้สูงอายุที่มีสุขภาพดีและกำลังซื้อสูงก็เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (European Parliament, 2025) ส่งผลให้เกิดแนวคิด Longevity Economy หรือเศรษฐกิจที่ขับเคลื่อนโดยกลุ่มผู้สูงอายุที่ยังคงกระฉับกระเฉง

ภายใต้กระแสดังกล่าว การท่องเที่ยวเชิงอายุยืน (Longevity Tourism) ได้ถือกำเนิดเป็นสาขาย่อยของการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ (Health Tourism) ที่ผสมผสานประสบการณ์การท่องเที่ยวเข้ากับกิจกรรมส่งเสริมสุขภาพแบบองค์รวมทั้งร่างกาย จิตใจ และสังคม เพื่อเป้าหมายยืดอายุขัยอย่างมีคุณภาพ (Hu et al., 2023) Global Wellness Institute (2026) รายงานว่าตลาดการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพของไทยมีมูลค่าสูงถึง 14,000 ล้านดอลลาร์สหรัฐ ในปี พ.ศ. 2567 โดยเติบโตร้อยละ 36.4 ซึ่งสูงกว่าค่าเฉลี่ยโลกถึงสามเท่า

อย่างไรก็ตาม แม้จะมีองค์ความรู้สะสมเกี่ยวกับการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพในบริบทของประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน ประเทศญี่ปุ่น และประเทศในยุโรปอย่างกว้างขวาง งานวิจัยที่เฉพาะเจาะจงเกี่ยวกับ Longevity Tourism ในบริบทของไทยและเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ยังคงมีน้อยมาก (Nergiz & Toker, 2025; Patterson & Balderas-Cejudo, 2023) ทั้งที่ประเทศไทยมีจุดแข็งเฉพาะตัวทั้งด้านการแพทย์แผนไทย ระบบสาธารณสุขคุณภาพสูงในราคาเข้าถึงได้ และมรดกทางวัฒนธรรมด้านสุขภาพและจิตวิญญาณที่ตอบโจทย์ความต้องการของนักท่องเที่ยวกลุ่มนี้ได้อย่างครบถ้วน นอกจากนี้ งานสังเคราะห์

วรรณกรรมส่วนใหญ่ที่ผ่านมาขาดกระบวนการอย่างเป็นระบบ (Systematic Process) ในการคัดเลือกงานและการจัดหมวดหมู่ประเด็น ทำให้ข้อสรุปที่ได้ยังขาดความน่าเชื่อถือและความสามารถในการทำซ้ำ (Replicability)

Objectives

1. เพื่อสังเคราะห์วรรณกรรมเกี่ยวกับการท่องเที่ยวเชิงอายุยืนอย่างเป็นระบบโดยใช้โปรโตคอลที่กำหนดไว้ล่วงหน้า
2. วิเคราะห์Research Gap (Research Gap) ในบริบทของประเทศไทย
3. นำเสนอกรอบแนวคิดและข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต

Methodology

Research Approach and Protocol

บทความนี้ใช้ระเบียบวิธี Systematic Literature Synthesis (SLS) ซึ่งเป็นแนวทางที่ได้รับการยอมรับในสาขาการท่องเที่ยวและการบริหารการบริการ (Torraco, 2016; Snyder, 2019) แตกต่างจาก Systematic Review แบบดั้งเดิม (เช่น Cochrane Review) ตรงที่ SLS มุ่งสร้างความเข้าใจแบบบูรณาการ (Integrative Understanding) มากกว่าการรวมผลการทดลอง (Meta-Analysis) โดยเหมาะสมกับสาขาวิจัยที่ยังอยู่ในช่วงพัฒนาและมีความหลากหลายทางระเบียบวิธี ซึ่งตรงกับสภาพของวรรณกรรม Longevity Tourism ในปัจจุบัน รูปแบบการสังเคราะห์นี้พัฒนาและบันทึกไว้ล่วงหน้าก่อนเริ่มค้นหาข้อมูล เพื่อลดอคติในการคัดเลือกงาน (Selection Bias) การค้นข้อมูลมาวิเคราะห์ (Search Strategy and Data Sources) ทำการค้นหาอย่างเป็นระบบจากฐานข้อมูลสี่แห่ง ได้แก่ Scopus, Web of Science (WoS), PubMed และ Google Scholar (สำหรับงานที่อาจไม่ได้รับการจัดทำดัชนีในฐานข้อมูลหลัก) ครอบคลุมช่วงเวลาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553 ถึง พ.ศ. 2568 โดยกำหนดให้ค้นหาในส่วน Title, Abstract และ Keywords เพื่อให้ผลการค้นหามีความแม่นยำ นอกจากนี้ยังทำการค้นหาเพิ่มเติมจากรายการอ้างอิง (Reference Chaining) ของงานที่ผ่านเกณฑ์ เพื่อลดโอกาสที่งานสำคัญจะหลุดออกไปชุดคำสำคัญที่ใช้แบ่งออกเป็นสามกลุ่มหลักที่เชื่อมกันด้วย ดังนี้

Table 1 Keyword Sets Used in the Literature Search

Keyword Group	English Keywords	Thai Keywords
Group 1 (Main Topic)	"Longevity Tourism" OR "Longevity Travel" OR "Anti-aging Tourism" OR "Longevity Wellness Tourism"	Longevity tourism OR Anti-aging tourism
Group 2 (Related Fields)	"Health Tourism" OR "Wellness Tourism" OR "Medical Tourism" OR "Silver Tourism" OR "Healthy Aging Tourism" OR "Blue Zone Tourism"	Health tourism OR Wellness tourism OR Senior tourism
Group 3 (Context)	"Thailand" OR "Southeast Asia" OR "ASEAN" OR "Asia" [Optional — used for sub-search]	Thailand OR Southeast Asia OR ASEAN

Inclusion and Exclusion Criteria

กำหนดเกณฑ์การคัดเลือกงานตามกรอบ PICOS (Population, Intervention/Exposure, Comparison, Outcome, Study Design) ดังแสดงในตารางที่ 2 เพื่อให้กระบวนการคัดเลือกมีความโปร่งใสและทำซ้ำได้

Table 2 Inclusion and Exclusion Criteria Based on PICOS Framework

PICOS Dimension	Inclusion Criteria	Exclusion Criteria
Population	Longevity tourists / older adults (50+ years) / wellness service providers	Studies focusing on clinical patients with no tourism component
Intervention / Exposure	Health/longevity/wellness tourism activities; Blue Zone destinations	General tourism with no health or longevity element
Comparison	Group, destination, or service comparisons; reviews without comparison groups accepted	No specific exclusion for this dimension
Outcome	Satisfaction, motivation, behavior, health outcomes, policy, or conceptual frameworks	Studies measuring only medical biomarkers with no tourism linkage
Study Design	Quantitative / qualitative / mixed methods / conceptual / case study / policy report / SLR	Editorial/opinion pieces without supporting data; non–peer–reviewed works (except international organization reports)
Language / Period	English and Thai; published 2010–2025	Other languages; published before 2010 (except frequently cited works)

Two–Stage Screening Process

กระบวนการคัดกรองดำเนินการสองขั้นตอน ดังแสดงในแผนภาพที่ 1 ขั้นแรก ผู้วิจัยคัดกรองจากชื่อเรื่องและบทคัดย่อ (Title & Abstract Screening) โดยผู้วิจัยสองคนทำงานอิสระและตรวจสอบความสอดคล้อง (Inter–rater Reliability) ด้วยค่า Cohen's Kappa โดยได้ค่า $\kappa = 0.82$ ซึ่งจัดอยู่ในเกณฑ์ Substantial Agreement ตามแนวทางของ Landis และ Koch (1977) ขั้นที่สอง ผู้วิจัยอ่านฉบับเต็ม (Full–text Review) เพื่อประเมินว่างานนั้นตรงตามเกณฑ์ PICOS ครบถ้วนหรือไม่ กรณีที่ผู้วิจัยไม่ตรงกัน แก้ไขโดยการหารือร่วมกัน

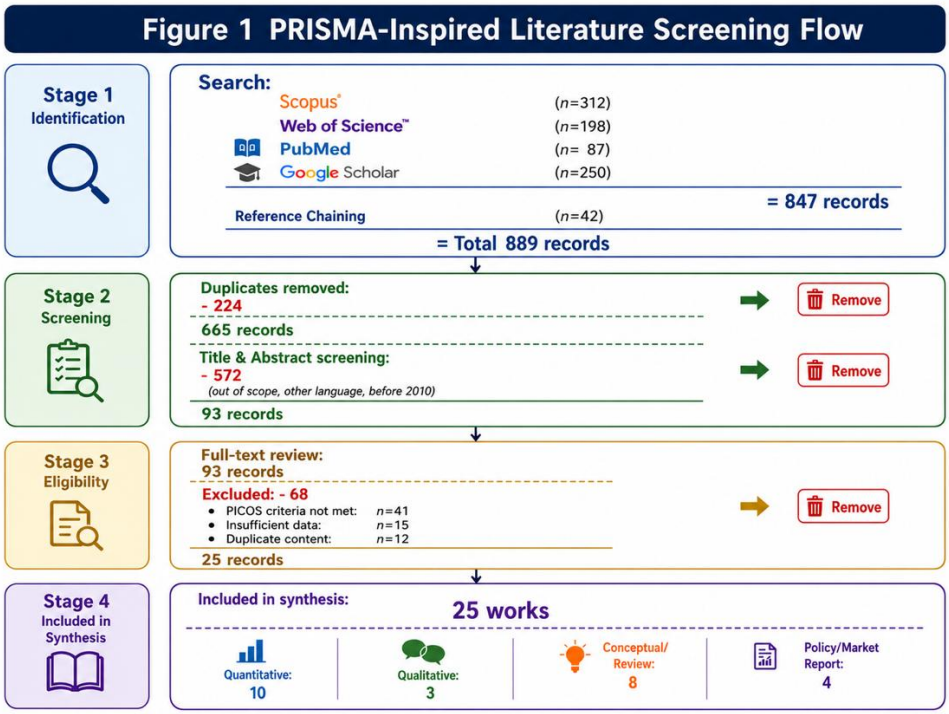


Figure 1 PRISMA–Inspired Literature Screening Flow

Quality Appraisal

เนื่องจากงานวิจัยที่คัดเลือกเข้าสู่การสังเคราะห์มีความหลากหลายเชิงระเบียบวิธี ทั้งงานวิจัยเชิงปริมาณ เชิงคุณภาพ การวิจัยแบบผสม การทบทวนวรรณกรรม และรายงานเชิงนโยบาย ผู้วิจัยจึงประยุกต์ใช้เครื่องมือ Mixed Methods Appraisal Tool (MMAT) version 2018 ของ Hong et al. (2018) เป็นกรอบหลักในการประเมินคุณภาพเชิงระเบียบวิธีของงานวิจัยเชิงประจักษ์ (Empirical Studies) จำนวน 13 งาน (Quantitative 10 งาน และ Qualitative 3 งาน) เครื่องมือ MMAT ครอบคลุมเกณฑ์ 5 ข้อต่อประเภทงานวิจัย ได้แก่ ความชัดเจนของคำถามวิจัย ความเหมาะสมของวิธีการเก็บข้อมูล ความเหมาะสมของการวิเคราะห์ ความน่าเชื่อถือของผลการศึกษา และการตีความผลลัพธ์ที่สอดคล้องกับข้อมูล ส่วนงานสังเคราะห์วรรณกรรมและงานเชิงแนวคิด จำนวน 8 งาน ประเมินด้วย Critical Appraisal Skills Programme (CASP) Checklist for Systematic Reviews สำหรับรายงานเชิงนโยบายและรายงานตลาด จำนวน 4 งาน ผู้วิจัยใช้เกณฑ์ความน่าเชื่อถือของแหล่งข้อมูล (Source Credibility) และความโปร่งใสของระเบียบวิธี (Methodological Transparency) เป็นเกณฑ์เสริม โดยผลการประเมินคุณภาพแบ่งเป็นสามระดับ ได้แก่ คุณภาพสูง (High Quality) คุณภาพปานกลาง (Moderate Quality) และคุณภาพต่ำ (Low Quality) ผลการประเมินพบว่างานวิจัยที่ผ่านเกณฑ์ทั้งหมดอยู่ในระดับคุณภาพปานกลางถึงสูง โดยร้อยละ 64 (16 งาน) จัดอยู่ในระดับคุณภาพสูง ร้อยละ 36 (9 งาน) อยู่ในระดับคุณภาพปานกลาง และไม่มีงานวิจัยใดถูกจัดอยู่ในระดับคุณภาพต่ำ ทั้งนี้ ผู้วิจัยตัดสินใจไม่ตัดงานคุณภาพปานกลางออก เนื่องจากสาขา Longevity Tourism ยังอยู่ในระยะตั้งต้นและฐานข้อมูลงานวิจัยเชิงประจักษ์มีจำนวนจำกัด การคงงานเหล่านี้ไว้ช่วยให้การสังเคราะห์ครอบคลุมและสะท้อนภาพรวมของสาขาได้อย่างสมจริง

Table 3 Quality Appraisal Summary of Included Studies (n = 25)

Study Type	Appraisal Tool	No. of Works	Quality Level (High / Moderate / Low)
Quantitative Studies	MMAT 2018 (Hong et al., 2018)	10	7 / 3 / 0
Qualitative Studies	MMAT 2018 (Hong et al., 2018)	3	2 / 1 / 0
SLR / Conceptual Works	CASP Checklist for SR	8	5 / 3 / 0
Policy / Market Reports	Source Credibility & Methodological Transparency	4	2 / 2 / 0
Total	—	**25**	**16 / 9 / 0 (64% / 36% / 0%)**

Data Extraction and Synthesis

สกัดข้อมูลจากแต่ละงานด้วยแบบฟอร์มที่กำหนดไว้ล่วงหน้า ครอบคลุม 1) บรรณานุกรมและแหล่งตีพิมพ์ 2) บริบทและประเทศที่ศึกษา 3) ระเบียบวิธีวิจัย 4) ตัวแปรและกรอบทฤษฎีที่ใช้ 5) ผลการศึกษาสำคัญ และ 6) ข้อจำกัดที่ผู้เขียนระบุ จากนั้นจัดกลุ่มข้อมูลด้วยการวิเคราะห์หัวข้อ (Thematic Analysis) ตามแนวทางของ Braun และ Clarke (2006) โดยระบุประเด็นที่สำคัญ หัวข้อรอง และความสัมพันธ์ระหว่างหัวข้อ กระบวนการนี้ทำซ้ำสามรอบ (Iterative Coding) จนได้หัวข้อที่มีความอิ่มตัว (Thematic Saturation) ซึ่งไม่มีหัวข้อใหม่เกิดขึ้นอีก

Results

บทความจำนวน 25 รายการที่ผ่านเกณฑ์ครอบคลุมช่วงปี พ.ศ. 2557–2568 มาจาก 15 ประเทศ/ภูมิภาค ตีพิมพ์ในวารสารและรายงานที่หลากหลาย ร้อยละ 64 ของงานทั้งหมดตีพิมพ์ในช่วงสี่ปีหลัง (พ.ศ. 2565–2568) สะท้อนถึงการเติบโตอย่างรวดเร็วของสาขานี้ การวิเคราะห์หัวข้อจัดกลุ่มออกเป็นห้าTheme ดังรายละเอียดต่อไปนี้

Table 4 Synthesis Structure: 5 Thematic Clusters and Representative Works

#	Theme	No. of Works	Main Methodology	Representative Works
T1	Definitions, Theoretical Frameworks, and Typologies	7	SLR, Conceptual	Hu et al. (2023); Zheng et al. (2025); Smith & Puczkó (2014); Patterson & Balderas-Cejudo (2023)
T2	Blue Zone Destinations and Tourist Behavior	5	Quantitative (SEM), Case Study	Wang et al. (2024); ResearchGate (2025); Buettner (2012)

#	Theme	No. of Works	Main Methodology	Representative Works
T3	Health and Longevity Impacts of Tourism on Older Adults	6	Longitudinal, Scoping Review	Rahman et al. (2024); Zhong et al. (2025); Wen et al. (2022); Nergiz & Toker (2025)
T4	Integrative Medicine, Prevention, and Tourism	4	Mixed Methods, Policy	Frontiers in Public Health (2025); Zhou et al. (2023); Carrera (2025)
T5	Market Context, Policy, and Southeast Asia	3	Market Report, Policy Analysis	European Parliament (2025); GWI (2026); ASEAN Market Report (2024)

Theme 1 Definitions, Theoretical Frameworks, and Typologies (T1)

วรรณกรรมกลุ่มนี้เผยให้เห็นความไม่เป็นเอกภาพในนิยามของ Longevity Tourism อย่างชัดเจน Hu et al. (2023) เสนอนิยามที่ครอบคลุมที่สุด โดยระบุว่าเป็น การเดินทางที่มีเจตนาเฉพาะเพื่อส่งเสริมสุขภาพแบบองค์รวมผ่านมิติร่างกาย จิตใจ และจิตวิญญาณ อันนำไปสู่การยืดอายุขัยอย่างมีคุณภาพ ในขณะที่ Smith และ Puczkó (2014) มองในกรอบกว้างกว่า โดยรวม Longevity Tourism เป็นส่วนหนึ่งของ Health Tourism ที่ให้ความสำคัญกับมิติป้องกันมากกว่ารักษา ส่วน Zheng et al. (2025) เสนอแนวคิด Healing Tourism ที่มีนัยใกล้เคียงกัน แต่เน้นบริบทธรรมชาติและการฟื้นฟูจิตใจ

ปัญหาการทับซ้อนของนิยามนี้ถือเป็นจุดอ่อนสำคัญของสาขา Patterson และ Balderas-Cejudo (2023) ตั้งข้อสังเกตว่าหากขาดนิยามที่ชัดเจน การสะสมองค์ความรู้ (Cumulative Knowledge Building) จะทำได้ยาก เพราะงานวิจัยแต่ละชิ้นวัดสิ่งที่แตกต่างกัน ภายใต้วิธีคิดหลักเดียวกัน จุดนี้แตกต่างจากสาขา Wellness Tourism ที่ Global Wellness Institute ได้สร้างนิยามมาตรฐานเป็นที่ยอมรับแล้ว การพัฒนานิยามมาตรฐานสำหรับ Longevity Tourism จึงเป็นความต้องการเร่งด่วนในวรรณกรรม ในมิติทางจิตวิทยา Liao et al. (2024) เสนอมุมมองที่น่าสนใจในวารสาร BMC Psychology โดยศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง Future Time Perspective (FTP) กับความตั้งใจในการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ อาศัยฐาน Socioemotional Selectivity Theory (SST) พบว่า Open-Ended Future Time Perspective (OFTP) หรือมุมมองที่มองอนาคตยาวไกลมีความสัมพันธ์บวกกับ Health Awareness และนำไปสู่ความตั้งใจท่องเที่ยวเชิงสุขภาพที่สูงขึ้น งานนี้ชี้ให้เห็นว่าแรงจูงใจใน Longevity Tourism ไม่ได้ถูกกำหนดโดยอายุจริง (Chronological Age) เพียงอย่างเดียว แต่ขึ้นอยู่กับ การรับรู้ช่วงเวลาชีวิตที่เหลือ ซึ่งมีนัยสำคัญในการออกแบบสื่อสารการตลาดและผลิตภัณฑ์ Longevity Tourism ที่ต้องการเข้าถึงกลุ่มเป้าหมายที่หลากหลายอายุแต่มีทัศนคติเชิงสุขภาพแบบเดียวกัน

Theme 2 Blue Zone Destinations and Tourist Behavior (T2)

งานวิจัยในหัวข้อนี้ให้หลักฐานเชิงประจักษ์ที่แข็งแกร่งที่สุดในวรรณกรรม Wang et al. (2024) ทำการศึกษาด้วย SEM ในเมืองปาหม่า (Bama) ประเทศสาธารณรับประชาชนจีน โดยวัดความสัมพันธ์ระหว่าง Longevity Culture Experience, Tourist Satisfaction และ Revisit Intention พบว่า Cultural Immersion มีเส้นทางอิทธิพลทางตรง (Direct Path) ต่อ Destination Brand Equity (β=0.52, p<0.001) และ Revisit Intention (β=0.41, p<0.001) สิ่งที่น่าสนใจคือ Perceived Health Benefit ทำหน้าที่เป็น

Mediator ที่มีนัยสำคัญ ซึ่งชี้ให้เห็นว่านักท่องเที่ยวไม่ได้ประเมินแค่ความสวยงาม แต่ประเมินคุณค่าด้านสุขภาพของปลายทางอย่างมีสติสัมปชัญญะ

สำหรับงาน Blueprint ของ ResearchGate (2025) ในบริบทศรีลังกาเสริมมุมมองด้านอุปทาน (Supply Side) โดยเสนอว่าการออกแบบประสบการณ์อายุยืนมีองค์ประกอบ 5 ด้าน ได้แก่ 1) สภาพแวดล้อมทางกายภาพที่ลดความเครียด (Stress–Minimizing Environment) 2) โภชนาการจากแหล่งท้องถิ่น (Local Longevity Nutrition) 3) พิธีกรรมประจำวันที่มีวิทยาศาสตร์รองรับ (Evidence–Based Daily Rituals) 4) ความสัมพันธ์ทางสังคมที่มีคุณภาพ (Meaningful Social Connections) และ 5) จุดมุ่งหมายในชีวิต (Sense of Purpose) ซึ่งสอดคล้องกับหลักการ Blue Zone ของ Buettner (2012) อย่างใกล้ชิด ข้อค้นพบนี้มีนัยสำคัญสำหรับประเทศไทย ตรงที่โรงพยาบาล รีสอร์ต และศูนย์สุขภาพของไทยสามารถนำกรอบนี้ไปเป็นพิมพ์เขียวในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ Longevity ที่มีเอกลักษณ์เฉพาะไทยได้ ในด้านความพึงพอใจและความตั้งใจกลับมาซ้ำ Seow et al. (2024) ศึกษากลุ่มนักท่องเที่ยว Wellness ในประเทศมาเลเซีย (n=361) โดยใช้ SEM พบว่า Perceived Value มีสองเส้นทางหลักสู่ Revisit Intention ได้แก่ เส้นทางผ่าน Satisfaction (Social and Emotional Value) และเส้นทางผ่าน Experience Quality (Quality and Emotional Value) นอกจากนี้ Rewards มีผลบวกต่อทั้ง Satisfaction และ Experience ซึ่งเป็นผลที่ขยายความเข้าใจจาก Wang et al. (2024) โดยชี้ให้เห็นว่าปัจจัยด้านรางวัลและสิทธิพิเศษอาจมีบทบาทสำคัญในตลาด Wellness Tourism เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ที่ยังมีการศึกษาน้อยกว่าตลาดตะวันตก

Theme 3 Health and Longevity Impacts of Tourism on Older Adults (T3)

วรรณกรรมกลุ่มนี้เติบโตเร็วที่สุดในช่วงห้าปีที่ผ่านมา สะท้อนความสนใจจากสหวิทยาการ Zhong et al. (2025) ใช้ข้อมูลระยะยาวจากโครงการ CLHLS ระหว่างปี พ.ศ. 2551–2561 (n=8,012) พบว่า กลุ่มผู้สูงอายุที่ท่องเที่ยวอย่างน้อยปีละครั้งมีอัตราการเสียชีวิตต่ำกว่ากลุ่มที่ไม่ท่องเที่ยวถึงร้อยละ 18 (HR=0.82, 95% CI 0.71–0.94) แม้จะควบคุมตัวแปรกวน (Confounders) อย่างรายได้ สุขภาพเบื้องต้น และการศึกษาแล้ว ผลนี้ถือเป็นหลักฐานเชิงประจักษ์ที่แข็งแกร่งที่สุดว่าการท่องเที่ยวมีผลต่ออายุยืนอย่างแท้จริง ไม่ใช่แค่ความสัมพันธ์เชิงสัมพันธ์

Rahman et al. (2024) ทำ Scoping Review จาก 34 งาน พบว่างานร้อยละ 79 รายงานผลบวกของการท่องเที่ยวต่อสุขภาพผู้สูงอายุ ครอบคลุม Cognitive Function, Physical Activity, Mental Health และ Social Connectedness อย่างไรก็ตาม วิจารณ์สำคัญที่ Rahman et al. ระบุ คือ งานส่วนใหญ่ยังใช้ Self–Reported Measures ซึ่งอาจมีความลำเอียงเชิงการรายงาน (Reporting Bias) และขาดการวัดผลด้วย Biomarkers ที่เป็นรูปธรรม เช่น ระดับ Telomere Length, Inflammatory Markers หรือ Cognitive Assessments มาตรฐาน งานล่าสุดของ Azimi et al. (2025) ซึ่งตีพิมพ์ใน Acta Psychologica เสริมมุมมองนี้โดยศึกษาผลกระทบของ Wellness Tourism ต่อ Psychosocial Well–being ของผู้สูงอายุในรีสอร์ทเชิงสุขภาพของอิหร่าน โดยอาศัยกรอบทฤษฎีคู่ได้แก่ Attention Restoration Theory (ART) และ Socioemotional Selectivity Theory (SST) ผลการศึกษาด้วย PLS–SEM และ Fuzzy–set QCA พบว่าประสบการณ์การท่องเที่ยวเชิงสุขภาพมีอิทธิพลทางอ้อมต่อ Well–being โดยผ่านตัวแปรกลาง (Mediator) สองตัว ได้แก่ ความพึงพอใจในชีวิต (Life Satisfaction) และการรับรู้คุณภาพสภาพแวดล้อมที่ฟื้นฟู (Perceived Restorative Environment) ที่น่าสนใจเป็นพิเศษคือผลการวิเคราะห์จำแนกตามเพศ (Multi–group Analysis) พบว่าผู้สูงอายุหญิงได้รับประโยชน์จากความพึงพอใจในชีวิต มากกว่า ในขณะที่ผู้สูงอายุชายตอบสนองต่อ Restorative Environment ได้แรงกว่า ผลนี้มีนัยสำคัญสำหรับการออกแบบบริการ Longevity Tourism ในไทยที่ต้องคำนึงถึงความแตกต่างทางเพศและวัฒนธรรมอย่างละเอียดอ่อน

Theme 4 Integrative Medicine and Preventive Tourism (T4)

Frontiers in Public Health (2025) นำเสนอโมเดล Dynamic Health Portrait–Driven Tourism ที่ผสานการประเมินสุขภาพรายบุคคลแบบ Real–time เข้ากับการออกแบบโปรแกรมท่องเที่ยว โดยโปรแกรมจะปรับตัวตามสภาวะสุขภาพจริงของนักท่องเที่ยวแต่ละรายในแต่ละวัน นี่ถือเป็นทิศทางที่น่าสนใจอย่างยิ่งสำหรับไทยเพราะผสานเทคโนโลยี Digital Health เข้ากับบริบทการท่องเที่ยว อย่างไรก็ตาม Frontiers in Public Health เองก็ยอมรับว่าโมเดลนี้ยังอยู่ในระยะแนวคิดและต้องการการทดสอบเชิงประจักษ์

Zhou et al. (2023) ทำการพัฒนาระบบประเมินคุณค่าทรัพยากรการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพในบริบทจีน โดยสร้างดัชนีประกอบ 4 มิติ ได้แก่ 1) มิติสิ่งแวดล้อม 2) มิติวัฒนธรรม 3) มิติการแพทย์ และ 4) มิติการเข้าถึง งานนี้มีนัยสำคัญสำหรับการพัฒนาดัชนีชี้วัดคุณภาพปลายทาง Longevity ของไทยในอนาคต แม้ต้องปรับบริบทให้สอดคล้องกับมรดกการแพทย์แผนไทยที่มีเอกลักษณ์ต่างออกไป

Theme 5 Market Context, Policy, and Southeast Asia (T5)

รายงานของรัฐสภายุโรป (European Parliament, 2025) ระบุว่า Silver Tourism มีมูลค่าตลาดรวมในสหภาพยุโรปสูงกว่า 800,000 ล้านยูโรต่อปี และมีแนวโน้มเติบโตต่อเนื่อง ข้อเสนอแนะเชิงนโยบายเน้นการออกแบบโครงสร้างพื้นฐานและบริการที่ตอบสนอง Active Ageing Lifestyle ไม่ใช่แค่การรองรับความพิการหรือความเจ็บป่วย มุมมองนี้มีนัยสำหรับไทยตรงที่การพัฒนา Longevity Tourism ต้องไม่ถูกจำกัดเฉพาะในกลุ่มผู้ป่วยแต่ต้องขยายสู่กลุ่มผู้ที่อยากมีสุขภาพดียิ่งขึ้น ซึ่งมีขนาดตลาดใหญ่กว่ามาก

Global Wellness Institute (2026) รายงานว่าตลาด Wellness Tourism ของไทยเติบโตถึงร้อยละ 36.4 และมีมูลค่า 14,000 ล้านดอลลาร์สหรัฐ ในปี พ.ศ. 2567 ASEAN Market Report (2024) ประเมินว่าตลาด Medical and Wellness Tourism ของอาเซียนจะขยายตัวจาก 66,100 ล้านดอลลาร์สหรัฐ เป็น 218,400 ล้านดอลลาร์สหรัฐ ในปี พ.ศ. 2577 (CAGR 12.4%) งานวิจัยในบริบทประเทศไทยของ Keadplang et al. (2024) ที่ตีพิมพ์ใน Eau Heritage Journal of Social Science and Humanities ศึกษาเศรษฐกิจสร้างสรรค์บนพื้นฐานของการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุไทย ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าจุดแข็งเชิงวัฒนธรรมของไทยทั้งสมุนไพร อาหารพื้นบ้าน และการแพทย์แผนไทย สามารถพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ Longevity Tourism ที่มีเอกลักษณ์ได้ ซึ่งสอดคล้องกับโอกาสตลาดที่รายงานจาก ASEAN Market Report และ Global Wellness Institute ตัวเลข ตัวเลขเหล่านี้ชี้ให้เห็นโอกาสเชิงยุทธศาสตร์ที่มหาศาล อย่างไรก็ตาม ต้องตั้งข้อสังเกตว่า Market Reports เหล่านี้มักผลิตโดยบริษัทที่ปรึกษาเชิงพาณิชย์ซึ่งอาจมีแรงจูงใจในการประเมินตลาดสูงกว่าความเป็นจริง งานวิจัยเชิงวิชาการที่ตรวจสอบตัวเลขเหล่านี้อย่างเป็นระบบจึงยังขาดแคลนอยู่มาก ในบทความนี้ผู้วิจัยใช้รายงานตลาดและรายงานจากองค์การระหว่างประเทศ (Global Wellness Institute, European Parliament, ASEAN Market Report) เฉพาะเพื่อสนับสนุนการอภิปรายเชิงบริบทตลาดและนโยบาย ไม่นำมาใช้เพื่อยืนยันข้อสรุปทางทฤษฎีหรือผลเชิงประจักษ์ ขณะที่ข้อสรุปเชิงวิชาการทั้งหมดอาศัยงานที่ตีพิมพ์ในวารสารที่ผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer–reviewed Sources) เป็นหลัก

Conclusion and Discussion

บทความนี้ดำเนินการสังเคราะห์วรรณกรรมอย่างเป็นระบบตามโปรโตคอล SLS โดยคัดกรองงานจาก 889 รายการ เหลือ 25 งานที่ผ่านเกณฑ์ PICOS และจัดกลุ่มออกเป็นห้าหัวข้อสำคัญ ผลการสังเคราะห์พบว่าสาขา Longevity Tourism กำลังเติบโตอย่างรวดเร็ว แต่ยังขาดความเป็นเอกภาพในนิยาม กรอบทฤษฎีที่เฉพาะเจาะจง และงานเชิงประจักษ์ในบริบทเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

กรอบแนวคิด ILTF ที่เสนอในบทความนี้ผสานสามLayer ได้แก่ ปัจจัยแรงจูงใจ สภาพแวดล้อมปลายทาง และคุณค่าที่รับรู้ เข้ากับตัวแปรกลั่นกรองเชิงวัฒนธรรม เพื่อให้เหมาะสมกับบริบทไทยที่ต้อนรับนักท่องเที่ยวจากหลากหลายภูมิหลัง กรอบนี้พร้อมสำหรับการทดสอบเชิงประจักษ์ในงานวิจัยระยะต่อไปเชิงนโยบาย รัฐบาลไทยควรพิจารณาสามแนวทาง ได้แก่ (1) พัฒนามาตรฐานรับรองบริการ Longevity Tourism ระดับประเทศ เพื่อสร้างความน่าเชื่อถือในตลาดสากล (2) สนับสนุนการวิจัยระยะยาวที่ติดตามผลลัพธ์สุขภาพของนักท่องเที่ยว เพื่อสร้างหลักฐานเชิงวิทยาศาสตร์สำหรับการตลาด และ (3) ออกแบบแพ็กเกจ Longevity Tourism ที่บูรณาการจุดแข็งเฉพาะตัวของไทย ทั้งนวดไทยมรดกโลก อาหารสมุนไพร การทำสมาธิตามแนวพุทธ และการแพทย์แผนไทยอย่างเป็นระบบ

Integrative Conceptual Framework: ILTF

จากผลการสังเคราะห์ห้าหัวข้อข้างต้น บทความนี้นำเสนอ Integrative Longevity Tourism Framework (ILTF) ซึ่งพัฒนาขึ้นโดยอาศัยสามTheoretical Foundationหลัก ได้แก่ (1) Push–Pull Theory (Crompton, 1979) เพื่ออธิบายแรงจูงใจในการเดินทาง (2) Theory of Planned Behavior (Ajzen, 1991) เพื่ออธิบายกระบวนการตัดสินใจ และ (3) Perceived Value Theory (Zeithaml, 1988) เพื่ออธิบายการประเมินคุณค่าหลังประสบการณ์ ILTF ประกอบด้วยสามชั้นที่เชื่อมโยงกันเชิงสาเหตุ

Table 5 ILTF Framework: Components, Variables, and Theoretical Foundations

Layer	Component	Example Variables	Theoretical Foundation
Layer 1 Input	Motivational Factors	Push: health concerns, desire to slow ageing, quality of life pursuit Pull: destination reputation, service quality, value for money, cultural heritage	Push–Pull Theory (Crompton, 1979) TPB (Ajzen, 1991)
Layer 2 Process	Destination Environment	Medical infrastructure, natural resources, cultural atmosphere, Blue Zone Elements (Wang et al., 2024), Daily Rituals (ResearchGate, 2025)	Destination Competitiveness Model Blue Zone Framework (Buettner, 2012)
Layer 3 Output	Perceived Value and Outcomes	Experience Quality, Satisfaction, Revisit Intention, WOM, Health Outcome (Short–term / Long–term), Destination Brand Equity	Perceived Value Theory (Zeithaml, 1988) Healthy Aging Framework (Hu et al., 2023)

Layer	Component	Example Variables	Theoretical Foundation
Moderating Variables (Moderators)	Contextual and Personal Variables	Nationality/culture, age group, income level, prior travel experience, baseline health status	Cultural Distance Theory Health Belief Model

ข้อแตกต่างสำคัญของ ILTF จากกรอบแนวคิดที่มีอยู่เดิม ได้แก่ การรวมผลลัพธ์ระยะยาว (Long-term Health Outcome) เข้าไปใน Output Layer ซึ่งวรรณกรรมส่วนใหญ่ละเลย รวมถึงการระบุตัวแปรกลั่นกรอง (Moderators) เชิงวัฒนธรรมและสุขภาพที่มีความสำคัญพิเศษในบริบทของประเทศไทยที่รับนักท่องเที่ยวจากหลากหลายวัฒนธรรม การพัฒนากรอบ ILTF อาศัยการสังเคราะห์เนื้อหาจากหัวข้อ T1–T5 อย่างเป็นระบบ กล่าวคือ Layer 1 (Input) เกี่ยวกับปัจจัยแรงจูงใจสังเคราะห์มาจาก T1 (นิยามและกรอบทฤษฎี) ที่ระบุปัจจัย Push–Pull และจาก T3 (ผลกระทบต่อสุขภาพ) โดยอาศัยมิติ Future Time Perspective ของ Liao et al. (2024) ที่ชี้ว่าแรงจูงใจไม่ได้ถูกกำหนดด้วยอายุจริงเพียงอย่างเดียว Layer 2 (Process) เกี่ยวกับสภาพแวดล้อมปลายทาง สังเคราะห์มาจาก T2 (Blue Zone) ที่ระบุห้าองค์ประกอบของประสบการณ์อายุยืน (ResearchGate, 2025) ผสานกับ T4 (Integrative Medicine) ที่เน้นโครงสร้างพื้นฐานทางการแพทย์ (Zhou et al., 2023) Layer 3 (Output) เกี่ยวกับคุณค่าที่รับรู้และผลลัพธ์ สังเคราะห์มาจาก T2 (Wang et al., 2024; Seow et al., 2024) ที่วัด Satisfaction, Revisit Intention และจาก T3 ที่วัด Health Outcome ทั้งระยะสั้นและระยะยาว (Zhong et al., 2025; Azimi et al., 2025) ขณะที่ตัวแปรกลั่นกรอง (Moderators) มาจาก T5 (Market and Policy) ที่เน้นความแตกต่างทางวัฒนธรรมและบริบทตลาด การจัดวางสามชั้นนี้จึงไม่ใช่การสร้างขึ้นเชิงทฤษฎีล้วน แต่เป็นการสังเคราะห์เชิงประจักษ์จากงานวิจัย 25 ฉบับที่ผ่านเกณฑ์ เมื่อเปรียบเทียบ ILTF กับกรอบแนวคิดที่มีอยู่เดิม พบความเหมือนและความแตกต่างที่สำคัญสามประการ ประการแรก Healthy Aging Framework ของ Hu et al. (2023) เน้นมิติของผลลัพธ์ด้านสุขภาพแบบองค์รวม (ร่างกาย จิตใจ จิตวิญญาณ) ซึ่ง ILTF ยังคงไว้ใน Layer 3 แต่ขยายเพิ่มด้วยมิติของแรงจูงใจและสภาพแวดล้อมที่กรอบของ Hu et al. ไม่ได้ครอบคลุม ประการที่สอง Healing Tourism Framework ของ Zheng et al. (2025) เน้นบริบทธรรมชาติและการฟื้นฟูจิตใจเป็นหลัก ขณะที่ ILTF ครอบคลุมทั้งบริบทธรรมชาติ บริบทการแพทย์ และบริบทวัฒนธรรม จึงเหมาะกับการประยุกต์ในประเทศไทยที่มีจุดแข็งทั้งสามมิติพร้อมกัน ประการที่สาม Dynamic Health Portrait Model ของ Frontiers in Public Health (2025) มุ่งเน้นการประยุกต์เทคโนโลยี Digital Health แบบ Real-time ขณะที่ ILTF เป็นกรอบเชิงโครงสร้าง (Structural Framework) ที่สามารถบรรจุโมเดลย่อยทางเทคโนโลยีไว้ภายใน Layer 2 ได้ ความใหม่ (Novelty) ของ ILTF จึงอยู่ที่สามจุด คือ (1) การบูรณาการสามทฤษฎีพื้นฐาน (Push–Pull, TPB, Perceived Value) เป็นโมเดลเชิงสาเหตุชั้นเดียว (2) การรวมผลลัพธ์ด้านสุขภาพระยะยาว (Long-term Health Outcome) ที่กรอบเดิมส่วนใหญ่ละเลย และ (3) การระบุตัวแปรกลั่นกรองเชิงวัฒนธรรมที่จำเป็นสำหรับบริบทไทย ซึ่งรับนักท่องเที่ยวจากหลากหลายภูมิหลังพร้อมกัน

Research Gaps and Recommendations

Identified Research Gaps

การวิเคราะห์เชิงหัวข้อจากงาน 25 รายการระบุช่องว่างสำคัญสี่ประการ ซึ่งสอดคล้องกับช่องว่างที่ Nergiz และ Toker (2025)

Table 6 Research Gaps, Priority Level, and Recommended Approaches

#	Research Gap	Priority	Recommended Research Approach
G1	Lack of empirical studies in the Thai and Southeast Asian context	High	Study motivation and satisfaction of Longevity tourists in Thai destinations (Phuket, Chiang Mai, Hua Hin) using SEM, n≥300
G2	Lack of longitudinal research designs	High	Track the same tourist cohort for 6–12 months; measure health outcomes using Biomarkers alongside self-report measures
G3	Lack of a domain-specific theoretical framework for Longevity Tourism	Medium	Test and refine ILTF through multi-context empirical research to expand Construct Validity
G4	Lack of a domain-specific service quality index	Medium	Develop a Longevity Tourism Service Quality Index (LT-SQI) for the Thai context, adapting from SERVQUAL and Zhou et al. (2023)

Research Design Recommendations for the Thai Context

สำหรับการวิจัยเชิงปริมาณ แนะนำให้ใช้ PLS-SEM ซึ่งเหมาะกับงานเชิงสำรวจที่ยังอยู่ในระยะพัฒนาทฤษฎี (Hair et al., 2019) โดยกำหนดขนาดตัวอย่างอย่างน้อย 300 คน ครอบคลุมนักท่องเที่ยวทั้งชาวไทยและต่างชาติ (จีน ยุโรป ตะวันออกกลาง) ที่มีประสบการณ์ใช้บริการ Longevity Tourism ในรอบ 12 เดือน พื้นที่เก็บข้อมูลควรครอบคลุมอย่างน้อยสามจังหวัดที่มีความเข้มข้นของบริการ Wellness แตกต่างกัน คือ กรุงเทพฯ (Medical Hub), ภูเก็ต (International Resort), และเชียงใหม่ (Traditional Wellness)

สำหรับการวิจัยเชิงคุณภาพ แนะนำการสัมภาษณ์เชิงลึก (In-depth Interview) กับผู้มีส่วนได้ส่วนเสียสามกลุ่ม ได้แก่ (1) นักท่องเที่ยวที่ใช้บริการ Longevity จำนวน 20–30 คน (2) ผู้ประกอบการและผู้จัดการสถานบริการ 10–15 คน และ (3) ผู้กำหนดนโยบายทั้งระดับกระทรวงและระดับพื้นที่ 5–8 คน วิเคราะห์ด้วย Thematic Analysis โดยอ้างอิง Codebook จากผลการสังเคราะห์ในบทความนี้เพื่อความต่อเนื่องเชิงทฤษฎี

สำหรับการวิจัยแบบผสม (Mixed Methods) ในระยะถัดไป ควรพิจารณาการออกแบบ Sequential Explanatory Design ที่เริ่มต้นด้วยการเก็บข้อมูลเชิงปริมาณ แล้วใช้ผลที่ได้ชี้นำการเก็บข้อมูลเชิงคุณภาพในระยะต่อมา แนวทางนี้จะช่วยให้ผลการวิจัยมีทั้งความกว้าง (Generalizability) และความลึก (Depth) ซึ่งจำเป็นสำหรับการพัฒนานโยบาย

References

Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes, 50*(2), 179–211. Form https://doi.org/10.1016/0749-5978(91)90020-T

ASEAN Market Research. (2024). *ASEAN medical and wellness tourism market size & share 2034*. Global Market Insights Inc.

Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology, 3*(2), 77–101. Form https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa

Buettner, D. (2012). *The Blue Zones: 9 lessons for living longer from the people who've lived the longest* (2nd ed.). National Geographic Society.

Liao, C., Xiao, H., Li, Z., & Todo, Y. (2024). Beyond chronological age: Exploring how different future time perspective influences the health tourism intention. *BMC Psychology, 12*, 689. Form https://doi.org/10.1186/s40359-024-02201-x

Seow, A. N., Foroughi, B., & Choong, Y. O. (2024). Tourists' satisfaction, experience, and revisit intention for wellness tourism: E Word-of-Mouth as the mediator. *SAGE Open, 14*(3). Form https://doi.org/10.1177/21582440241274049

Azimi, A., Moradi, E., Yousefi, B., & Hassani, Z. (2025). Bridging theory and practice in healthy aging: The role of wellness tourism in shaping psychosocial outcomes. *Acta Psychologica, 257*, 105062. Form https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2025.105062

Carrera, F. (2025). Age tourism: Going beyond health and 'triple S' tourism toward a new request of journey. *Frontiers in Sociology, 9*, 1395405. Form https://doi.org/10.3389/fsoc.2024.1395405

Crompton, J. L. (1979). Motivations for pleasure vacation. *Annals of Tourism Research, 6*(4), 408–424. Form https://doi.org/10.1016/0160-7383(79)90004-6

European Parliament. (2025). *Silver tourism and the longevity economy in the European Union*. European Parliament Research Service. Brussels: European Parliament.

Frontiers in Public Health. (2025). Integrating natural non-pharmaceutical therapies into medical tourism: A dynamic health portrait-driven model for proactive older adult health. *Frontiers in Public Health, 13*, 1580082. Form https://doi.org/10.3389/fpubh.2025.1580082

Global Wellness Institute [GWI]. (2026, February 26). *GWI releases new data on Thailand's fast-growing wellness market*. Form https://globalwellnessinstitute.org/press-room/press-releases/gwi-releases-new-data-on-thailands-fast-growing-wellness-market/

Hair, J. F., Risher, J. J., Sarstedt, M., & Ringle, C. M. (2019). When to use and how to report the results of PLS-SEM. *European Business Review, 31*(1), 2–24. Form https://doi.org/10.1108/EBR-11-2018-0203

Hong, Q. N., Fàbregues, S., Bartlett, G., Boardman, F., Cargo, M., Dagenais, P., Gagnon, M.–P., Griffiths, F., Nicolau, B., O'Cathain, A., Rousseau, M.–C., Vedel, I., & Pluye, P. (2018). The Mixed Methods Appraisal Tool (MMAT) version 2018 for information professionals and researchers. *Education for Information, 34*(4), 285–291. Form https://doi.org/10.3233/EFI–180221

Hu, F., Wen, J., Phau, I., Ying, T., Aston, J., & Wang, W. (2023). The role of tourism in healthy aging: An interdisciplinary literature review and conceptual model. *Journal of Hospitality and Tourism Management, 56,* 356–366. Form https://doi.org/10.1016/j.jhtm.2023.07.008

Keadplang, K., Hansuk, W., Suchaoin, P., & Pimanmassuriya, K. (2024). Creative economy on the wellness tourism of elderly tourists in Thailand. *Eau Heritage Journal of Social Science and Humanities, 14*(2), 42–58.

Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics, 33*(1), 159–174. Form https://doi.org/10.2307/2529310

Nergiz, H. G., & Toker, F. (2025). Healthy aging in the tourism industry: A systematic literature review. SAGE Open, 15(2). https://doi.org/10.1177/21582440251379664

Patterson, I., & Balderas–Cejudo, A. (2023). Tourism towards healthy lives and well–being for older adults and senior citizens: Tourism agenda 2030. *Tourism Review, 78*(2), 427–440. Form https://doi.org/10.1108/TR–09–2022–0441

Rahman, M. A., et al. (2024). The role of tourism in enhancing domains of health for seniors: A scoping review. *Gerontology & Geriatric Medicine, 10*. Form https://doi.org/10.1177/23337214241264857

ResearchGate. (2025). *Reimagining wellness tourism: A blueprint for developing Blue Zone–inspired longevity hotels.* ResearchGate Working Paper.

Smith, M., & Puczkó, L. (2014). *Health, tourism and hospitality: Spas, wellness and medical travel* (2nd ed.). Routledge.

Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research, 104*, 333–339. Form https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039

Torraco, R. J. (2016). Writing integrative literature reviews: Using the past and present to explore the future. *Human Resource Development Review, 15*(4), 404–428. https://doi.org/10.1177/1534484316671606

Travel Daily News Asia. (2025). *Longevity, leisure, and health: Why travel may be the medicine of the future*. Form https://www.traveldailynews.asia/column/articles/longevity–leisure–and–health–why–travel–may–be–the–medicine–of–the–future/

Wang, J., et al. (2024). Tourist satisfaction and behavioral intention in a longevity culture destination: Evidence from Bama, China. *GeoJournal of Tourism and Geosites, 52*(1), 145–158. Form https://doi.org/10.30892/gtg.52116–1198

Wen, J., Zheng, D., Hou, H., Phau, I., & Wang, W. (2022). Tourism as a dementia treatment based on positive psychology. *Tourism Management, 92*, 104556. Form https://doi.org/10.1016/j.tourman.2022.104556

World Health Organization [WHO]. (2021). *Ageing and health*. Form https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ageing-and-health

Zeithaml, V. A. (1988). Consumer perceptions of price, quality, and value: A means-end model and synthesis of evidence. *Journal of Marketing, 52*(3), 2–22. Form https://doi.org/10.1177/002224298805200302

Zheng, D., Huang, C., Zhao, Q., & Liu, Y. (2025). Healing tourism: An interdisciplinary review of progress, methods and healthy ageing implications. *Asia Pacific Journal of Marketing and Logistics*. Form https://doi.org/10.1108/APJML-10-2024-1538

Zhong, B.-L., et al. (2025). The effect of travel and tourism on longevity in older adults: Evidence from the Chinese Longitudinal Healthy Longevity Survey. *Frontiers in Public Health, 13*, 1530782. https://doi.org/10.3389/fpubh.2025.1530782

Zhou, M., Luo, H., & Hong, J. (2023). Establishment of a value evaluation system for health and wellness tourism resources. *PLOS ONE, 18*(7), e0288749. Form https://doi.org/10.1371/journal.pone.0288749

คำแนะนำสำหรับผู้นิพนธ์

วารสารวิชาการเพื่อการพัฒนานวัตกรรมเชิงพื้นที่

วารสารวิชาการเพื่อการพัฒนานวัตกรรมเชิงพื้นที่ เป็นวารสารวิชาการจัดพิมพ์ โดยมหาวิทยาลัยพะเยา กำหนดพิมพ์ปีละ 3 ฉบับ ผู้นิพนธ์สามารถส่งเรื่องมาลงพิมพ์ได้ โดยไม่จำเป็นต้องเป็นสมาชิกหรือสังกัดมหาวิทยาลัยพะเยา ผลงานที่ได้รับการพิจารณาลงพิมพ์ในวารสารจะต้องมีสาระน่าสนใจ เป็นงานที่ทบทวนความรู้เดิม หรือองค์ความรู้ใหม่ที่ทันสมัย รวมทั้งข้อคิดเห็นทางวิชาการที่เป็นประโยชน์ต่อผู้อ่าน

นอกจากนี้สำหรับการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับมนุษย์ เจ้าของบทความต้องสามารถแสดงให้เห็นว่า ผู้เข้าร่วมในการวิจัยได้รับทราบข้อมูลและตัดสินใจเข้าร่วมในการวิจัยโดยความสมัครใจ และจะต้องเป็นงานที่ไม่เคยถูกนำไปพิมพ์เผยแพร่ในวารสารอื่นใดมาก่อน และไม่อยู่ระหว่างการพิจารณาลงพิมพ์ในวารสารใด ๆ บทความอาจถูกดัดแปลง แก้ไขเนื้อหา รูปแบบ และสำนวนตามที่กองบรรณาธิการเห็นสมควร ทั้งนี้เพื่อให้วารสารมีคุณภาพในระดับมาตรฐานสากล และนำไปอ้างอิงได้ หากผู้นิพนธ์มีข้อสงสัยในการจัดเตรียมต้นฉบับสามารถตรวจสอบระเบียบการตีพิมพ์ล่าสุดของวารสาร **ได้จาก E-mail: rusid@up.ac.th**

การเตรียมต้นฉบับ

1. ต้นฉบับพิมพ์เป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษก็ได้: แต่ละเรื่องจะต้องมีบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ การใช้ภาษาไทยให้ยึดหลักการใช้คำศัพท์ และการเขียนทับศัพท์ภาษาอังกฤษ ตามหลักของราชบัณฑิตยสถานให้หลีกเลี่ยงการเขียนภาษาอังกฤษปนภาษาไทยในข้อความ ยกเว้นกรณีจำเป็น เช่น ศัพท์ทางวิชาการที่ไม่มีคำแปล หรือคำที่ใช้แล้ว ทำให้เข้าใจง่าย ขึ้นคำศัพท์ภาษาอังกฤษที่เขียนปนภาษาไทยให้ใช้ตัวเล็กทั้งหมด ยกเว้นชื่อเฉพาะสำหรับต้นฉบับภาษาอังกฤษควรได้รับการตรวจสอบความถูกต้องด้านการใช้ภาษาจากผู้เชี่ยวชาญด้านภาษาอังกฤษก่อน

2. ขนาดของต้นฉบับ: ใช้กระดาษขนาด A4 (8.5x11 นิ้ว) และพิมพ์โดยเว้นระยะห่างจากขอบกระดาษด้านละ 1 นิ้ว จัดหน้าพิมพ์เป็นสองคอลัมน์ ในส่วนตารางและรูปภาพ ถ้ามีขนาดใหญ่สามารถใช้เป็น 1 คอลัมน์ได้

3. ชนิดและขนาดตัวอักษร ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษให้ใช้ตัวอักษร **Browallia New**

- ชื่อเรื่องใช้ตัวอักษรขนาด 18 pt. ตัวหนา
- ชื่อผู้นิพนธ์ใช้ตัวอักษรขนาด 16 pt. ตัวปกติ
- หัวข้อหลักใช้ตัวอักษรขนาด 16 pt. ตัวหนา
- หัวข้อรองใช้ตัวอักษรขนาด 14 pt. ตัวหนา
- บทคัดย่อและเนื้อเรื่องใช้ตัวอักษรขนาด 14 pt. ตัวปกติ
- เชิงอรรถ (อยู่ท้ายบทความหน้าแรก) ซึ่งจะมี ที่อยู่/สังกัดของผู้นิพนธ์ ทั้งภาไทยและภาษาอังกฤษ และ E-mail ของผู้นิพนธ์ ใช้อักษรขนาด 12 pt. ตัวปกติ

4. การส่งต้นฉบับ ผู้เสนอผลงานจะต้องส่งต้นฉบับแบบพิมพ์ ในรูปแบบของอิเล็กทรอนิคส์ไฟล์แบบ ".doc" (MS Word) มาที่ระบบ Thaijo

5. จำนวนหน้า ความยาวของบทความไม่ควรเกิน 15 หน้า และไม่ควรสั้นเกินไป โดยรวมทั้งตาราง รูปภาพ

6. รูปแบบการเขียนต้นฉบับ แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1. ประเภทบทความรายงานผลงานวิจัย (Research article)
2. บทความวิชาการทันสมัยที่จากการทบทวนเอกสารงานวิจัยใหม่ ๆ ที่ผู้อื่นได้ทำไว้มาก่อน (Review article)

7. ใส่เลขหน้ากำกับทุกหน้า ตรงกลางด้านบนของกระดาษ A4

<u>การเรียงลำดับหัวข้อในบทความผลงานวิจัย</u>

1. ชื่อเรื่อง (Title) ควรสั้น กะทัดรัด และสื่อเป้าหมายหลักของงานวิจัย ไม่ใช้คำย่อ ความยาวไม่ควรเกิน 100 ตัวอักษร (ประมาณ 2 บรรทัด) ชื่อเรื่องให้มีทั้ง**ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ** ต้นฉบับภาษาไทยให้พิมพ์ชื่อเรื่องภาษาไทยก่อน แล้วตามด้วยภาษาอังกฤษ

2. ชื่อผู้นิพนธ์ [Author(s)] และที่อยู่ให้มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ และระบุหน่วยงานหรือสถาบันที่สังกัดและ E-mail address ของผู้นิพนธ์ เพื่อกองบรรณาธิการและผู้ที่สนใจบทนิพนธ์สามารถติดต่อได้

3. บทคัดย่อ (Abstract) เป็นการย่อเนื้อความงานวิจัยทั้งเรื่องให้สั้น และมีเนื้อหาครบถ้วนตามเรื่องเต็มความยาวไม่เกิน **250 คำ** ไม่ควรมีคำย่อ

4. คำสำคัญ (Keywords) ให้ระบุไว้ท้ายบทคัดย่อของแต่ละภาษา **ไม่ควรเกิน 5 คำ**

5. บทนำ (Introduction) เป็นส่วนเริ่มต้นของเนื้อหาที่บอกความเป็นมา เหตุผล และวัตถุประสงค์ที่นำไปสู่การวิจัยนี้ ควรให้ข้อมูลทางวิชาการที่เกี่ยวข้องจากการตรวจเอกสารประกอบ

6. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา (Materials and Methods) ให้ระบุรายละเอียดวัสดุอุปกรณ์ สิ่งที่นำมาศึกษา จำนวน ลักษณะเฉพาะของตัวอย่างที่ศึกษา อธิบายวิธีการศึกษา แผนการทดลองทางสถิติ วิธีการเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ และการแปรผล

7. ผลการศึกษา (Results) รายงานผลที่ค้นพบ ตามลำดับขั้นตอนของการวิจัย อย่างชัดเจนได้ใจความถ้าผลไม่ซับซ้อน และมีตัวเลขไม่มาก ควรใช้คำบรรยาย แต่ถ้ามีตัวเลขหรือตัวแปรมาก ควรใช้ตารางหรือแผนภูมิแทน ไม่ควรมีเกิน 5 ตารางหรือแผนภูมิ

8. วิจารณ์และสรุปผล (Discussion and Conclusion) แสดงให้เห็นว่าผลการศึกษาตรงกับวัตถุประสงค์และเปรียบเทียบกับสมมติฐานของงานวิจัยที่ตั้งไว้หรือแตกต่างไปจากผลงานที่มีผู้รายงานไว้ก่อนหรือไม่ อย่างไร เหตุผลใดจึงเป็นเช่นนั้น และมีพื้นฐานอ้างอิงที่เชื่อถือได้ และให้จบด้วยข้อเสนอแนะที่จะนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ หรือทิ้งประเด็นคำถามการวิจัย ซึ่งเป็นแนวทางสำหรับการวิจัยต่อไป

9. ตาราง รูป ภาพ แผนภูมิ (Tables, Figures, and Diagrams) ควรคัดเลือกเฉพาะที่จำเป็นแทรกไว้ในเนื้อเรื่อง โดยเรียงลำดับให้สอดคล้องกับคำอธิบายในเนื้อเรื่อง และต้องมีคำอธิบายสั้นๆ ที่สื่อความหมายได้สาระครบถ้วน

*****กรณีที่เป็น*ตาราง*คำอธิบายอยู่ด้านบน ถ้าเป็น*รูปภาพ แผนภูมิ* คำอธิบายอยู่ด้านล่าง (สำหรับรูปภาพจะต้องส่งในรูปแบบของอิเล็คทรอนิกส์ไฟล์ jpg.)*****

10. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgements) ระบุสั้น ๆ ว่างานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนและความช่วยเหลือจากองค์กรใด หรือผู้ใดบ้าง

11. เอกสารอ้างอิง (References) ระบุรายการเอกสารที่นำมาใช้อ้างอิงให้ครบถ้วน โดยใช้อ้างอิงแบบ **APA (American Psychological Association)** คือ ให้เรียงเอกสารที่ใช้อ้างอิงทั้งหมดตามลำดับตัวอักษรตัวแรกของรายการทีอ้างอิง โดยยึดวิธีการเรียงลำดับตามแบบพจนานุกรม โดยมีเอกสารอ้างอิงภาษาไทยก่อนภาษาต่างประเทศ

1. รูปแบบและตัวอย่างการอ้างอิงหนังสือ

ผู้แต่ง.\(ปีที่พิมพ์).*ชื่อบทความ* (ครั้งที่พิมพ์).\สถานที่เมืองพิมพ์: สำนักพิมพ์หรือโรงพิมพ์.

ผู้แต่ง.\(ปีที่พิมพ์).ชื่อบทความ.\ ใน ชื่อบรรณาธิการ (บรรณาธิการ).*ชื่อหนังสือ* (ครั้งที่พิมพ์,\ หน้า\ เลขหน้าที่อ้าง)สถานที่เมืองพิมพ์:\ สำนักพิมพ์.

ดังตัวอย่าง:

พิมพ์ระวี โรจน์รุ่งสัตย์. (2553). *การท่องเที่ยวชุมชน* (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.

2. รูปแบบและตัวอย่างการอ้างอิงในวิทยานิพนธ์

ผู้แต่ง.\(ปีที่พิมพ์).*ชื่อบทความ*.\ (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิตหรือวิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต),\ ชื่อจังหวัดมหาวิทยาลัย,\ ชื่อมหาวิทยาลัย.

ผู้แต่ง.\(ปีที่พิมพ์).*ชื่อบทความ*.\ วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิตหรือวิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต),\ ชื่อจังหวัดมหาวิทยาลัย,\ ชื่อมหาวิทยาลัย. สืบค้นวันที่ เดือน ปี,\ จาก (ระบุ URL)

ดังตัวอย่าง:

ชุติพงศ์ ร่มสนธิ์. (2551). *การคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน และสิ่งปกคลุมดิน โดยใช้แบบจำลอง CA-MARKOV บริเวณลุ่มน้ำแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่*. (วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

3. การอ้างอิงในวารสาร

ผู้แต่ง.\(ปีที่พิมพ์).ชื่อบทความ.*ชื่อวารสาร,\ ปีที่*(ฉบับที่), เลขหน้าที่, เลขหน้า.

ดังตัวอย่าง:

วีระภาส คุณรัตนสิริ. (2563). การศึกษาเปรียบเทียบแบบจำลอง CA-Markov และแบบจำลอง CLUE-S เพื่อคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินพื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติ จังหวัดน่าน. *วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์, 19*(2), 78-100.

4. รายงานจากการประชุมทางวิชาการ

ผู้แต่ง.\(ปีที่พิมพ์).\ชื่อบทความ.\ใน\, ชื่อหนังสือ (เลขหน้า).\ สถานที่พิมพ์: สำนักพิมพ์.

ดังตัวอย่าง:

จันจิรา แก้วอ่อน. (2565). การสำรวจและทำแผนที่การท่องเที่ยวบ้านนาคูหา จังหวัดแพร่. *การประชุมวิชาการ (Proceedings) ทรัพยากรธรรมชาติ สารสนเทศภูมิศาสตร์ และสิ่งแวดล้อม ครั้งที่ 6 (NatGen 6th)*, วันที่ 24 – 25 กุมภาพันธ์ 2565 (น. 279 – 291). กรุงเทพฯ: ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

5. การอ้างจากข่าว

ชื่อผู้แต่ง.\(ปีพิมพ์,วัน เดือน).\ชื่อหัวข้อข่าว.*ชื่อหนังสือพิมพ์*,\เลขหน้า. สืบค้นจาก...

ดังตัวอย่าง:

มิ่งสรรพ์ ขาวสอาด. (2560, 24 พฤศจิกายน). ท่องเที่ยวไทย อานิสงส์ถ้วนหน้า. มติชนออนไลน์. สืบค้นจาก https://www.matichon.co.th /columnists/news_740965.

6. การอ้างจากบทความจากเว็ปไซต์

ผู้แต่ง.\(ปีที่พิมพ์).*ชื่อเรื่อง*.\ สืบค้นจาก ....

ดังตัวอย่าง:

อารยา จันทร์สกุล. (2561). *Overtourism ผลกระทบและแนวทางการจัดการเพื่อความยั่งยืน.* สืบค้นจาก https://www.bot.or.th/Thai/MonetaryPolicy/Southern/ReasearchPaper/Overtourism.pdf.

ข้อมูลในการติดต่อ:

หน่วยวิจัยเพื่อการพัฒนานวัตกรรมเชิงพื้นที่ (**RUSID**)
คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา
19 หมู่ 2 ตำบลแม่กา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา 56000
โทร. 0 54-466666 ต่อ 2314
E-mail: rusid@up.ac.th

วารสารวิชาการเพื่อการพัฒนานวัตกรรมเชิงพื้นที่ (JSID)

ประจำปีที่ 7 ฉบับที่ 3 กันยายน - ธันวาคม 2569 (Vol.7, No.3, September-December, 2026)

การวิเคราะห์ปัจจัยความต้องการของผู้ใช้บริการงานไปรษณีย์กองกลาง มหาวิทยาลัยพะเยา

การทำนายมะเร็งปอดจากภาพ CT scan โดยใช้ Convolutional Neural Network

การออกแบบและพัฒนาระบบนำทางผู้พิการทางสายตาด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

การพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อตรวจนับจำนวนเมล็ดพืชจากภาพถ่ายโดยอัตโนมัติ

การพัฒนาระบบการจัดเตรียมอุปกรณ์และวัสดุวิทยาศาสตร์ผ่านระบบออนไลน์
สำหรับการเรียนการสอนปฏิบัติการ สาขาจุลชีววิทยาและปรสิตวิทยา คณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ มหาวิทยาลัยพะเยา

การพัฒนาแชทบอทแบบ Rule-Based เพื่อควบคุมมาตรฐานการจัดทำรายงานโครงการวิจัยของนักศึกษา

การประยุกต์ใช้การเรียนรู้เชิงลึกและการประมาณค่าความหนาแน่นแบบเคอร์เนลเพื่อระบุพื้นที่วิกฤต: กรณีศึกษาการจัดการการท่องเที่ยวอย่างยั่งยืนในภาคเหนือ

การพัฒนาซอฟต์แวร์ตรวจจับวัตถุเคลื่อนที่และบันทึกภาพอัจฉริยะด้วยกล้อง webcam เพื่อการประยุกต์ใช้ในความปลอดภัยขององค์กรธุรกิจ

การประเมินความสัมพันธ์เชิงสถิติและการวิเคราะห์ความแปรผันเชิงช่วงเวลาของค่าความขุ่นด้วยข้อมูลดาวเทียมแบบอนุกรมเวลา บริเวณแม่น้ำกก จังหวัดเชียงราย

การประเมินความหลากหลายและการกระจายตัวของสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกในพื้นที่อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่

การจัดการขยะมูลฝอยแบบมีส่วนร่วมโดยใช้เทคโนโลยีและการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมเศรษฐกิจหมุนเวียนในเทศบาลเมืองกาญจนบุรี

การพัฒนาแบบจำลองการจำแนกพื้นที่ปลูกอ้อยด้วยภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-1 และ Sentinel-2

การพัฒนาและประเมินประสิทธิผลของรูปแบบการดูแลผู้ป่วยโรคไม่ติดต่อเรื้อรังด้วยการแพทย์ทางไกล
แบบบูรณาการชุมชน โดยคณะกรรมการพัฒนาคุณภาพชีวิต ระดับอำเภอคลองเขื่อน จังหวัดฉะเชิงเทรา

การท่องเที่ยวเชิงอายุยืน: การสังเคราะห์วรรณกรรมอย่างเป็นระบบและทิศทางการวิจัยในบริบทประเทศไทย

JSID
The Journal of Spatial Innovation Development

กองบรรณาธิการวารสารวิชาการเพื่อการพัฒนานวัตกรรมเชิงพื้นที่
คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา
19 หมู่ 2 ตำบลแม่กา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา 56000
โทรศัพท์ : 054-466666 ต่อ 2314 Email: rusid@up.ac.th