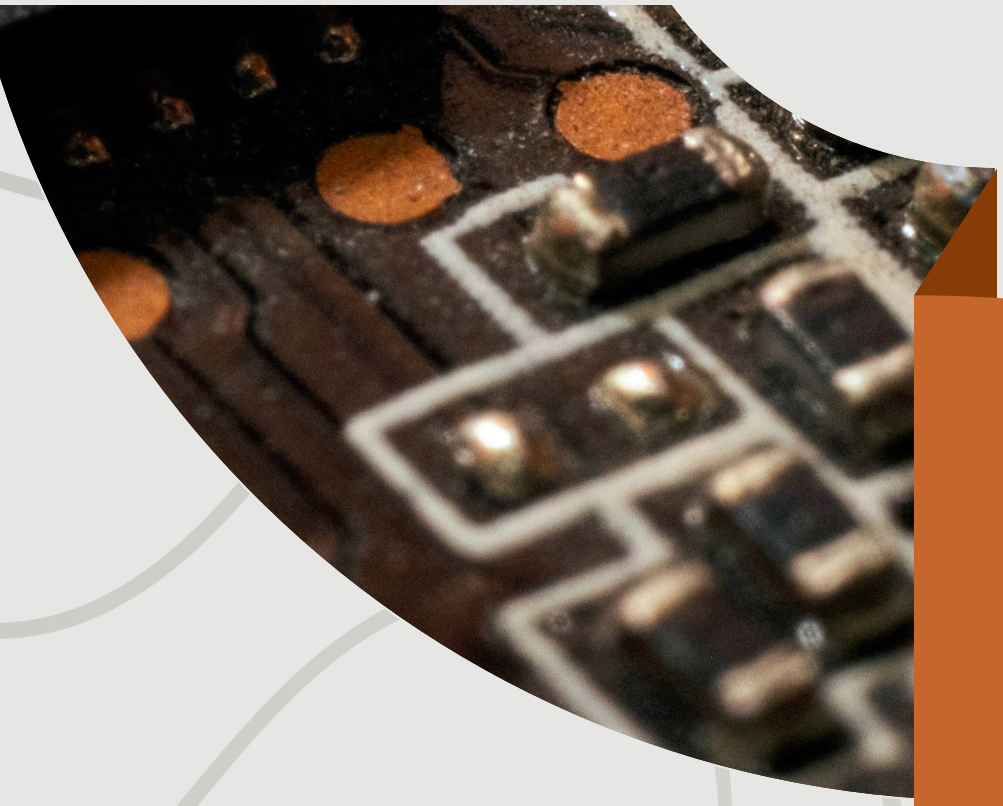


วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

ปีที่ 36 ฉบับที่ 1 (มกราคม - มิถุนายน 2569)
VOL.36 NO.1 JANUARY - JUNE 2026



2026

SCIENCE JOURNAL CRU

ISSN: 1685 - 0491
ISSN: 2697 - 4584
(ONLINE)

กองบรรณาธิการ

บรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริทิพ	วะศินรัตน์	มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ	สวัสดิ์นะที	มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

กองบรรณาธิการผู้ทรงคณวุฒิภายนอก

ศาสตราจารย์ ดร.พัลลภ	พิริยะสุรวงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ศาสตราจารย์ ดร.ธวัชชัย	ศุภดิษฐ์	มหาวิทยาลัยนครพนม
ศาสตราจารย์ ดร.อลงกลด	แทนออมทอง	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.ประภาส	จงสถิตย์วัฒนา	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รองศาสตราจารย์ ดร.ฉัฐไชย์	ลีนาวงศ์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ ดร.วีระพงศ์	จิ๋วประดิษฐ์กุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.จิราภรณ์	เมืองประทับ	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขต สุราษฎร์ธานี
รองศาสตราจารย์ ดร.สนธยา	สีละมาด	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
รองศาสตราจารย์ ดร.วีระพันธ์	ด้วงทองสุข	มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
รองศาสตราจารย์ ดร.อุไรวรรณ	เจริญกีรติกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร.รัชดาภรณ์	อมรชีวิน	มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นฤวรรณ	ภัทรพงศ์ดิลก	มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา
ดร.ณัฏวลิณคล	เศรษฐปราโมทย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตตาก

กองบรรณาธิการภายใน

รองศาสตราจารย์ ดร.จรัล	รัตนโชตินันท์	มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดวงพร	กาซาสบิ	มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติพล	กสิภาร์	มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤติยา	ศรีบุญเพ็ง	มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา	เทียมปัญญา	มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์	สมุทรักษ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภาพันธ์	โชคอำนวยพร	มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
ดร.ณัฐธิดา	บังเมฆ	มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
ดร.ธีระศักดิ์	ขอพลอยกลาง	มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

กองจัดการวารสาร

นางสาวธันชนก	รัตนะคุณ	มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
นางสาววาสนา	บุญหมื่น	มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

บทบรรณาธิการ

วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม (Science Journal Chandrakasem Faculty of Science Chandrakasem Rajabhat University) ซึ่งฉบับนี้เป็นปีที่ 36 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2569 โดยวารสารฉบับนี้ประกอบด้วยบทความวิจัยทั้งสิ้น 8 เรื่อง และทุกบทความได้รับการพิจารณาโดยผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 3 ท่าน

โดยวารสารวิชาการวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษมออนไลน์ใช้ระบบ ThaiJO 2.0 มีหมายเลข ISSN (Online) คือ 2697 – 4584 และวารสารเป็นเล่ม มี ISSN (Print) คือ 1685 – 0491 ซึ่งวารสารฯได้รับรองคุณภาพวารสารกลุ่มที่ 2 ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2568 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2572 โดยมีกำหนดออกปีละ 2 ฉบับ (ฉบับที่ 1: มกราคม – มิถุนายน และฉบับที่ 2: กรกฎาคม – ธันวาคม) วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม เผยแพร่ผลงานทางวิชาการด้านวิทยาศาสตร์ของอาจารย์ นักวิจัย นักวิชาการ นักศึกษา และบุคคลทั่วไปที่สนใจ จากสถาบันอุดมศึกษาและหน่วยงานต่าง ๆ ทั้งบทความวิจัยและบทความวิชาการ ซึ่งกองบรรณาธิการวารสารวิชาการวิทยาศาสตร์มุ่งมั่นที่จะปรับระดับคุณภาพของวารสารให้พร้อมที่จะเข้าสู่การประเมินคุณภาพวารสารในฐาน TCI ที่สูงขึ้นต่อไป

กองบรรณาธิการวารสารขอขอบคุณผู้นิพนธ์บทความทุกท่านที่ให้ความไว้วางใจในการส่งบทความ จำนวน 8 บทความ เพื่อตีพิมพ์ในวารสารฯ ปีที่ 36 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2569 กองบรรณาธิการฯ ขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่กรุณาสละเวลาในการตรวจสอบคุณภาพของบทความ และให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ยิ่ง สุดท้าย ขอขอบคุณ ทีมงานที่เกี่ยวข้องทุกคนที่ทำให้รูปเล่มของวารสารให้มีความสมบูรณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริทิพ วะศินรัตน์

บรรณาธิการวารสารวิชาการวิทยาศาสตร์

สารบัญ / Index

บทความวิจัย / Research Article

การศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ของกล้วย 1
Mathematical Model Investigation of Solar Drying for Banana

การออกแบบปรับปรุงห้องน้ำผู้สูงอายุในที่พักอาศัย 10
Design Improvement for Elderly-Friendly Bathrooms in Residential Dwellings

การประเมินดัชนีความเสี่ยงของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในตัวอย่างดินจากสวนกาแฟ จังหวัดชุมพร ประเทศไทย 21
Assessment of the Risk Index of Radionuclides in Soil Samples from Coffee Plantations in Chumphon Province, Thailand

การทดสอบประสิทธิภาพการรับกำลังอัดของคอนกรีตในโครงสร้างอาคารเก่าในมหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม 36
ด้วย REBOUND HAMMER
Testing the Compressive Strength of Concrete in Old Building Structures at Chandrakasem Rajabhat University Using the Rebound Hammer

การพัฒนาโครงร่างซอฟต์แวร์ระบบบันทึกรายการกิจกรรมการประมวลผลข้อมูลส่วนบุคคล 47
ตามพระราชบัญญัติคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล พ.ศ. 2562
Development of Software Framework for Record of Processing Activities (RoPA) Accordance with The Personal Data Protection Act B.E. 2562

การบูรณาการกระบวนการประเมินผลอย่างรวดเร็ว (RAP) ร่วมกับโมเดลภาษาปัญญาประดิษฐ์ เพิ่มประสิทธิภาพ 64
ความมั่นคงและความยั่งยืนในการจัดการน้ำ โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษามูลบน
Integrating Rapid Appraisal Process (RAP) and AI Language Models to Optimize Water Management Stability and Sustainability of Moon Bon Project

การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันการเทียบโอนรายวิชาหลักสูตรเทคโนโลยีสารสนเทศและเศรษฐกิจดิจิทัล 81
Web Application Development of Information Technology and Digital Economy for Credit Transfer Course

สมบัติการหารลงตัวด้วย k ของผลบวกของจำนวนฟีโบนัชชีดัดแปลง เมื่อ k=2,3,4,5 97
Divisibility by k of the Sum of Modified Fibonacci Numbers for k=2,3,4,5

การศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ของกล้วย

สุรจิตร์ พระเมือง[1*], วีรชน มีฐาน[1], เลิศพันธุ์ เพียรสร้างสรรค์[2], สำราญ เลิศคอนสาร[2] และชฎารัฐ ขวัญนาค[3]

[1] คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย
[2] คณะวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาลัยพิชญบัณฑิต
[3] คณะวิทยาศาสตร์ วิทยาลัยพิชญบัณฑิต

บทคัดย่อ

กลไกการลดความชื้น โดยอาศัยลมร้อนจากแสงอาทิตย์ด้วยการถ่ายโอนความร้อน ในการวิจัยนี้นำกล้วยน้ำว้าไปอบลดความชื้นในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดเรือนกระจกขนาดเล็ก ด้านรับแสงเป็นผิวโค้งพาราโบลา ผนังโดยรอบเป็นแผ่นโพลีคาร์บอเนตใส มีแผ่นเหล็กทาสีดำด้านเป็นแผ่นดูดรังสีอาทิตย์ด้านล่าง ทำการเก็บข้อมูล 3 รอบ ๆ ละ 3 วัน ความชื้นเริ่มต้น 235, 63, 236.40 และ 248.58 %d.b. มีความชื้นสุดท้าย 23.37, 19.16 และ 26.38 %d.b. ตามลำดับ ที่ความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ย 543.8 W/m^2 อัตราการไหลของลมร้อนโดยเฉลี่ย 0.08 kg/s ได้อัตราการอบแห้งเฉลี่ย 9.05 kg/h เมื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ตามแบบจำลองของ Newton and Lewis ได้สมการเป็น $MR = e^{-0.1022t}$ (r^2 = 0.9784, RMSD = 0.1059, MBD = 0.0112) แบบจำลองของ Page ได้สมการเป็น $MR = e^{-0.6465t^{0.1866}}$ (r^2 = 0.9592, RMSD = 0.1463, MBD = 0.0214) แบบจำลองของ Modified Page ได้สมการเป็น $MR = e^{-0.5470t^{0.1864}}$ (r^2 = 0.9784, RMSD = 0.1060, MBD = 0.0110) แบบจำลองของ Henderson and Pabis ได้สมการเป็น $MR = 1.2055e^{-0.1012t}$ (r^2 = 0.9784, RMSD = 0.0832, MBD = 0.0069) แบบจำลองของ Two Term ได้สมการเป็น $MR = 0.9162e^{-0.0511t} + 0.0110e^{-0.0511t}$ (r^2 = 0.9449, RMSD = 0.1350, MBD = 0.0182) และแบบจำลองของ Wang and Singh ได้สมการเป็น $MR = 1 - 0.0633t + 0.0010t^2$ (r^2 = 0.9882, RMSD = 0.0602, MBD = 0.0036) โดยแบบจำลองที่เหมาะสมกับการอบแห้งกล้วยทั้งลูกจะเป็นแบบจำลองของ Wang and Singh

คำสำคัญ: กล้วยอบพลังงานแสงอาทิตย์ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ตู้เรือนกระจก

** ผู้รับผิดชอบบทความ : surajitr@lru.ac.th*

***รับบทความ**: 5 พฤษภาคม 2568* ***แก้ไขเสร็จ:** 4 กันยายน 2568* ***ตอบรับบทความ**: 11 กันยายน 2568*

Mathematical Model Investigation of Solar Drying for Banana

Surajitr Pramuang[1*], Weerachon Meethan[1], Lerdpan Piansangsan[2], Samran Lertkonsarn[2] and Chadarat khwunnak[3]

[1] Faculty of Science Technology, Loei Rajabhat University
[2] Faculty of Engineering, Pitchayabundit College
[3] Faculty of Science, Pitchayabundit College

Abstract

Mechanism of solar drying is the heat transfer by hot air. This study fabricated a small greenhouse solar dryer for banana drying. Its sun facing side designed to be the parabolic curve covering with the clear polycarbonate sheet. The solar absorber at the bottom painted flat black color. There were 3 rounds of experiments with 3 days for each. The initial moisture contents were 235,63, 236.40 and 248.58 %d.b. obtaining final moisture contents of 23.37, 19.16 and 26.38 %d.b., respectively under solar intensity of 543.8 W/m^2 and hot air flow rate 0.08 kg/s. The drying rate was averaged of 9.05 kg/h. The mathematical model for drying was formulated. The equation of Newton and Lewis model was MR = $e^{-0.1022t}$ (r^2 = 0.9784, RMSD = 0.1059, MBD = 0.0112). The equation of Page model was MR = $e^{-0.6465t^{0.1866}}$ (r^2 = 0.9592, RMSD = 0.1463, MBD = 0.0214). The equation of Modified Page model was MR = $e^{-0.5470t^{0.1864}}$ (r^2 = 0.9784, RMSD = 0.1060, MBD = 0.0110). The equation of Henderson and Pabis model was MR = $1.2055e^{-0.1012t}$ (r^2 = 0.9874, RMSD = 0.0832, MBD = 0.0069). The equation of Two Term model was MR = $0.9162e^{-0.0511t} + 0.0110e^{-0.0511t}$ (r^2 = 0.9449, RMSD = 0.1350, MBD = 0.0182). And, the equation of Wang and Singh model was MR = $1 - 0.0633t + 0.0010t^2$ (r^2 = 0.9882, RMSD = 0.0602, MBD = 0.0036). The appropriate mathematical model for banana drying was Wang and Singh model.

Keywords: Solar dried banana, Mathematical model, Solar dryer, Greenhouse cabinet

** Corresponding author: surajitr@lru.ac.th*

***Received**: 5 May 2025* ***Revised:** 4 September 2025* ***Accepted**: 11 September 2025*

1. บทนำ

การอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เป็นหนึ่งในวิธีถนอมอาหารที่มีภูมิปัญญามาตั้งแต่อดีต โดยการลดความชื้นจากอาหารอาศัยพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ ทำให้น้ำในอาหารนั้นระเหยออกมา ด้วยกลไกการเปลี่ยนเฟสของน้ำ และผลต่างความดันไอน้ำที่อยู่ด้านในอาหารกับบริเวณผิวผ่านรูขนาดเล็ก การตากแดดเป็นกระบวนการลดความชื้นที่ใช้เทคโนโลยีน้อยที่สุด จนกระทั่งการอบแห้งแบบผสมผสานที่ใช้แหล่งความร้อนเสริมจากหลากหลายแหล่ง และเทคโนโลยีการกักเก็บความร้อนภายในระบบอบแห้งให้มีอัตราการอบแห้งที่สูงขึ้น มีอุณหภูมิที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดที่ใช้ความร้อนแตกต่างกันเพื่อรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ การพัฒนาเทคโนโลยีการอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ มีหลักคิดที่สำคัญ 2 ประการคือ การกักเก็บพลังงานความร้อนไว้ภายในเครื่องอบแห้งให้สูญเสียน้อยที่สุด ที่เรียกว่า Minimal heat losses และการขยายเวลาการอบแห้งเพิ่มขึ้นในเวลาที่ไม่มีแสงอาทิตย์ที่เรียกว่า Extended heat sources พร้อม ๆ กับการกำจัดหรือระบายไอน้ำที่ออกจากผลิตภัณฑ์ ด้วยกระบวนการถ่ายโอนมวลสารและกระบวนการถ่ายโอนความร้อนที่จำเป็นต้องมีการออกแบบระบบอบแห้งที่เหมาะสมกับชนิดของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากใช้อุณหภูมิในการอบแห้งแตกต่างกัน เทคโนโลยีการกักเก็บความร้อนและการลดการสูญเสียความร้อน จะมุ่งเน้นการเลือกใช้วัสดุที่มีสมบัติทางความร้อนที่เหมาะสม ทั้งในประเด็นการดูดกลืนความร้อน การแผ่รังสีความร้อน การสะท้อนและการทะลุผ่านของแสง จึงเป็นเหตุผลที่เครื่องอบแห้งด้านรับแสงอาทิตย์จะเลือกวัสดุโปร่งใสที่มีค่าทะลุผ่านสูง ๆ แผ่นดูดรังสีอาทิตย์จะเลือกวัสดุที่มีสมบัติการแผ่รังสีความร้อนสูง ๆ ส่วนวัสดุด้านอื่น ๆ จะเลือกวัสดุที่เป็นฉนวนกันความร้อนเพื่อลดการนำความร้อน เป็นต้น ในขณะที่เทคโนโลยีการขยายเวลาการอบแห้งให้นานขึ้นจะเลือกใช้แหล่งความร้อนเสริมอื่น ๆ เช่น หลอดรังสีอินฟราเรด ระบบไมโครเวฟ เชื้อเพลิงชีวมวล หรือการใช้วัสดุกักเก็บความร้อน และอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน เป็นต้น

จากการพัฒนาระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อลดระยะเวลาการอบแห้ง เพิ่มหรือรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้รับความสนใจมาอย่างต่อเนื่อง จากเปรียบเทียบชนิดวัสดุที่เป็นกระจกใสกับแผ่นโพลีคาร์บอเนตใส เป็นแผ่นรับรังสีอาทิตย์ของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็กชนิดเรือนกระจก พบว่าการใช้กระจกใสทำให้อุณหภูมิสูงกว่า 3 – 5 °C ใช้เวลาสั้นกว่า 3% (Munphookiew et al., 2023) ในการศึกษาการอบแห้งที่ผ่านมาพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการอบแห้งและสมรรถนะของระบบอบแห้งกล้วย ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ของลมร้อนและความเร็วลม (Lingayat et al., 2017; Shankar et al., 2024) เมื่อมีการใช้แผ่นรับรังสีอาทิตย์ผลิตลมร้อนให้กับระบบอบแห้งแบบผสม (Hybrid Indirect Passive solar dryer, HIP) จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนของการอบแห้งกล้วยได้สูงขึ้น 18% เทียบกับการอบแห้งแบบปกติ (Ssemwanga et al., 2020) ในการทำนายจลนพลศาสตร์การอบแห้งของกล้วยแบบฝานเป็นชิ้นบาง ด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ภายใต้เงื่อนไขต่าง ๆ เมื่อใช้พลังงานความร้อนจากขดลวดไฟฟ้า โดยเพ็ญพร นิ่มนวล และคณะ (2565) ได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Modified GAB ในขณะที่ณัฐภัค อิ่มเอิบ และกิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์ (2564) ได้ศึกษาจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งกล้วยด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรด พบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมคือ Midilli สำหรับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีแผ่นรับรังสีอาทิตย์ผลิตลมร้อนนั้น Lingayat et al. (2017) พบว่าเหมาะสมกับแบบจำลองของ Wang and Singh ในบทความนี้ได้นำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการอบแห้งกล้วยน้ำว้าด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ความร้อนเสริมเทอร์โมอิเลกทริกจากแผ่นเพลเทียร์ โดยใช้ไฟฟ้าจากเซลแสงอาทิตย์เป็นแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับระบบ ซึ่งใช้รูปแบบการไหลของอากาศแบบพาบังคับด้วยพัดลมที่ติดตั้งในท่อ

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาอัตราการอบแห้งและสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการอบแห้งกล้วยน้ำว้า

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ขอบเขตการวิจัย

ด้านตัวแปร จะตรวจวัดอุณหภูมิอากาศภายในเครื่องอบแห้งและอากาศแวดล้อม ความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในเครื่องอบแห้งและอากาศแวดล้อม ชั่งน้ำหนักกล้วย ภายใต้ความเข้มแสงอาทิตย์ ขณะเวลาใด ๆ เพื่อคำนวณค่าความชื้น อัตราส่วนความชื้นและอัตราการอบแห้ง พร้อมทั้งวัดความเร็วลมในระบบเพื่อวัดอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการอบแห้ง จะเลือกใช้บางแบบจำลองที่เหมาะสม จำนวน 6 แบบจำลอง

ด้านเวลา ดำเนินการเก็บข้อมูลในช่วงเดือนมกราคม 2567 ซึ่งเป็นช่วงที่สภาพท้องฟ้าค่อนข้างโปร่ง ทำให้ได้รับแสงอาทิตย์ต่อเนื่องในระหว่างการเก็บข้อมูล

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดเรือนกระจกขนาดความกว้าง 110 cm ยาว 150 cm และสูง 80 cm ติดตั้งบนขาตั้งสูงจากพื้น 85 cm ด้านรับแสงอาทิตย์โค้งพาราโบลา ด้านล่างใช้แผ่น เหล็กทาสีดำด้านเป็นแผ่นดูดรังสีความร้อน ผนังโดยรอบใช้แผ่นโพลีคาร์บอเนตใส ชั้นตากผลิตภัณฑ์อยู่กึ่งกลาง มีประตูเปิดปิดด้านหลัง ดังภาพที่ 1 ต่อท่ออากาศขาเข้าจากทางด้านล่าง โดยเจาะปล่องอากาศขนาด 8 cm x 12 cm ติดตั้งพัดลมระบายอากาศที่ใช้เซลแสงอาทิตย์เป็นแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า วัดอุณหภูมิของอากาศที่จุดต่าง ๆ และความเร็วลมด้วย hotwire anemometer Testo 425 วัดความชื้นสัมพัทธ์อากาศด้วยวัดอุณหภูมิ Testo 625 วัดความเข้มรังสีอาทิตย์ด้วย Kipps and Zonen CMP3 Pyranometer และชั่งน้ำหนักกล้วยด้วยเครื่องชั่งดิจิทัลทศนิยม 2 ตำแหน่ง



ภาพที่ 1 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดเรือนกระจก

3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การอบแห้งกล้วยโดยเลือกกล้วยน้ำว้าที่สุกเหลืองทั้งลูก ปอกเปลือกชั่งน้ำหนักทีละลูก วางกระจายบนชั้นวางจนเต็มพื้นที่ดังภาพที่ 2 แล้วชั่งน้ำหนักทุกชั่วโมง จนสิ้นสุดการทดลอง เก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศแวดล้อม อุณหภูมิอากาศขาเข้า และอุณหภูมิภายใน พร้อมกับวัดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่จุดเดียวกัน วัดความเร็วลมที่ปล่องอากาศขาเข้าและความเข้มรังสีอาทิตย์ การวัดข้อมูลต่าง ๆ ทุก 10 นาที ระหว่างเวลา 09:00 – 16:00 น.



ภาพที่ 2 การวางกล้วยตากบนชั้นวางในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

คำนวณหาอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ ตามสมการ

$$\text{อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ} = rvA \ \ (kg/s) \quad (1)$$

เมื่อ r เป็นความหนาแน่นเฉลี่ยของอากาศ เท่ากับ 1.204 kg/m^3, v เป็นความเร็วลมในท่อ (m/s) และ A เป็นพื้นที่หน้าตัดของปล่องอากาศ (m^2) คำนวณค่าความชื้นมาตรฐานแห้งของกล้วย และอัตราส่วนความชื้น ตามสมการ

$$\text{ปริมาณความชื้น (M.C.)} = \frac{w_t - d}{d} \times 100 \ (\%d.b.) \quad (2)$$

$$\text{อัตราส่วนความชื้น (MR)} = \frac{w_t}{w_i} \quad (3)$$

โดยที่ d เป็นสภาพแห้ง ซึ่งเป็นน้ำหนักแห้งของกล้วย หาได้จากการนำกล้วยที่สิ้นสุดขั้นตอนการอบในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 °C นาน 1 – 2 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งน้ำหนักไม่มีการเปลี่ยนแปลง w_t เป็นน้ำหนักขณะเวลา t ใด ๆ และ w_i คือน้ำหนักกล้วยตอนเริ่มต้น

อัตราการอบแห้ง (DR) เป็นอัตราส่วนของค่าความชื้นต่อระยะเวลาของการอบแห้ง เป็นปริมาณของน้ำในผลิตภัณฑ์ออก กำจัดออกไปต่อเวลาในช่วงเวลาของการอบแห้ง คำนวณได้จากสมการ

$$\text{อัตราการอบแห้ง (DR)} = \frac{m_i - m_t}{t} \ (kg/h) \quad (4)$$

เมื่อ m_i และ m_t เป็นมวลของน้ำในผลิตภัณฑ์เทียบกับมวลแห้งผลิตภัณฑ์ขณะเริ่มต้น และขณะเวลา t ใด ๆ

3.4 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้ง

คุณลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดส่งผลต่อจลนพลศาสตร์ของการอบแห้ง สำหรับการอบแห้งวัสดุชั้นบางมีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายอัตราส่วนความชื้นของวัสดุ ซึ่งในที่นี้จะเลือกมา 6 แบบจำลอง ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งชั้นบางที่เลือกใช้ (สุรจิตร์ พระเมือง, 2566)

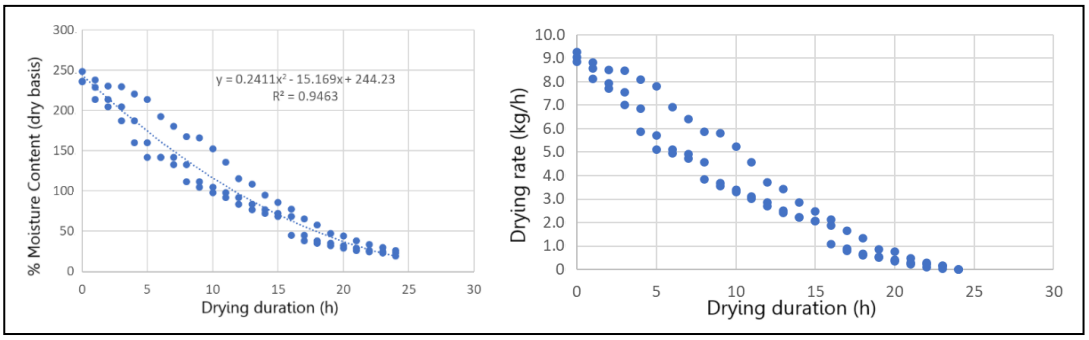
Mathematical model	Equation	Parameter
Newton and Lewis	MR = exp(-kt)	k = drying constant
Page	MR = exp(-kt^n)	n = arbitrary constant
Modified Page	MR = exp(-kt)^n	a = function coefficient

ตารางที่ 1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งชั้นบางที่เลือกใช้ (สุรจิตร์ พระเมือง, 2566) (ต่อ)

Mathematical model	Equation	Parameter
Henderson and Pabis	MR = a exp(-kt)	b = function coefficient
Two Term	MR = a exp(-kt) + b exp(-kt)	t = time of drying
Wang and Singh	MR = 1 + at + bt^2	

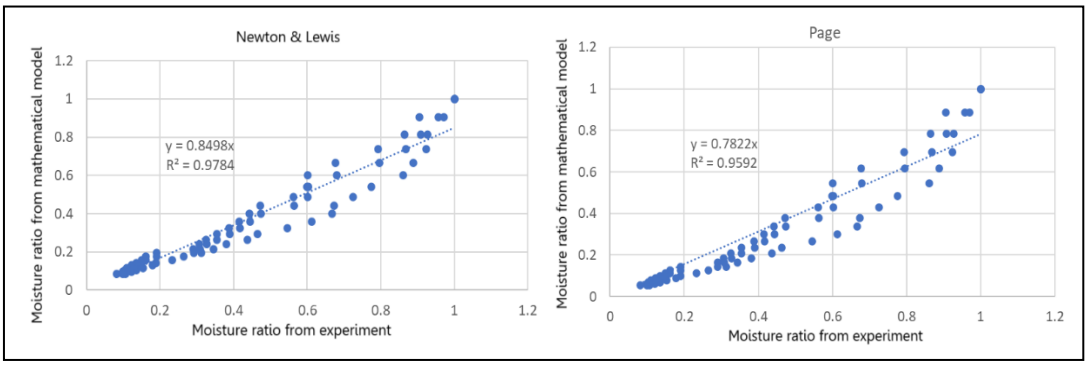
4. ผลการวิจัย

การเก็บข้อมูลระหว่าง 18 – 31 มกราคม 2567 สภาพท้องฟ้าโปร่งมีความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ย 543.8 W/m^2 ความเร็วลมระหว่าง 0.58 – 0.61 m/s ทำให้อัตราการไหลเชิงมวลของลมร้อนเฉลี่ย 0.08 kg/m^3 อุณหภูมิอากาศแวดล้อมระหว่าง 28.2 – 36.4 °C ความชื้นสัมพัทธ์อากาศแวดล้อมระหว่าง 38.9 – 70.1 %Rh อุณหภูมิในเครื่องอบแห้งสูงสุด 68.8 °C มีค่าเฉลี่ย 39.5 °C ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 12.3 %Rh การทดลอง 3 รอบ กล้วยมีความชื้นเริ่มต้น 235.63, 236.40, 248.58 %d.b. เวลาทดลองรอบละ 3 วัน ได้ความชื้นสุดท้าย 23.37%, 19.16% และ 26.38 %d.b. ตามลำดับ ดังภาพที่ 3 มีค่าอัตราการอบแห้ง เท่ากับ 9.05 kg/h

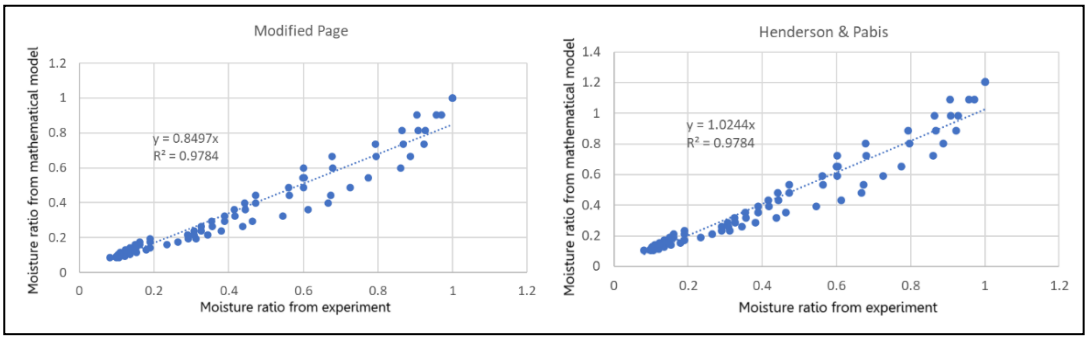


ภาพที่ 3 ความชื้นมาตรฐานแห้งและอัตราการอบแห้งของกล้วยจากการทดลอง

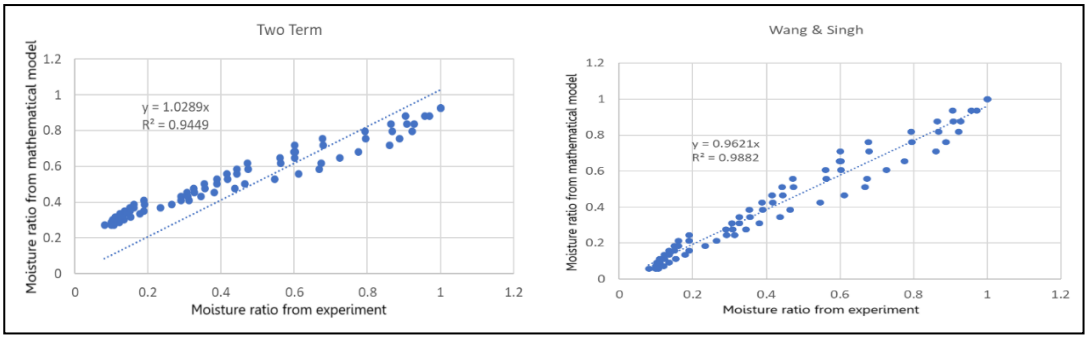
เมื่อสร้างสมการจลนพลศาสตร์เพื่อทำนายการอบแห้ง ตามแบบจำลองทางศาสตร์ของ Newton and Lewis, Page, Modified Page, Henderson and Pabis, Two Term และ Wang and Singh เปรียบเทียบผลการทำนายค่าอัตราส่วนความชื้นกับการทดลอง พร้อมวิเคราะห์สถิติค่ารากที่สองการเบี่ยงเบนเฉลี่ย (Root mean square deviation, RMSD) ค่าเบี่ยงเบนไบแอสเฉลี่ย (Mean bias deviation, MBD) และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson's relative coefficient, r^2) ได้ผลดังภาพที่ 4 ถึงภาพที่ 6 และตารางที่ 2 โดยพบว่า แบบจำลองของ Henderson and Pabis และแบบจำลองของ Two Term ได้แนวโน้มผลการทำนายมีค่าสูงกว่าผลลัพธ์จากการทดลอง ในขณะที่แบบจำลองที่เหลือ ได้ผลการทำนายมีค่าแนวโน้มต่ำกว่าผลลัพธ์จากการทดลอง



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ของผลการทำนายจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Newton and Lewis และ Page กับผลลัพธ์จากการทดลอง



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ของผลการทำนายจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Modified Page และ Henderson and Pabis กับผลลัพธ์จากการทดลอง



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ของผลการทำนายจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Two Term และ Wang and Singh กับผลลัพธ์จากการทดลอง

ตารางที่ 2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งกล้วยน้ำว้า

Mathematical models	k	n	a	b	RMSD	MBD	r^2
Newton and Lewis	0.1022	-	-	-	0.1059	0.0112	0.9784
Page	0.6465	0.1869	-	-	0.1463	0.0214	0.9592
Modified Page	0.5470	0.1866	-	-	0.1060	0.0112	0.9784
Henderson and Pabis	0.1012	-	1.2055	9	0.0832	0.0069	0.9784
Two Term	0.0511	-	0.9162	0.0110	0.1350	0.0182	0.9449
Wang and Singh	-	-	-0.0633	0.0010	0.0602	0.0036	0.9882

จากตารางที่ 2 สถิติที่ใช้ในการตัดสินใจได้แก่ค่ารากที่สองการเบี่ยงเบนเฉลี่ย (RMSD) ค่าเบี่ยงเบนไบแอสเฉลี่ย (MBD) และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (r^2) ซึ่งค่ารากที่สองการเบี่ยงเบนเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนไบแอสเฉลี่ย แสดงให้เห็นว่าผลการคำนวณของแบบจำลองใดเข้าใกล้ศูนย์ ส่วนค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน มีค่าเข้าใกล้ 1 จะเป็นแบบจำลองที่มีความเหมาะสมมากที่สุด เนื่องจากค่า RMSD และ MBD บ่งบอกแนวโน้มของผลการคำนวณตามแบบจำลองเอนเอียงในทิศทางมากกว่าหรือน้อยกว่าค่าที่ได้จากการวัด ถ้าเป็นบวกแสดงว่ามากกว่าผลการวัดในทางกลับกันเป็นลบแสดงว่าน้อยกว่าผลการวัด ในขณะที่ค่า r^2 บ่งบอกว่าผลการวัดกับผลการคำนวณในแบบจำลองมีความสัมพันธ์กันมากน้อยเพียงใด หากมีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันมาก โดยจะเห็นว่าแบบจำลองของ Wang and Singh มีความเหมาะสมมากที่สุด

5. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่อธิบายกลไกการถ่ายโอนความร้อนและการถ่ายโอนมวลสารของน้ำในผลิตภัณฑ์ ซึ่งแบบจำลองของ Newton and Lewis มีตัวแปรที่ไม่ซับซ้อน ทำนายการอบแห้งผลิตภัณฑ์ได้หลากหลายชนิด ทั้งประเภทอาหารและผลผลิตทางการเกษตร มักจะให้ผลการทำนายต่ำกว่าค่าที่ได้จากการทดลองเล็กน้อย จะเห็นว่าความชันของกราฟเท่ากับแบบจำลองของ Modified Page ซึ่งปรับปรุงแบบจำลองของ Page สำหรับอธิบายช่วงเวลาการอบแห้งที่ยาวนานขึ้น ตามกฎการแพร่ของฟิกส์ (Fick's second law of diffusion) ที่ไอน้ำมีการแพร่แบบไม่คงตัว เป็นผลมาจากอัตราส่วนความชื้นสูงหรือเป็นแบบชั้นหนา แต่จากผลการทดลองพบว่ายังไม่สอดคล้องมากนักกับแบบจำลองของ Newton and Lewis แบบจำลองของ Page และ Modified Page ในช่วงแรกของการอบแห้งที่มีอัตราส่วนความชื้นสูงแบบจำลองทั้ง 3 แบบจะมีความแปรปรวนสูง จนกระทั่งอัตราส่วนความชื้นลดน้อยลง เข้าใกล้ความชื้นสมดุล ค่าความแปรปรวนจะมีค่าต่ำลงเข้าใกล้ค่าจากการทดลอง สำหรับแบบจำลองของ Henderson and Pabis ได้เพิ่มค่าสัมประสิทธิ์ในสมการของ Newton and Lewis เพื่ออธิบายกลไกการแพร่ที่ไม่คงตัวตามกฎการแพร่ของฟิกส์ โดยเฉพาะช่วงแรกของการอบแห้งที่มีอัตราส่วนความชื้นสูง ซึ่งผลการคำนวณตามแบบจำลอง ส่งผลให้มีแนวโน้มมีค่ามากกว่าผลลัพธ์จากการทดลอง เช่นเดียวกันกับแบบจำลอง Two Term ส่วนแบบจำลองของ Wang and Singh ใช้อธิบายกลไกการระเหยของน้ำแบบไม่เป็นเชิงเส้น พบว่าผลการทำนายตามแบบจำลองสอดคล้องกับผลการทดลองมากที่สุด จึงเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมกับการอบแห้งกล้วยทั้งเป็นแบบแผ่นและแบบทั้งลูก (Ertekin & Firat, 2017; Kadam & Dhingra, 2011)

การทำนายจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งกล้วยน้ำว้า ตามแบบจำลองของ Newton and Lewis ได้สมการเป็น $MR = e^{-0.1022t}$ ($r^2 = 0.9784$) มีค่ารากที่สองของการเบี่ยงเบนเฉลี่ย (RMSD) 0.1059 ค่าเบี่ยงเบนไบแอสเฉลี่ย (MBD) 0.0112 แบบจำลองของ Page ได้สมการเป็น $MR = e^{-0.6465t^{0.1866}}$ ($r^2 = 0.9592$) มีค่ารากที่สองของการเบี่ยงเบนเฉลี่ย (RMSD) 0.1463 ค่าเบี่ยงเบนไบแอสเฉลี่ย (MBD) 0.0214 แบบจำลองของ Modified Page ได้สมการเป็น $MR = e^{-0.5470t^{0.1864}}$ ($r^2 = 0.9784$) มีค่ารากที่สองของการเบี่ยงเบนเฉลี่ย (RMSD) 0.1060 ค่าเบี่ยงเบนไบแอสเฉลี่ย (MBD) 0.0110 แบบจำลองของ Henderson and Pabis ได้สมการเป็น $MR = 1.2055e^{-0.1012t}$ ($r^2 = 0.9784$) มีค่ารากที่สองของการเบี่ยงเบนเฉลี่ย (RMSD) 0.0832 ค่าเบี่ยงเบนไบแอสเฉลี่ย (MBD) 0.0069 และแบบจำลองของ Two Term ได้สมการเป็น $MR = 0.9162e^{-0.0511t} + 0.0110e^{-0.0511t}$ ($r^2 = 0.9449$) มีค่ารากที่สองของการเบี่ยงเบนเฉลี่ย (RMSD) 0.1350 ค่าเบี่ยงเบนไบแอสเฉลี่ย (MBD) 0.0182 แบบจำลองของ Wang and Singh ได้สมการเป็น $MR = 1 - 0.0633t + 0.0010t^2$ ($r^2 = 0.9882$) มีค่ารากที่สองของการเบี่ยงเบนเฉลี่ย (RMSD) 0.0602 ค่าเบี่ยงเบนไบแอสเฉลี่ย (MBD) 0.0036 เมื่อพิจารณาจากค่ารากที่สองของการเบี่ยงเบนเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนไบแอสเฉลี่ยที่ต่ำที่สุดจะพบว่าแบบจำลองของ Wang and Singh ได้ผลการทำนายสอดคล้องกับผลการทดลองมากที่สุด จึงเป็นแบบจำลองที่เหมาะสมในการอบแห้งกล้วยน้ำว้าทั้งลูก

ข้อเสนอแนะในการวิจัย

1. ควรมีการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นควบคู่กับการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับกล้วยน้ำว้า จะช่วยให้ทราบกลไกการอบแห้งกล้วยน้ำว้า นำไปสู่การออกแบบเครื่องมือในการอบแห้งที่เหมาะสม กับกำลังผลิตได้

2. การลดความชื้นของกล้วยทั้งลูกกับแผ่นกล้วย ซึ่งมีความหนาที่แตกต่างกัน ส่งผลต่ออัตราการอบแห้ง (DR) และอัตราส่วนความชื้น (MR) จากระยะเวลาของการระเหยของไอน้ำภายในท่อแคปิลลารีที่แตกต่างกัน และสัมพันธ์กับอุณหภูมิในการอบแห้ง ดังนั้นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดที่มีขนาดของรูคาปิลลิรีแตกต่างกัน และแต่ละแบบจำลอง จะเหมาะสมกับอุณหภูมิของการอบแห้งด้วยเช่นกัน จากปัจจัยของความแตกต่างของอัตราการอบแห้งและอัตราส่วนความชื้น

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย ที่สนับสนุนทุนการวิจัย ในโครงการวิจัยงานมูลฐาน (Fundamental Fund) และขอขอบคุณศูนย์วิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย ที่สนับสนุนเครื่องมือวัดสำหรับการวิจัย ให้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

ณัฐภัค อิ่มเอิบ, และกิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์. (2564). การศึกษาจลนพลศาสตร์และคุณภาพชิ้นกล้วยอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์, 16*(3), 24–36. https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/psru-jite/article/view/244275

เพ็ญพร นิ่มนวล, นภาลัย เหล่ามะลอ, และสราวุฒิ แนบเนียว. (2565). การศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ความชื้นสมดุลของกล้วยน้ำว้า. *วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี, 17*(1), 50–58. https://itechjournal.tru.ac.th/ojs/index.php/tru-i-tech/article/view/155

สุรจิตร์ พระเมือง. (2566). พลังงานสุริยะ. มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย.

Ertekin, C., & Firat, M. Z. (2017). A comprehensive review of thin layer drying models used in agricultural products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 57*(4), 701–717. https://doi.org/10.1080/10408398.2014.910493

Kadam, D. M., & Dhingra, D. (2011). Mass transfer of banana slices during osmo-convective drying. *Journal of Food Process Engineering, 34*(2), 511–532. https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2009.00373.x

Lingayat, A., Chandramohan, V. P., & Raju, V. R. K. (2017). Design, development and performance of indirect type solar dryer for banana. *Energy Procedia, 109*, 409–416. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.041

Munpookiew, T., Pratummasoot, N., Kongsri, W., & Kallayalert, Y. (2023). An investigation of solar dryers with different covers for solar-dried cultivated bananas. *Progress in Applied Science and Technology, 13*(2), 45–52. https://doi.org/10.14456/past.2023.8

Sathya, S. K., Nalik, P. D., Naveenbabu, N., Cardoza, N., & Rameez, S. (2024). Design, fabrication and analysis of solar banana dryer. *AIP Conference Proceedings, 3060*(1). https://doi.org/10.1063/5.0196540

Ssemwanga, M., Makule, E., & Kayondo, S. I. (2020). Performance analysis of an improved solar dryer integrated with multiple metallic solar concentrators for drying fruits. *Solar Energy, 204*, 419–428. https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.04.065

การออกแบบปรับปรุงห้องน้ำผู้สูงอายุในที่พักอาศัย

โชติวัฒน์ บุญสรรค์[1*]

[1] มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นงานทบทวนวรรณกรรมเชิงคุณภาพที่วิเคราะห์การออกแบบและพัฒนาห้องน้ำสำหรับผู้สูงอายุในประเทศไทย และภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยใช้ข้อมูลทุติยภูมิจากงานวิจัย กฎหมาย นโยบายภาครัฐ และกรณีศึกษาท้องถิ่น เพื่อรองรับบริบทที่ประเทศไทยกำลังก้าวเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุระดับสุดยอด (Super-aged Society) ที่คาดว่าจะมีผู้สูงอายุเกินร้อยละ 28 ภายในปี พ.ศ. 2571 ห้องน้ำถือเป็นพื้นที่เสี่ยงสูงต่ออุบัติเหตุล้มที่ส่งผลต่อสุขภาพและคุณภาพชีวิตของผู้สูงวัย งานวิจัยเน้นการประยุกต์ใช้หลักอารยสถาปัตย์ (Universal Design) และการออกแบบที่เน้นความปลอดภัยและความสะดวกในการใช้งาน เช่น การเลือกใช้ประตูแบบบานเลื่อนหรือบานผลักออกด้านนอกเพื่ออำนวยความสะดวกในการช่วยเหลือกรณีฉุกเฉิน การติดตั้งราวจับในตำแหน่งสำคัญ พื้นผิวกันลื่น ทางเดินกว้างไม่น้อยกว่า 1.50 เมตร และการหลีกเลี่ยงมุมแหลมหรือสิ่งกีดขวาง พร้อมการออกแบบที่ส่งเสริมการระบายอากาศและลดความร้อนโดยไม่พึ่งพาพลังงานไฟฟ้ามากเกินไป ผลการวิเคราะห์จากกรณีศึกษาพบว่าการปรับปรุงห้องน้ำตามแนวทางนี้ช่วยลดอุบัติเหตุล้มได้มากกว่าร้อยละ 40 และเพิ่มความมั่นใจในการดำเนินชีวิตของผู้สูงอายุอย่างมีนัยสำคัญ โดยสอดคล้องกับกรอบแนวคิด Active Ageing Framework ขององค์การอนามัยโลก (WHO) อย่างไรก็ตาม เนื่องจากข้อมูลส่วนใหญ่เป็นข้อมูลทุติยภูมิ จึงแนะนำให้มีการศึกษาวิจัยเชิงปริมาณเพิ่มเติมเพื่อสนับสนุนการกำหนดนโยบายที่อยู่อาศัยสำหรับผู้สูงอายุอย่างเหมาะสมและยั่งยืนในอนาคต

คำสำคัญ: การออกแบบปรับปรุงห้องน้ำผู้สูงอายุในที่พักอาศัย การออกแบบปรับปรุงห้องน้ำผู้สูงอายุ การออกแบบปรับปรุงห้องน้ำสูงอายุ ที่พักอาศัย

** ผู้รับผิดชอบบทความ : chotiwat49@gmail.com*

***รับบทความ**: 30 มิถุนายน 2568* ***แก้ไขเสร็จ:** 7 สิงหาคม 2568* ***ตอบรับบทความ**: 26 สิงหาคม 2568*

Design Improvement for Elderly-Friendly Bathrooms in Residential Dwellings

Chotiwat Bunsan[1*]

[1] Phranakhon Rajabhat University

Abstract

This article presents a qualitative literature review analyzing the design and development of bathrooms for elderly individuals in Thailand and the Southeast Asian region. Secondary data from research studies, laws, government policies, and local case studies were synthesized to address the context of Thailand's transition into a super-aged society, with an expected elderly population exceeding 28% by 2028. Bathrooms are identified as high-risk areas for falls, adversely affecting the health and quality of life of older adults. The study emphasizes the application of Universal Design principles and design approaches that prioritize safety and accessibility, including the use of outward-opening or sliding doors to facilitate emergency assistance, strategically placed grab bars, non-slip surfaces, pathways with a minimum width of 1.5 meters, and the avoidance of sharp corners or obstacles. Additionally, design strategies that enhance natural ventilation and reduce heat gain without excessive reliance on electrical energy are highlighted. Findings from case studies indicate that such bathroom modifications can reduce fall incidents by over 40% and significantly improve elderly users' confidence in daily living. These outcomes align with the World Health Organization's Active Ageing Framework, which promotes health, safety, and social participation among older adults. Given the predominant reliance on secondary data, the article recommends further quantitative research to evaluate impacts and support policy development for age-appropriate housing in Thailand sustainably.

Keywords: Elderly Bathroom Design in Residential Settings, Bathroom Design for the Elderly, Bathroom Renovation, Elderly, Residential Housing

** Corresponding author: chotiwat49@gmail.com*

***Received**: 30 June 2025* ***Revised:** 7 August 2025* ***Accepted**: 26 August 2025*

1. บทนำ

ประเทศไทยกำลังก้าวเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุระดับสุดยอด (Super-aged Society) โดยมีผู้สูงอายุอายุ 60 ปีขึ้นไปเกินร้อยละ 28 ซึ่งในปี 2565 คิดเป็นร้อยละ 20.2 ของประชากรทั้งหมด และคาดว่าจะเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 28 ภายในปี 2571 (สำนักงานสถิติแห่งชาติ, 2567) การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างประชากรนี้ส่งผลกระทบต่อการออกแบบพื้นที่ใช้สอยภายในบ้าน โดยเฉพาะ “ห้องน้ำ” ซึ่งเป็นพื้นที่เสี่ยงสูงต่อการเกิดอุบัติเหตุลื่นล้มที่นำไปสู่การบาดเจ็บรุนแรงในผู้สูงอายุ (Bangkok Hospital, 2024) ในระดับภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ประชากรสูงอายุเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยปี 2566 มีผู้สูงอายุถึงกว่า 85 ล้านคน หรือร้อยละ 12.6 ของประชากรทั้งหมด (UNFPA, 2023) ประเทศในภูมิภาค เช่น ไทย สิงคโปร์ และมาเลเซีย ต่างเผชิญความท้าทายในการออกแบบที่อยู่อาศัยที่สอดคล้องกับข้อจำกัดทางกายภาพของผู้สูงวัย ภายใต้นโยบายส่งเสริมสิ่งแวดล้อมที่เป็นมิตรกับผู้สูงวัย (ASEAN, 2024) การปรับปรุงห้องน้ำเพื่อรองรับการเคลื่อนไหวที่ลดลงและลดความเสี่ยงล้มจึงเป็นสิ่งจำเป็น

บทความนี้จึงมุ่งเน้นการทบทวนวรรณกรรม กฎหมาย นโยบาย และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งวิเคราะห์กรณีศึกษาของโครงการปรับปรุงห้องน้ำสำหรับผู้สูงอายุในประเทศไทย เพื่อเสนอแนวทางการพัฒนาที่ปลอดภัยและเหมาะสมกับบริบทของสังคมไทย การส่งเสริมความรู้และสร้างความตระหนักแก่เจ้าของบ้านและชุมชนจึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อให้การติดตั้งอุปกรณ์ช่วยเหลือตรงตามมาตรฐานสากลและตอบโจทย์ความต้องการของผู้สูงอายุ (กระทรวงสาธารณสุข, 2568) แนวทางการพัฒนาห้องน้ำที่เหมาะสมนี้สอดคล้องกับกรอบแนวคิดขององค์การอนามัยโลก (WHO) และความร่วมมือในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ในการส่งเสริมสภาพแวดล้อมที่เอื้อต่อการดำรงชีวิตอย่างอิสระและปลอดภัยสำหรับผู้สูงวัย เพื่อเสริมสร้างคุณภาพชีวิตและลดภาระการดูแลในครอบครัวและสังคมอย่างยั่งยืน

อย่างไรก็ตาม แม้ว่าจะมีนโยบายและโครงการส่งเสริมการปรับปรุงห้องน้ำในระดับชุมชนและครัวเรือนอยู่บ้างแล้ว แต่ยังขาดงานวิจัยที่สังเคราะห์แนวทางการออกแบบที่สอดคล้องกับสภาพแวดล้อมท้องถิ่น พร้อมกับประเมินผลสัมฤทธิ์ของการปรับปรุงในเชิงประจักษ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริบทของประเทศไทยที่มีความหลากหลายด้านวัฒนธรรม เศรษฐกิจ และการเข้าถึงทรัพยากร บทความนี้จึงมีเป้าหมายเพื่อเติมเต็มช่องว่างดังกล่าว โดยนำเสนอการวิเคราะห์กรณีศึกษาและข้อเสนอเชิงแนวทางที่สามารถปรับใช้ได้จริงในระดับชุมชน

1.1 ระเบียบวิธีวิจัย (Research Methodology)

บทความฉบับนี้เป็นการวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative Research) โดยใช้วิธีการวิจัยเชิงเอกสาร (Documentary Research) เป็นหลัก เพื่อรวบรวมและสังเคราะห์ข้อมูลทุติยภูมิ (secondary data) จากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ เช่น กฎหมาย กฎกระทรวง นโยบายภาครัฐ งานวิจัย บทความวิชาการ และรายงานขององค์การระหว่างประเทศที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาห้องน้ำสำหรับผู้สูงอายุในประเทศไทยและภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

การรวบรวมข้อมูลครอบคลุมช่วงปี พ.ศ. 2546–2568 โดยคัดเลือกเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดการออกแบบเพื่อผู้สูงอายุ (Universal Design, อารยสถาปัตย์) นโยบายด้านสิ่งแวดล้อมสำหรับผู้สูงอายุ รวมถึงข้อมูลสถานการณ์ประชากรและผลกระทบของการปรับปรุงที่อยู่อาศัยต่อความปลอดภัยของผู้สูงอายุ

การวิเคราะห์ข้อมูลใช้วิธีการสังเคราะห์แบบมีโครงสร้าง (Thematic Analysis) เพื่อจัดกลุ่มและวิเคราะห์เนื้อหาในประเด็นสำคัญ เช่น นโยบายรัฐ, กฎระเบียบ, สถานการณ์ประชากร, ปัญหาการล้ม, แนวทางการออกแบบ และกรณีศึกษาในพื้นที่จริง

อย่างไรก็ตาม บทความนี้ไม่ได้ทำการเก็บข้อมูลเชิงปริมาณโดยตรง หรือทำการวิจัยเชิงประจักษ์ (empirical research) ที่มีการสำรวจภาคสนามหรือทดลองเชิงสถิติ ผลการวิจัยจึงเป็นการวิเคราะห์และสังเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพเท่านั้น ซึ่งเหมาะสมสำหรับการศึกษากรอบนโยบายและแนวทางการออกแบบเพื่อความปลอดภัยของผู้สูงอายุในระยะเริ่มต้น

ในอนาคต แนะนำให้มีการวิจัยเชิงปริมาณหรือวิจัยทดลองเพิ่มเติม เพื่อวัดผลกระทบของการปรับปรุงห้องน้ำในเชิงสถิติและการใช้งานจริงของกลุ่มผู้สูงอายุอย่างเป็นระบบต่อไป

1.2 กรณีศึกษา (Case Study)

เพื่อให้ได้ข้อมูลเชิงลึกและสะท้อนภาพการนำแนวทางการออกแบบห้องน้ำสำหรับผู้สูงอายุไปใช้จริงในบริบทท้องถิ่น บทความนี้ยังได้นำเสนอ กรณีศึกษา จากโครงการปรับปรุงที่อยู่อาศัยสำหรับผู้สูงอายุในจังหวัดต่าง ๆ ของประเทศไทย โดยเฉพาะโครงการที่ดำเนินการโดย สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.), กรมอนามัย, และองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่มีการปรับห้องน้ำภายในบ้านผู้สูงอายุ

กรณีศึกษาถูกคัดเลือกโดยใช้เกณฑ์ต่อไปนี้:

- เป็นพื้นที่ที่มีการดำเนินโครงการปรับปรุงบ้านหรือห้องน้ำตามแนวทาง “อารยสถาปัตย์”
- มีข้อมูลเปรียบเทียบ **ก่อน–หลังการปรับปรุง** เช่น อัตราการหกล้ม ความพึงพอใจของผู้ใช้งาน และผลกระทบต่อผู้ดูแล
- เป็นโครงการที่มีความร่วมมือระหว่างภาครัฐ ท้องถิ่น และครอบครัวผู้สูงอายุ

การเก็บข้อมูลกรณีศึกษาใช้การวิเคราะห์เอกสารรายงานผลการดำเนินงานจากหน่วยงานรัฐและการสังเคราะห์จากบทสัมภาษณ์ในพื้นที่ ที่มีการเผยแพร่ต่อสาธารณะ รวมถึงการวิเคราะห์ผลสัมฤทธิ์จากตัวชี้วัด เช่น:

- การลดอุบัติเหตุจากการล้มในห้องน้ำ
- การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมผู้สูงอายุในการใช้ห้องน้ำ
- การมีส่วนร่วมของครอบครัวในการดูแลหลังการปรับปรุง

กรณีศึกษาที่สำคัญ ได้แก่:

- พื้นที่นำร่องใน จ.ลำปาง ที่มีการติดตั้งราวจับและพื้นกันลื่นภายใต้ความร่วมมือกับ รพ.สต.
- โครงการ “บ้านปลอดภัยผู้สูงอายุ” ใน จ.ขอนแก่น ที่ติดตั้งเซนเซอร์เตือนภัยในห้องน้ำ
- พื้นที่ชนบทใน จ.สุรินทร์ ที่ชุมชนร่วมออกแบบและจัดสรรงบประมาณจากกองทุนหมู่บ้านเพื่อติดตั้งสุขภัณฑ์แบบยกสูง

การใช้กรณีศึกษาช่วยยืนยันประสิทธิภาพของนโยบายระดับชาติเมื่อถูกนำไปปรับใช้ในพื้นที่จริง และเปิดให้เห็นปัจจัยแวดล้อมอื่น ๆ เช่น วัฒนธรรม ความเข้าใจในครัวเรือน และความพร้อมของทรัพยากร ที่ส่งผลต่อความสำเร็จของการออกแบบเพื่อผู้สูงอายุ

2. วิธีดำเนินการวิจัย

1. การพัฒนาห้องน้ำที่ปลอดภัยจะมีแนวทางดังนี้

1.1 อ้างอิงจากกฎหมายและนโยบายของรัฐบาลไทย

รัฐบาลไทยได้ให้ความสำคัญกับการปรับสภาพแวดล้อมในที่อยู่อาศัยผ่านกฎหมายและนโยบาย เช่น พระราชบัญญัติผู้สูงอายุ พ.ศ. 2546 ที่ให้สิทธิด้านความปลอดภัยและสวัสดิการในการดำรงชีวิตแก่ผู้สูงอายุ รวมถึงการสนับสนุนการปรับปรุงบ้านเดิมให้เหมาะสมกับการใช้งานของผู้สูงวัย (กระทรวงการพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์, 2567) นอกจากนี้ แผนพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์ พ.ศ. 2566–2570 ยังเน้นการส่งเสริม “บ้านปลอดภัยสำหรับผู้สูงอายุ” ที่สอดรับกับบริบททางวัฒนธรรมไทย โดยเฉพาะในพื้นที่ชนบทที่ผู้สูงวัยมักอาศัยอยู่ตามลำพังหรือกับคู่สมรสเท่านั้น การดำเนินงานในมิตินี้จึงเป็นการลงทุนทางสังคมที่สำคัญเพื่อลดภาระของระบบสาธารณสุขในอนาคต และเสริมสร้างคุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุอย่างยั่งยืน

1.2 สถานการณ์ผู้สูงอายุในประเทศไทย

ประเทศไทยได้เข้าสู่สังคมสูงวัยอย่างสมบูรณ์ตั้งแต่ปี 2565 โดยมีประชากรที่มีอายุ 60 ปีขึ้นไปร้อยละ 20.2 ของประชากรทั้งประเทศ และคาดว่าในปี 2574 จะกลายเป็นสังคมสูงวัยระดับสุดยอด (Super-aged Society) โดยมีสัดส่วนผู้สูงอายุเกินร้อยละ 28 (สำนักงานสถิติแห่งชาติ, 2567) การเปลี่ยนผ่านเข้าสู่โครงสร้างประชากรลักษณะนี้ ทำให้ภาครัฐต้องเร่งดำเนินการปรับนโยบายและโครงสร้างพื้นฐานเพื่อรองรับความต้องการของผู้สูงอายุอย่างเป็นระบบ หนึ่งในนั้นคือพระราชบัญญัติผู้สูงอายุ พ.ศ. 2546 ซึ่งครอบคลุมถึงการคุ้มครองสิทธิด้านที่อยู่อาศัยและความปลอดภัย รวมทั้งการสนับสนุนการปรับปรุงสภาพแวดล้อมภายในบ้าน เช่น ห้องน้ำ

ทางเดิน และพื้นที่ใช้สอยทั่วไป ให้เหมาะสมกับสภาพร่างกายที่เปลี่ยนแปลงของผู้สูงวัย (กระทรวงการพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์, 2567)

1.3 กฎกระทรวงที่กล่าวถึงความเท่าเทียมกันโดยระบุถึงพื้นที่ต่าง ๆ

ในระดับกฎระเบียบ กฎหมายไทยยังได้บังคับใช้กฎกระทรวง พ.ศ. 2548 ว่าด้วยการจัดสิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับคนพิการและผู้สูงอายุในอาคารสาธารณะ ซึ่งครอบคลุมถึงการจัดพื้นที่ใช้สอย เช่น ห้องน้ำ ทางลาด พื้นผิวกันลื่น และราวจับ เพื่อป้องกันอุบัติเหตุและสนับสนุนความเป็นอิสระของผู้สูงวัย (สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมและพัฒนาคุณภาพชีวิตคนพิการ, 2567) แม้กฎดังกล่าวจะมุ่งเน้นในระดับอาคารขนาดใหญ่ แต่แนวทางเดียวกันควรถูกนำไปประยุกต์ใช้ในบ้านพักอาศัย โดยเฉพาะการออกแบบห้องน้ำที่เป็นมิตรกับผู้สูงอายุ เช่น การติดตั้งราวจับในตำแหน่งที่เหมาะสม การใช้พื้นผิวกันลื่น การออกแบบระดับพื้นให้เรียบเสมอกัน และการติดตั้งสุขภัณฑ์ที่สามารถใช้งานได้สะดวกโดยไม่ต้องออกแรงมาก ทั้งหมดนี้ล้วนเป็นองค์ประกอบสำคัญของสิ่งแวดล้อมที่ส่งเสริมความปลอดภัยและลดภาระของผู้ดูแล

1.4 การให้ความเท่าเทียมกันของผู้สูงอายุในระดับนานาชาติ

ในระดับนานาชาติ หลายประเทศที่เข้าสู่สังคมสูงวัยก่อนหน้า เช่น ญี่ปุ่น เกาหลีใต้ และสิงคโปร์ ต่างเร่งพัฒนาระบบสนับสนุนในบ้านสำหรับผู้สูงอายุ ทั้งการใช้เทคโนโลยีช่วยเหลือ เช่น ระบบเตือนภัยอัตโนมัติ และการออกแบบ Universal Design เพื่อให้บ้านสามารถใช้งานได้กับทุกวัย (UNFPA, 2567) ญี่ปุ่นประสบความสำเร็จในการพัฒนาอุปกรณ์ช่วยในห้องน้ำ เช่น โถสุขภัณฑ์อัจฉริยะและราวพยุงแบบยืดหยุ่น ขณะที่สิงคโปร์กำลังประสบปัญหาการดูแลผู้สูงอายุที่อยู่อาศัยลำพังจำนวนมาก จึงเน้นส่งเสริมโครงการปรับปรุงบ้านเชิงรุก สำหรับประเทศไทย แม้มีนโยบายรองรับจากรัฐและหน่วยงานท้องถิ่น แต่ในทางปฏิบัติยังขาดการบูรณาการ ระหว่างงบประมาณ การให้คำปรึกษาทางเทคนิค และการมีส่วนร่วมของครอบครัวและชุมชน โดยเฉพาะการปรับปรุงห้องน้ำในบ้านที่ยังขาดมาตรฐานกลางที่ชัดเจน (กรมอนามัย, 2567) การยกระดับคุณภาพการออกแบบห้องน้ำในระดับครัวเรือนจึงเป็นภารกิจเร่งด่วนที่ต้องดำเนินการควบคู่กับการให้ความรู้แก่ประชาชน

1.5 รัฐบาลไทยกับการพัฒนานวัตกรรมและสภาพแวดล้อมสำหรับผู้สูงอายุ

ในช่วงปี พ.ศ. 2567–2568 รัฐบาลไทยได้เร่งดำเนินโครงการพัฒนานวัตกรรมและสภาพแวดล้อมภายในที่อยู่อาศัยสำหรับผู้สูงอายุอย่างต่อเนื่อง โดยเน้นการติดตั้งทางลาด ราวจับ อุปกรณ์ช่วยเคลื่อนไหว รวมถึงระบบเซนเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหวและโทรศัพท์ฉุกเฉินภายในบ้าน เพื่อเพิ่มความปลอดภัยและลดความเสี่ยงจากอุบัติเหตุ โดยเฉพาะในพื้นที่เสี่ยง เช่น ห้องน้ำซึ่งเป็นจุดเกิดอุบัติเหตุล้มบ่อยที่สุด (กระทรวงสาธารณสุข, 2568) นอกจากนี้ยังสนับสนุนการเข้าถึงบริการสุขภาพผ่านระบบโทรเวชกรรม (Telemedicine) และส่งเสริมการจัดตั้งเครือข่ายชุมชนดูแลผู้สูงอายุในท้องถิ่นเพื่อสร้างความช่วยเหลือแบบครบวงจร (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ, 2568) อย่างไรก็ดี การพัฒนาที่อยู่อาศัยเพื่อผู้สูงอายุจำเป็นต้องได้รับความร่วมมือจากภาคประชาชนและเอกชน เพื่อให้เกิดการดูแลและปรับปรุงสิ่งแวดล้อมในบ้านอย่างยั่งยืนและครอบคลุมทุกด้าน

1.6 สถานการณ์ผู้สูงอายุในประเทศไทยกับปัญหาที่พบในห้องน้ำ

ประเทศไทยยังคงเผชิญกับปัญหาการพลัดตกหกล้มในผู้สูงอายุ ซึ่งถือเป็นสาเหตุการเสียชีวิตอันดับสองจากอุบัติเหตุไม่ตั้งใจรองจากอุบัติเหตุทางถนน โดยเฉพาะกลุ่มวัย 60 ปีขึ้นไปที่มีอัตราการล้มเพิ่มสูงตามอายุ (Bangkok Hospital, 2567) สาเหตุสำคัญส่วนหนึ่งมาจากสภาพภายในบ้านที่ไม่เอื้อต่อความปลอดภัย เช่น ห้องน้ำที่มีพื้นลื่น พื้นต่างระดับ ขาดราวจับ หรือมีแสงสว่างไม่เพียงพอ รวมถึงสิ่งกีดขวางอย่างพรมลื่น สายไฟ และเฟอร์นิเจอร์ที่วางไม่เหมาะสม (กรมอนามัย, 2567) การปรับปรุงห้องน้ำโดยนำแนวคิด “Universal Design” หรือการออกแบบเพื่อคนทั้งมวลมาประยุกต์ใช้จึงเป็นสิ่งจำเป็น ซึ่งออกแบบให้ทุกคนสามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัยและเท่าเทียมกัน ไม่ว่าจะเป็นผู้สูงอายุ ผู้พิการ หรือเด็กเล็ก (WHO, 2024) เช่น การติดตั้งราวจับที่ตำแหน่งเหมาะสม สุขภัณฑ์ที่ปรับระดับสูง-ต่ำได้ พื้นผิวกันลื่น ระบบแสงสว่างอัตโนมัติ และพื้นที่ว่างพอสำหรับใช้รถเข็นหรือไม้เท้า ซึ่งช่วยลดความเสี่ยงจากการล้มและเพิ่มความมั่นใจในการใช้ชีวิตประจำวัน

1.7 องค์ประกอบสำคัญในการออกแบบเพื่อความปลอดภัย

องค์ประกอบสำคัญของ Universal Design ได้แก่ ทางเดินแบบไม่มีระดับขั้น (No-Step), การมีราวจับตลอดแนวทางเดิน, ทางลาดสำหรับรถเข็น, การใช้วัสดุปูพื้นที่ไม่ลื่น และการจัดแสงสว่างอย่างเหมาะสม ซึ่งล้วนเป็นปัจจัยที่ช่วยลดโอกาสการหกล้มและเพิ่มความสะดวกในการเคลื่อนไหว (WHO, 2024) ในบริบทของประเทศไทย แนวคิดนี้ได้รับการพัฒนาภายใต้ชื่อ “อารยสถาปัตย์” ที่เน้นการออกแบบสิ่งปลูกสร้างและทางสัญจรให้เข้าถึงง่าย ปลอดภัย และตอบสนองความต้องการของทุกกลุ่มประชากร โดยเฉพาะผู้สูงอายุและผู้พิการ (สำนักงานส่งเสริมและพัฒนาคุณภาพชีวิตคนพิการ, 2567) การออกแบบทางเดินภายในบ้านจึงควรกว้างพอสำหรับอุปกรณ์ช่วยเดิน เช่น วอล์กเกอร์ หรือรถเข็น และไม่มีสิ่งกีดขวาง เช่น พรมลื่น สายไฟ หรือเฟอร์นิเจอร์ที่ขวางทางเดิน (กรมส่งเสริมการปกครองท้องถิ่น, 2567)

1.8 การออกแบบห้องน้ำเพื่อความปลอดภัย

โดยเฉพาะอย่างยิ่ง “ห้องน้ำ” ซึ่งถือเป็นพื้นที่เสี่ยงสูงสุดของการเกิดอุบัติเหตุล้มในผู้สูงอายุ ควรได้รับการออกแบบและปรับปรุงตามหลักอารยสถาปัตย์อย่างเคร่งครัด เพื่อเพิ่มความปลอดภัยและอำนวยความสะดวกในการใช้งานอย่างแท้จริง การติดตั้งราวจับในตำแหน่งที่เหมาะสม เช่น ราวจับข้างโถสุขภัณฑ์และในพื้นที่อาบน้ำ ช่วยป้องกันการล้มและลดแรงกดบนข้อเข่า นอกจากนี้ควรมีเก้าอี้รองนั่งสำหรับผู้ที่ต้องการพักระหว่างอาบน้ำ และใช้วัสดุปูพื้นที่มีคุณสมบัติไม่ลื่นเพื่อป้องกันการลื่นล้ม (กระทรวงสาธารณสุข, 2568) ระบบแสงสว่างควรติดตั้งให้เพียงพอ โดยเฉพาะแสงไฟแบบอัตโนมัติในเวลากลางคืนเพื่อช่วยให้ผู้สูงอายุสามารถมองเห็นทางได้ชัดเจนโดยไม่ต้องพึ่งพาแสงธรรมชาติ อีกทั้งหลีกเลี่ยงการออกแบบมุมแหลมและของมีคมในบริเวณทางเดินหรือในห้องน้ำเพื่อลดความเสี่ยงจากการบาดเจ็บ (กรมอนามัย, 2567)

1.9 รวมแนวคิดและการออกแบบเพื่อห้องน้ำสำหรับผู้สูงอายุ

การเชื่อมโยงแนวคิด Universal Design และอารยสถาปัตย์ในการออกแบบห้องน้ำจึงไม่เพียงช่วยลดอุบัติเหตุและเสริมสร้างความปลอดภัยเท่านั้น แต่ยังเพิ่มความมั่นใจและความเป็นอิสระในการดำเนินชีวิตประจำวันของผู้สูงอายุ ส่งผลให้ลดภาระของครอบครัวและระบบสาธารณสุขในระยะยาว การสร้างสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมเหล่านี้ยังสอดคล้องกับกรอบแนวคิด WHO’s Active Ageing Framework ที่มุ่งเน้นส่งเสริมสุขภาพ ความมั่นคง และการมีส่วนร่วมของผู้สูงอายุในสังคมอย่างยั่งยืน (WHO, 2002) ดังนั้น การพัฒนานวัตกรรมและการบูรณาการนโยบายในระดับประเทศ เพื่อสนับสนุนการออกแบบและปรับปรุงห้องน้ำในที่พักอาศัย จึงเป็นกุญแจสำคัญสู่การรองรับสังคมสูงวัยของไทยในอนาคต (กระทรวงสาธารณสุข, 2568; สำนักงานส่งเสริมและพัฒนาคุณภาพชีวิตคนพิการ, 2567)

1.10 งานวิจัยกับปัญหาที่พบ

งานวิจัยชี้ชัดว่าการปรับสภาพแวดล้อมภายในบ้านมีบทบาทสำคัญในการลดความเสี่ยงการล้มในผู้สูงอายุอย่างมีนัยสำคัญ เช่น การติดตั้งราวจับและระบบแสงสว่างที่เหมาะสม สามารถลดการบาดเจ็บจากการล้มได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Gillespie et al., 2012; Close et al., 2013) นอกจากนี้ เทคโนโลยีเซนเซอร์ตรวจจับการล้มและระบบแจ้งเตือนฉุกเฉิน ยังช่วยเพิ่มความรวดเร็วในการให้ความช่วยเหลือเมื่อเกิดอุบัติเหตุ (Kwon et al., 2017) การศึกษาของ Chiang et al. (2015) ยังพบว่าการจัดบ้านให้ปลอดจากสิ่งกีดขวาง เช่น พรมลื่นหรือเฟอร์นิเจอร์ขวางทางเดิน สามารถลดอุบัติการณ์การล้มได้ถึง 31% ขณะที่ Tinetti et al. (1994) รายงานว่าการประเมินความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อมควบคู่กับการออกแบบพื้นที่การเคลื่อนไหวที่เหมาะสมภายในบ้าน ช่วยลดโอกาสการล้มซ้ำในกลุ่มผู้สูงอายุที่เคยล้มมาก่อน

1.11 จุดเสี่ยงกับปัญหาที่พบในห้องน้ำ

ในบริบทของประเทศไทย การวิจัยโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส., 2564) พบว่าบ้านที่ได้รับการปรับปรุงตามแนวทางอารยสถาปัตย์ เช่น การติดตั้งราวจับ ทางลาด พื้นเรียบ และแสงสว่างเพียงพอ สามารถลดอัตราการล้มของผู้สูงอายุได้มากกว่า 40% เมื่อเทียบกับบ้านที่ไม่ได้รับการปรับปรุง นอกจากนี้การศึกษาโดยสำนักงานพัฒนานโยบายสุขภาพระหว่าง

ประเทศ (IHPP, 2563) ระบุว่าการอบรมให้ความรู้แก่ครอบครัวเกี่ยวกับ “จุดเสี่ยงในบ้าน” พร้อมแจกอุปกรณ์เสริมความปลอดภัย เช่น แถบกันลื่น และราวจับแบบพับเก็บได้ ช่วยเพิ่มความตระหนักรู้และลดพฤติกรรมเสี่ยงในการล้มอย่างมีนัยสำคัญ ขณะเดียวกัน ณัฐกิจ หาญบุญญานนท์ (2567) ได้พัฒนาระบบเตือนภัยอัจฉริยะภายในห้องน้ำ โดยใช้เซนเซอร์ตรวจจับการล้มและการเคลื่อนไหวผิดปกติในบ้านพักคนชรา ผลการทดลองพบว่าระบบดังกล่าวสามารถแจ้งเตือนเหตุฉุกเฉินได้อย่างรวดเร็วและลดระยะเวลาในการให้ความช่วยเหลือได้อย่างมีประสิทธิภาพ ถือเป็นการบูรณาการเทคโนโลยีกับการออกแบบสิ่งแวดล้อมเพื่อรองรับการใช้ชีวิตอย่างปลอดภัยของผู้สูงอายุ

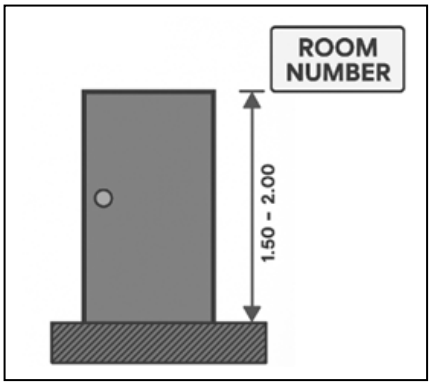
1.12 สถานการณ์ผู้สูงอายุในประเทศไทยกับปัญหาที่พบในห้องน้ำ

โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ห้องน้ำในที่พักอาศัย ถือเป็นพื้นที่เสี่ยงสูงสุดของการเกิดอุบัติเหตุล้มในผู้สูงอายุ การประยุกต์ใช้แนวคิดอารยสถาปัตย์และ Universal Design ในการออกแบบห้องน้ำจึงมีความสำคัญยิ่ง เช่น การติดตั้งราวจับในตำแหน่งที่เหมาะสม การเลือกใช้พื้นผิววัสดุกันลื่น การจัดแสงสว่างที่เพียงพอและต่อเนื่อง รวมทั้งการมีพื้นที่กว้างพอสำหรับการใช้รถเข็นหรือวอล์กเกอร์ (กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2567; กระทรวงสาธารณสุข, 2568) การออกแบบเหล่านี้ไม่เพียงช่วยลดโอกาสการล้มและบาดเจ็บเท่านั้น แต่ยังส่งเสริมความมั่นใจและเพิ่มความเป็นอิสระในการใช้งานของผู้สูงอายุ ส่งผลให้ลดภาระครอบครัวและระบบสาธารณสุขในระยะยาว (Panel on Prevention of Falls in Older Persons, 2011; WHO, 2002) ดังนั้น การบูรณาการองค์ความรู้ทางวิชาการและเทคโนโลยีร่วมกับนโยบายของภาครัฐ เอกชน และชุมชน จึงเป็นกุญแจสำคัญในการสร้างที่อยู่อาศัยที่ปลอดภัยและเป็นมิตรสำหรับผู้สูงวัยในอนาคต

1.13 การพัฒนาและปรับปรุงป้ายในเรื่องความสูงและตัวหนังสือ

ในเรื่องของสิ่งอำนวยความสะดวกภายในบ้าน ป้ายแสดงข้อมูลและคำแนะนำที่ชัดเจนถือเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ช่วยส่งเสริมความปลอดภัยและความเข้าใจในการใช้งานพื้นที่ต่าง ๆ โดยเฉพาะในบ้านที่มีผู้สูงอายุอาศัยอยู่ (Mace, 1998) ป้ายควรออกแบบให้มีขนาดและสีที่เหมาะสม เช่น ป้ายพื้นหลังสีแดงตัวหนังสือสีขาวเพื่อแสดงข้อห้าม สีเหลืองตัวหนังสือสีดำเพื่อเตือนระวัง สีเขียวตัวหนังสือสีขาวเพื่อบ่งบอกความปลอดภัย และสีฟ้าตัวหนังสือสีขาวสำหรับข้อมูลติดต่อสอบถาม เพื่อให้ผู้สูงอายุสามารถรับรู้และปฏิบัติตามได้อย่างรวดเร็วและถูกต้อง นอกจากนี้ ป้ายควรติดตั้งในตำแหน่งที่มองเห็นง่าย เช่น ทางเดินหลักและบริเวณประตู โดยคำนึงถึงความสูงประมาณ 2.00–2.50 เมตร เพื่อรองรับสายตาของผู้สูงอายุและลดความเสี่ยงจากการเผลอพลาดข้อมูลสำคัญ

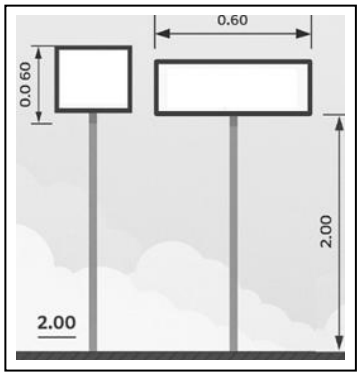
ในส่วนของป้ายบ้านเลขที่และห้องพัก ป้ายและเครื่องหมายต่าง ๆ ควรติดตั้งบนกำแพงหรือผนังในระดับความสูง 1.50–2.00 เมตรจากพื้น เพื่อให้ผู้สูงอายุสามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจนจากระยะไกล ซึ่งเป็นการช่วยลดความสับสนและเพิ่มความมั่นใจในพื้นที่อยู่อาศัยของตนเอง (Mace, 1998) แนวทางนี้ควรถูกนำมาปรับใช้กับพื้นที่ภายในบ้านโดยเฉพาะในบริเวณที่มีความสำคัญ เช่น ประตูทางเข้าห้องน้ำ ที่ซึ่งผู้สูงอายุจำเป็นต้องเข้าถึงอย่างสะดวกและปลอดภัย



ภาพที่ 1 ความสูงของป้าย

1.14 การพัฒนาและปรับปรุงป้ายในเรื่องขนาดของป้าย

ขนาดและรูปร่างของแผ่นป้ายเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยส่งเสริมความชัดเจนและการรับรู้ข้อมูลของผู้สูงอายุอย่างมีประสิทธิภาพ โดยแผ่นป้ายนั้นควรมีลักษณะสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาดอย่างน้อย 0.30 x 0.30 เมตร หรือ 0.60 x 0.60 เมตร สำหรับป้ายสี่เหลี่ยมผืนผ้าควรมีขนาด 0.20 x 0.60 เมตร เพื่อให้สามารถอ่านข้อมูลได้ง่ายจากระยะที่เหมาะสม (Mace, 1998) นอกจากนี้ แผ่นป้ายแจ้งข้อมูลทั่วไปควรใช้รูปทรงสี่เหลี่ยม ส่วนป้ายเตือนต่าง ๆ ควรเป็นรูปทรงสามเหลี่ยมเพื่อสร้างความตระหนักและความเร่งด่วน ในขณะที่ป้ายห้ามหรือข้อจำกัด ควรใช้รูปทรงวงกลมตามมาตรฐานสากล เพื่อความเข้าใจที่ตรงกันของผู้ใช้งานทุกกลุ่ม



ภาพที่ 2 ความสูงและลักษณะของป้ายต่าง ๆ

1.15 การพัฒนาและปรับปรุงในเรื่องทางต่างระดับ

ภายในห้องน้ำควรพิจารณาการปรับระดับพื้นให้เรียบเสมอกัน หรือเลือกใช้วิธีการปรับระดับพื้นที่มีองศาเอียงเล็กน้อยแบบต่อเนื่อง (sloped floor) ซึ่งช่วยป้องกันการสะดุดล้มในผู้สูงอายุ ขณะเดียวกันยังช่วยระบายน้ำและป้องกันน้ำย้อนกลับได้อย่างมีประสิทธิภาพ พื้นที่ลักษณะนี้จะทำให้ผู้สูงอายุที่ใช้วอล์กเกอร์หรือรถเข็นสามารถใช้งานได้อย่างราบรื่นและปลอดภัย โดยไม่ต้องเจอกับขอบหรือธรณีประตูที่เป็นอุปสรรคต่อการสัญจร

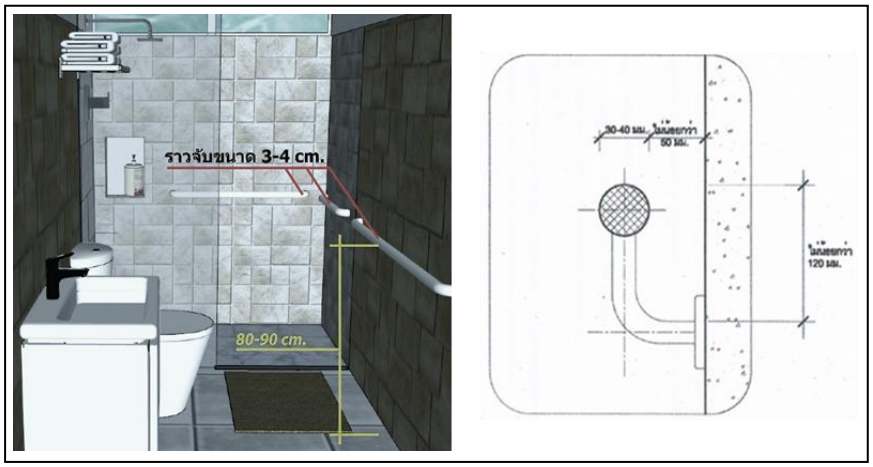


ภาพที่ 3 การเตรียมพื้นที่สำหรับพื้นที่มีความต่างระดับ

1.16 การพัฒนาและปรับปรุงในเรื่องราวจับรอบห้องน้ำ

หนึ่งในองค์ประกอบสำคัญของการออกแบบห้องน้ำที่ปลอดภัยสำหรับผู้สูงอายุคือการติดตั้ง ราวจับในแนวนอน อย่างเหมาะสม โดยควรติดตั้งราวจับในตำแหน่งที่ผู้ใช้งานสามารถยึดเกาะได้สะดวก เช่น ข้างโถสุขภัณฑ์ บริเวณฝักบัวอาบน้ำ และจุดที่มีความเสี่ยงต่อการลื่นล้ม ทั้งนี้ควรกำหนด ระดับความสูงของราวจับจากพื้นอยู่ระหว่าง 0.80–0.90 เมตร ซึ่งเป็นระดับที่เหมาะสมต่อสรีระของผู้สูงอายุ

ที่ยืนหรือเคลื่อนไหวโดยใช้เครื่องช่วยพยุง นอกจากนี้ ราวจับควรยื่นล้ำออกจากผนังในระยะ 0.30–0.40 เมตร เพื่อให้สามารถจับได้ถนัดมือ โดยไม่แนบชิดกับผนังมากเกินไป และควรมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ไม่ต่ำกว่า 0.03 เมตร และไม่เกิน 0.04 เมตร เพื่อให้เหมาะกับขนาดมือของผู้ใช้งาน โดยเฉพาะผู้สูงวัยที่อาจมีแรงบีบจับน้อยกว่าคนทั่วไป ที่สำคัญคือ ราวจับควรเป็นเส้นต่อเนื่อง ไม่มีจุดแหลมคมหรือสิ่งกีดขวาง ตลอดแนว เพื่อความปลอดภัยและป้องกันการเกี่ยวเสื้อผ้าหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ

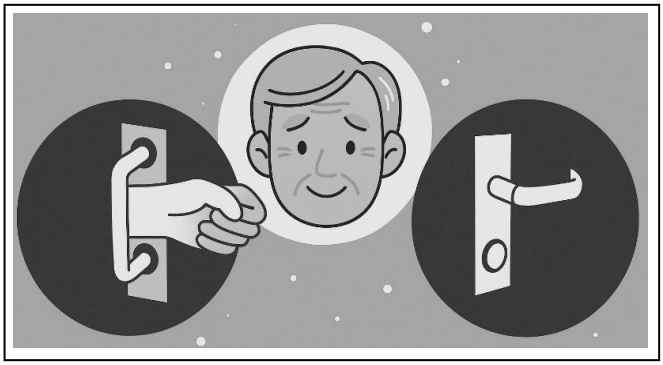


ภาพที่ 4 ลักษณะและขนาดของราวจับรวมถึงการติดตั้ง

1.17 การพัฒนาและปรับปรุงในเรื่องลูกบิดประตูและอุปกรณ์เปิด-ปิดภายในห้องน้ำ

ลูกบิดประตูและอุปกรณ์เปิด-ปิดภายในห้องน้ำถือเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ส่งผลโดยตรงต่อความปลอดภัย และความสะดวกในการใช้งานของผู้สูงอายุ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อผู้สูงวัยมีข้อจำกัดด้านแรงบีบมือ ข้อต่อ หรือภาวะข้ออักเสบ การเลือกใช้อุปกรณ์ที่เหมาะสมจึงควรหลีกเลี่ยงลูกบิดทรงกลมแบบหมุน (Knob) ซึ่งต้องออกแรงบิดและจับที่แน่นหนา โดยแนะนำให้ใช้มือจับแบบคันโยก (Lever handle) ที่สามารถใช้งานได้ง่ายกว่า ไม่ต้องใช้แรงมาก และสามารถเปิดได้ด้วยข้อมือ ข้อศอก หรือหลังมือหากมือไม่ว่างหรืออ่อนแรง (Mace, 1998; WHO, 2024)

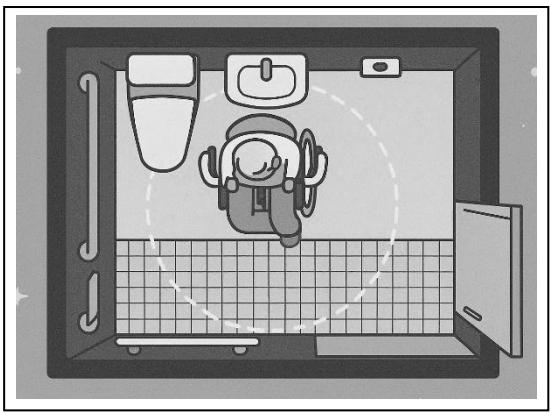
นอกจากนี้ การออกแบบมือจับควรไม่มีขอบแหลมคมหรือส่วนที่อาจเกี่ยวเสื้อผ้า เพื่อลดความเสี่ยงจากอุบัติเหตุในพื้นที่แคบของห้องน้ำ การติดตั้งควรอยู่ในระดับความสูงประมาณ 0.90–1.10 เมตรจากพื้น เพื่อให้เหมาะสมทั้งกับผู้ใช้ที่ยืนหรือผู้ใช้รถเข็น และควรเลือกใช้ประตูแบบผลักออกด้านนอกหรือแบบบานเลื่อน เพื่อให้สามารถเข้าช่วยเหลือจากภายนอกได้ง่ายในกรณีที่ผู้สูงอายุล้มอยู่ภายในห้องน้ำ โดยไม่ขวางทางประตู ซึ่งจะช่วยเพิ่มความปลอดภัยและความมั่นใจในการใช้ชีวิตประจำวันของผู้สูงอายุได้อย่างมีประสิทธิภาพ



ภาพที่ 5 แสดงราวจับ ลูกบิดประตู และที่จับแบบต่าง ๆ

1.18 การพัฒนาและปรับปรุงในเรื่องขนาดของห้องน้ำ

บริเวณแนวทางเดินภายในบ้านที่พักอาศัยสำหรับผู้สูงอายุ ควรมีการจัดเตรียมห้องน้ำในระยะที่เหมาะสมและเข้าถึงง่ายโดยไม่กีดขวางทางสัญจรหลัก โดยทางเดินหลักต้องมีความกว้างไม่น้อยกว่า 1.50 เมตร เพื่อรองรับการเคลื่อนที่ของผู้สูงอายุที่ใช้เครื่องช่วยเดิน เช่น วอล์กเกอร์หรือรถเข็น (กรมส่งเสริมการปกครองท้องถิ่น, 2567) นอกจากนี้ การออกแบบทางเดินควรมีพื้นผิวต่างสัมผัสหรือการกั้นที่ชัดเจนก่อนถึงสิ่งกีดขวาง เช่น ประตูห้องน้ำ หรือเฟอร์นิเจอร์อย่างน้อย 0.30 เมตร เพื่อช่วยเตือนให้ผู้สูงอายุทราบล่วงหน้า ลดความเสี่ยงของการสะดุดหรือล้ม (WHO, 2024)



ภาพที่ 6 แสดงการจัดเตรียมห้องน้ำสำหรับผู้สูงอายุ

3. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การออกแบบและปรับปรุงห้องน้ำในที่พักอาศัยสำหรับผู้สูงอายุเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยรองรับสังคมผู้สูงอายุระดับสุดยอดที่ประเทศไทยกำลังเผชิญ ห้องน้ำถือเป็นพื้นที่เสี่ยงสูงสุดของการล้มและบาดเจ็บในกลุ่มผู้สูงวัย การประยุกต์ใช้แนวคิดอารยสถาปัตย์ (Universal Design) จึงเป็นสิ่งจำเป็น โดยเน้นการติดตั้งราวจับในตำแหน่งที่เหมาะสม ใช้วัสดุปูพื้นที่กันลื่น และออกแบบทางเดินให้กว้างพอสำหรับอุปกรณ์ช่วยเดิน รวมถึงจัดแสงสว่างเพียงพอโดยเฉพาะแสงอัตโนมัติในเวลากลางคืน เพื่อลดความเสี่ยงในการล้ม

นอกจากนี้ การหลีกเลี่ยงมุมแหลมของมีคม การติดตั้งป้ายคำแนะนำที่ชัดเจนในระดับสายตาของผู้สูงอายุ รวมทั้งการนำเทคโนโลยีช่วยเหลือ เช่น เซนเซอร์ตรวจจับการล้มและระบบแจ้งเตือนฉุกเฉิน มาใช้ ยังช่วยเพิ่มความมั่นใจและลดระยะเวลาการรับความช่วยเหลือ งานวิจัยทั้งในและต่างประเทศชี้ให้เห็นว่าการปรับปรุงห้องน้ำตามแนวทางดังกล่าวสามารถลดอุบัติเหตุล้มได้มากกว่าร้อยละ 40 ซึ่งส่งผลดีต่อคุณภาพชีวิตของผู้สูงวัยอย่างมีนัยสำคัญ

การส่งเสริมความรู้และสร้างความตระหนักแก่เจ้าของบ้าน ครอบครัว และชุมชนจึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อให้เกิดการดูแลและปรับปรุงสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน การพัฒนาห้องน้ำที่ปลอดภัยและเป็นมิตรนี้ไม่เพียงช่วยลดภาระของครอบครัวและระบบสาธารณสุขเท่านั้น แต่ยังสอดคล้องกับกรอบแนวคิด WHO’s Active Ageing Framework ที่เน้นการส่งเสริมสุขภาพและการมีส่วนร่วมของผู้สูงอายุในสังคมอย่างครบถ้วน

อย่างไรก็ตาม บทความนี้เป็นงานวิจัยเชิงทบทวนวรรณกรรมที่ใช้การวิเคราะห์และสังเคราะห์ข้อมูลจากแหล่งข้อมูลทุติยภูมิเป็นหลัก โดยไม่ได้ดำเนินการเก็บข้อมูลเชิงปริมาณหรือวิจัยเชิงประจักษ์ผ่านการสำรวจภาคสนามหรือการทดลองเชิงสถิติ ผลลัพธ์ที่นำเสนอจึงเป็นการสังเคราะห์แนวทางและข้อมูลเชิงคุณภาพที่มีอยู่ในงานวิจัยและรายงานต่าง ๆ เพื่อเสนอแนวคิดและข้อเสนอแนะในเชิงนโยบายและการออกแบบ

ด้วยเหตุนี้ จึงแนะนำให้มีการวิจัยเชิงปริมาณเพิ่มเติมในอนาคต โดยรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มผู้สูงอายุในบริบทท้องถิ่นจริงผ่านแบบสอบถาม การสังเกตการณ์ หรือการทดลอง เพื่อวัดประสิทธิผลและผลกระทบของการปรับปรุงห้องน้ำในแง่ของการลดอุบัติเหตุและการเพิ่มคุณภาพชีวิตอย่างเป็นระบบ การศึกษาที่ครอบคลุมทั้งมิติทางสังคม วัฒนธรรม และเศรษฐกิจ จะช่วยเสริมความแข็งแกร่งและน้ำหนักเชิงวิชาการของแนวทางออกแบบห้องน้ำสำหรับผู้สูงอายุในประเทศไทยให้ดียิ่งขึ้น และสนับสนุนการพัฒนานโยบายและมาตรฐานที่เหมาะสมอย่างยั่งยืน

7. เอกสารอ้างอิง

กรมส่งเสริมการปกครองท้องถิ่น. (2567). *แนวทางการออกแบบที่อยู่อาศัยสำหรับผู้สูงอายุและผู้พิการ*. กระทรวงมหาดไทย.

กรมอนามัย. (2566). *รายงานการส่งเสริมสุขภาพผู้สูงอายุในชุมชนท้องถิ่น: กรณีศึกษาการมีส่วนร่วมของชุมชนในการปรับปรุงสุขภาวะที่อยู่อาศัย*. กระทรวงสาธารณสุข.

กรมอนามัย. (2567). *คู่มือการปรับปรุงบ้านเพื่อความปลอดภัยของผู้สูงอายุ*. กระทรวงสาธารณสุข.

กรมโยธาธิการและผังเมือง. (2567). *มาตรฐานอารยสถาปัตย์สำหรับที่อยู่อาศัย*. กระทรวงการพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์.

กระทรวงการพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์. (2567). *พระราชบัญญัติผู้สูงอายุ พ.ศ. 2546 และกฎหมายที่เกี่ยวข้อง*. สำนักพิมพ์กระทรวง.

กระทรวงสาธารณสุข. (2568). *แนวปฏิบัติการป้องกันการล้มในผู้สูงอายุ*. อักษรกราฟฟิค.

สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ. (2565). *คู่มือบ้านปลอดภัยสำหรับผู้สูงอายุ: แนวทางการปรับปรุงที่อยู่อาศัย*.

สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ. (2568). *โครงการบ้านปลอดภัยสำหรับผู้สูงอายุ*.

สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมและพัฒนาคุณภาพชีวิตคนพิการ. (2567). *กฎกระทรวงว่าด้วยสิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับผู้สูงอายุ พ.ศ. 2548*. กรมส่งเสริมและพัฒนาคุณภาพชีวิตคนพิการ.

สำนักงานส่งเสริมและพัฒนาคุณภาพชีวิตคนพิการ. (2567). *อารยสถาปัตย์: การออกแบบเพื่อทุกคน. กรมส่งเสริมและพัฒนาคุณภาพชีวิตคนพิการ*.

สำนักงานสถิติแห่งชาติ. (2567). *รายงานสถานการณ์ผู้สูงอายุไทย พ.ศ. 2566*. สำนักพิมพ์สถิติแห่งชาติ.

สำนักงานหลักประกันสุขภาพแห่งชาติ. (2564). *รายงานผลการดำเนินงานการพัฒนาระบบบริการผู้สูงอายุระยะยาว (LTC) ปีงบประมาณ 2564*.

ASEAN. (2024). *Ageing population policy framework in Southeast Asia*. ASEAN Secretariat.

Gillespie, L. D., Robertson, M. C., Gillespie, W. J., Sherrington, C., Gates, S., Clemson, L. M., & Lamb, S. E. (2012). Interventions for preventing falls in older people living in the community. *Cochrane Database of Systematic Reviews, 2012*(9), Article CD007146. https://doi.org/10.1002/14651858.CD007146.pub3

Mace, R. L. (1988). *Universal design: Housing for the lifespan of all people*. U.S. Department of Housing and Urban Development.

Panel on Prevention of Falls in Older Persons. (2011). Summary of the Updated American Geriatrics Society/British Geriatrics Society Clinical Practice Guideline for Prevention of Falls in Older Persons. *Journal of the American Geriatrics Society, 59*(1), 148–157. https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2010.03234.x

Tinetti, M. E., Mendes de Leon, C. F., Doucette, J. T., & Baker, D. I. (1994). Fear of falling and fall-related efficacy in relationship to functioning among community-living elders. *Journal of Gerontology, 49*(3), M140–M147. https://doi.org/10.1093/geronj/49.3.M140

World Health Organization. (2002). *Active ageing: A policy framework*. https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/67215/WHO_NMH_NPH_02.8.pdf;seq

World Health Organization. (2007). *WHO global report on falls prevention in older age*. https://www.who.int/publications/i/item/9789241563536

การประเมินดัชนีความเสี่ยงของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในตัวอย่างดินจากสวนกาแฟ จังหวัดชุมพร ประเทศไทย

จุฑามาศ จันทร์เจริญ[1], พวงทิพย์ แก้วทับทิม[1*], ปิยะ ผ่านศึก[1] และสมชาย กอพูนพัฒน์[1]

[1] สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการวิจัยครั้งนี้เพื่อประเมินดัชนีความเสี่ยงของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติในตัวอย่างดิน จากสวนกาแฟ อำเภอท่าแซะ อำเภอปะทิว และอำเภอสวี จังหวัดชุมพร 28 สถานี แต่ละสถานีแบ่งเป็น 6 ระดับ คือ 0-30 cm รวม 168 ตัวอย่าง วิเคราะห์โดยใช้ระบบแกมมาสเปกโตรมิตรี หัววัดเจอร์มาเนียมบริสิทธิ์สูง พบว่าค่ากัมมันตรังสีสมมูลเรเดียม (Ra_{eq}) ค่าอัตราปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ (D) ค่าปริมาณรังสีที่ได้รับภายนอกร่างกายประจำปี (E) ค่าดัชนีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีภายนอกร่างกาย (H_{ex}) และค่าความเสี่ยงในการก่อให้เกิดมะเร็งตลอดช่วงชีวิต (ELCR) มีค่าเฉลี่ยเป็น 153.76 ± 0.19 Bq/kg, 72.97 ± 0.13 nGy/h, 0.089 ± 0.004 mSv/y, 0.42 ± 0.01 และ 0.31 ± 0.01 mSv/y ตามลำดับ โดยค่ากัมมันตรังสีสมมูลเรเดียม ค่าปริมาณรังสีที่ได้รับภายนอกร่างกายประจำปี ค่าดัชนีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีภายนอกร่างกาย และค่าความเสี่ยงในการก่อให้เกิดมะเร็งตลอดช่วงชีวิต มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ UNSCEAR ที่ 370 Bq/kg, 0.48 mSv/y, 1 และ 0.29 mSv/y ตามลำดับ ส่วนค่าอัตราปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ในระดับสากลที่ 57 nGy/h ผลการวิจัยสรุปได้ว่าปริมาณสารกัมมันตรังสีที่ปนเปื้อนในดิน สวนกาแฟ อำเภอท่าแซะ อำเภอปะทิว และอำเภอสวี จังหวัดชุมพร อยู่ในเกฑณ์ที่ปลอดภัย

คำสำคัญ: ดัชนีความเสี่ยงของนิวไคลด์กัมมันตรังสี หัววัดเจอร์มาเนียมบริสิทธิ์สูง ดินปลูกกาแฟ

** ผู้รับผิดชอบบทความ : pungtip.k@psu.ac.th*

***รับบทความ**: 12 กรกฎาคม 2568* ***แก้ไขเสร็จ:** 29 ตุลาคม 2568* ***ตอบรับบทความ**: 13 พฤศจิกายน 2568*

Assessment of the Risk Index of Radionuclides in Soil Samples from Coffee Plantations in Chumphon Province, Thailand

Chuthamat Chancharoen[1], Pungtip Kaewtubtim[1*], Piya Phansuke[1] and Somchai Kopoonput[1]

[1] Department of Science, Faculty of Science and Technology, Prince of Songkla University

Abstract

The objective of this study was to assess the radiological risk indices of natural radionuclides in soil samples collected from coffee plantations in Tha Sae, Pathio and Sawi districts of Chumphon Province. A total of 28 stations were selected, each divided into six depth levels (0-30 cm), resulting in 168 samples. The analysis was conducted using gamma spectrometry equipped with a high-purity germanium (HPGe) detector. The measured parameters included radium equivalent activity (Ra_{eq}), absorbed dose rates in air (D), annual external effective dose rate (E), external hazard index (H_{ex}) and excess lifetime cancer risk (ELCR). The average values obtained were 153.76 ± 0.19 Bq/kg, 72.97 ± 0.13 nGy/h, 0.089 ± 0.004 mSv/y, 0.42 ± 0.01 and 0.31 ± 0.01 mSv/y respectively. The values were lower than the UNSCEAR criteria of 370 Bq/kg, 0.48 mSv/y, 1 and 0.29 mSv/y respectively. The air absorption dose rate was within the internationally accepted range of 57 nGy/h. The research results concluded that the amount of radioactive substances contaminated in the soil, coffee plantations, Tha Sae District, Pathio District and Sawi Districts of Chumphon Province, was within the safe limits.

Keywords: Radionuclide risk assessment, High-purity germanium (HPGe) detector, Coffee growing soil

** Corresponding author: pungtip.k@psu.ac.th*

***Received**: 12 July 2025* ***Revised:** 29 October 2025* ***Accepted**: 13 November 2025*

1. บทนำ

การประเมินดัชนีความเสี่ยงของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติในดินมีความสำคัญอย่างยิ่ง (Nieder et.al., 2018) ด้วยเหตุผลหลายประการ ประการแรกดินเป็นแหล่งกักเก็บนิวไคลด์กัมมันตรังสีหลักของสิ่งแวดล้อม ทำหน้าที่เป็นทั้งที่สะสมและเป็นแหล่งกำเนิดของนิวไคลด์กัมมันตรังสี ซึ่งสามารถแพร่กระจายหรือถ่ายโอนไปยังส่วนประกอบอื่นของระบบนิเวศ เช่น นิวไคลด์กัมมันตรังสีในดินถ่ายโอนไปยังส่วนประกอบของพืช เนื่องจากเป็นแหล่งที่รากพืชดูดซับน้ำและแร่ธาตุ (IAEA, 1989; Asaduzzaman et al., 2015) ประการที่สอง ข้อมูลเกี่ยวกับระดับรังสีในดินเป็นข้อมูลพื้นฐานสำคัญ ที่ช่วยแยกความแตกต่างระหว่างรังสีที่เกิดจากธรรมชาติ และรังสีที่เกิดจากมนุษย์สร้างขึ้น จึงสามารถใช้ตรวจสอบและติดตามนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่อาจเกิดขึ้นในสิ่งแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ประการที่สาม การทำความเข้าใจการกระจายตัวและความเข้มข้นของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในดินจึงมีความจำเป็นต่อการประเมินปริมาณรังสีที่มนุษย์ได้รับ เนื่องจากโดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 84 ของปริมาณรังสีที่มนุษย์ได้รับในแต่ละปี มาจากแหล่งกำเนิดตามธรรมชาติ (Feng, et al., 2020) การศึกษาความเข้มข้นของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในดินจึงมีบทบาทสำคัญในการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้บริโภค ซึ่งผู้บริโภคสามารถได้รับสารกัมมันตรังสีผ่านห่วงโซ่อาหาร (Asaduzzaman et al., 2014) และการได้รับสารกัมมันตรังสีส่งผลต่อการเกิดโรคมะเร็ง เนื้องอก และเกิดความเสียหายทางพันธุกรรมได้ (IARC, 2012) จากการศึกษาความเข้มข้นของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในดินใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการเฝ้าระวังคุณภาพสินค้าเกษตร การศึกษางานวิจัยหลายชิ้นรายงานว่าดินในหลายพื้นที่มีการสะสมของ 238-U, 226-Ra, 232-Th และ 40-K อยู่ในระดับสูง ซึ่งสัมพันธ์กับลักษณะทางธรณีวิทยาและการใช้ปุ๋ยฟอสเฟต (UNSCEAR, 2000; Alharbi & Alamoudi, 2017) สำหรับประเทศไทย โดยเฉพาะในจังหวัดชุมพร พบว่ามีพื้นที่หินแกรนิตโผล่ทางทิศตะวันตก และพื้นที่อื่น ๆ ของจังหวัดปกคลุมด้วยหินตะกอนและหินแปร (กรมทรัพยากรธรณี, 2550) นอกจากนี้ Kritsananuwat et al. (2014) ได้ศึกษาการกระจายตัวของธาตุแร่หายาก ทอเรียม และยูเรเนียมในตะกอนทะเลอ่าวไทย ลักษณะธรณีวิทยาเช่นนี้อาจทำให้เกิดการสะสมในนิวไคลด์กัมมันตรังสีตามธรรมชาติในดิน ซึ่งอาจส่งผลต่อความปลอดภัยของพืชผลทางการเกษตรของไทย (Saenboonruang et al., 2018) กาแฟเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญต่อโลก และประเทศไทย โดยเฉพาะในจังหวัดชุมพรซึ่งอยู่ในภาคใต้ของประเทศไทย ถือเป็นพื้นที่ปลูกกาแฟที่สำคัญและมีพื้นที่เพาะปลูกขนาดใหญ่ (ชุษณา , 2558) การขยายตัวของอุตสาหกรรมกาแฟในประเทศไทย เติบโตไปในทิศทางเดียวกับเศรษฐกิจโลก (กรมวิชาการเกษตร , ม.ป.ป.) ในการควบคุมคุณภาพและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ทางเกษตรจากประเทศไทยควรมีการพิจารณาความเสี่ยงจากการพบนิวไคลด์กัมมันตรังสีตามธรรมชาติ (Naturally Occurring Radioactive Materials : NORMs) ที่สะสมอยู่ในดิน (Alharbi & Alamoudi, 2017) สำหรับพื้นที่ปลูกกาแฟในจังหวัดชุมพร มีพื้นที่ปลูกมากที่สุด คือ อำเภอท่าแซะ คิดเป็นร้อยละ 82.30 รองลงมา คือ อำเภอสวี อำเภอปะทิว อำเภอเมืองชุมพร อำเภอพะโต๊ะ อำเภอทุ่งตะโก อำเภอละแม และอำเภอหลังสวน ตามลำดับ (สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดชุมพร, 2567)

อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีข้อมูลเชิงลึกที่ชัดเจนเกี่ยวกับการประเมินระดับนิวไคลด์กัมมันตรังสีในพื้นที่เพาะปลูก โดยเฉพาะในจังหวัดชุมพร ดังนั้น การศึกษานี้จึงมีความสำคัญอย่างสูงในการประเมินระดับนิวไคลด์กัมมันตรังสีในพื้นที่ปลูกกาแฟ เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการเฝ้าระวังความปลอดภัยจากสารกัมมันตรังสีของสินค้าทางการเกษตร ด้วยเหตุนี้ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของการประเมินดัชนีความเสี่ยงของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในดินที่ปลูกกาแฟ อำเภอท่าแซะ อำเภอปะทิว และอำเภอสวี จังหวัดชุมพร

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

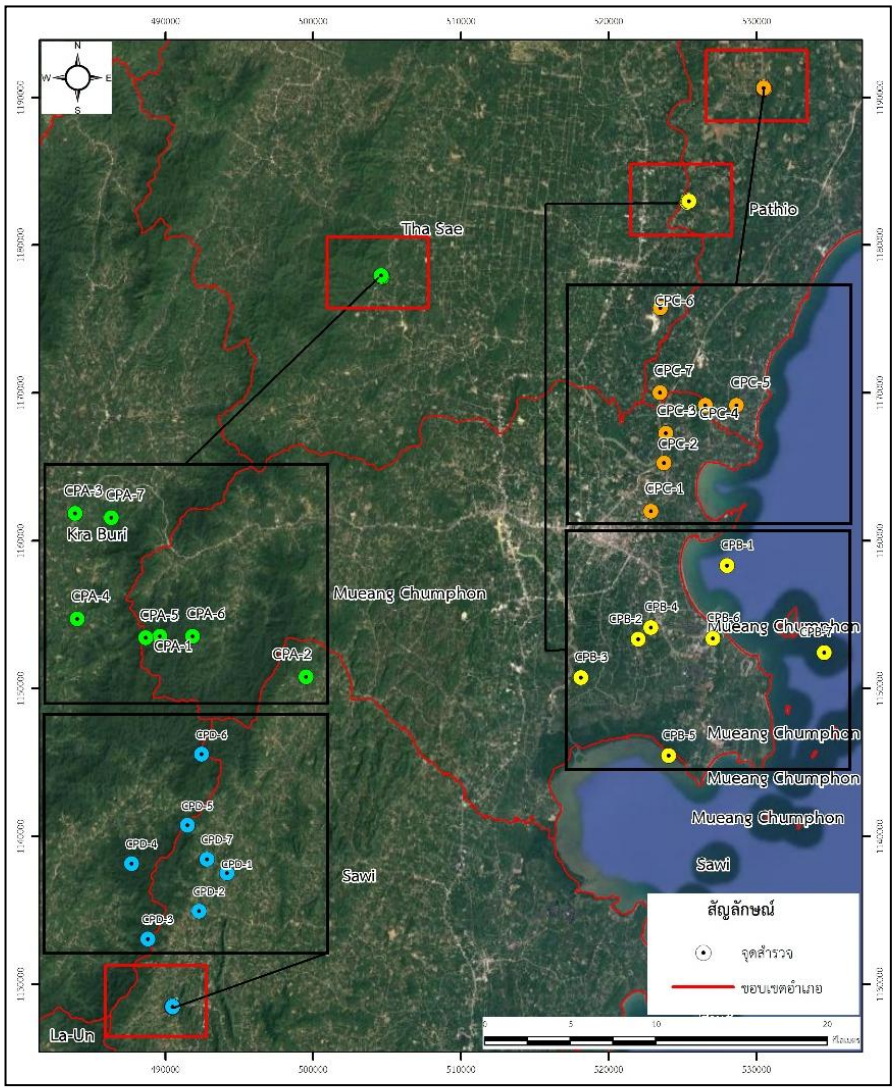
2.1 เพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติในตัวอย่างดิน จากสวนกาแฟ จังหวัดชุมพร

2.2 เพื่อประเมินการได้รับรังสีของคนในชุมชนที่ปลูกกาแฟในแต่ละบริเวณ จังหวัดชุมพร

3. วิธีดำเนินการวิจัย

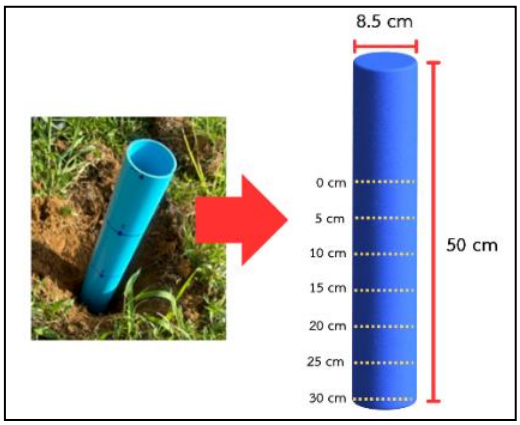
3.1 วิธีการเก็บและการเตรียมตัวอย่างดิน

พื้นที่ทำการศึกษา ประกอบด้วยสวนกาแฟจำนวน 4 สวน ได้แก่ กาแฟสวน A ตั้งอยู่ที่ ตำบลรับร่อ อำเภอท่าแซะ, กาแฟสวน B ตั้งอยู่ที่ ตำบลทะเลทรัพย์ อำเภอปะทิว, กาแฟสวน C ตั้งอยู่ที่ ตำบล ชุมโค อำเภอปะทิว และกาแฟสวน D ตั้งอยู่ที่ ตำบลเขาทะลุ อำเภอสวี จังหวัดชุมพร ประเทศไทย



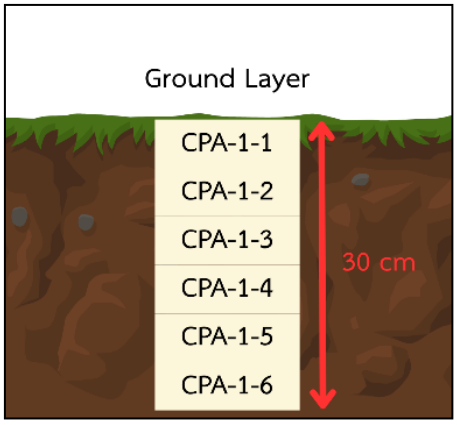
ภาพที่ 1 แผนที่สวนกาแฟจำนวน 4 สวน จังหวัดชุมพร ประเทศไทย

ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างดินแบบแบ่งชั้น (Stratified Random Sampling) จากบริเวณสวนกาแฟ จำนวน 4 สวน (A, B, C, และ D) ดังภาพที่ 1 โดยเก็บตัวอย่างสวนละ 7 สถานี ด้วยอุปกรณ์ขุดเจาะตัวอย่างดินที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.5 cm ยาว 50 cm ดังภาพที่ 2 จากนั้น กำหนดรหัสตัวอย่างดินแต่ละสถานีดังนี้ ได้แก่ ตัวอย่างดินจากสวนกาแฟ A รหัส CPA-1 ถึง CPA-7, ตัวอย่างดินจากสวนกาแฟ B รหัส CPB-1 ถึง CPB-7, ตัวอย่างดินจากสวนกาแฟ C รหัส CPC-1 ถึง CPC-7 และตัวอย่างดินจากสวนกาแฟ D รหัส CPD-1 ถึง CPD-7



ภาพที่ 2 อุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างดิน

ทำการเจาะดินให้มีระดับความลึก 30 cm จากนั้นดึงอุปกรณ์เจาะดินขึ้นมาวางในแนวราบกับพื้น แล้วแบ่งดินตามระดับความลึก ให้มีความหนาช่วงละ 5 cm จะได้ดินที่ ระดับ 0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm, 15-20 cm, 20-25 cm และ 25-30 cm รวม 6 ตัวอย่างต่อสถานี เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ความเข้มข้นสารกัมมันตรังสีกับความลึก จากนั้นนำตัวอย่างใส่ถุงซิปล็อค แล้วเขียนรหัสแต่ละตัวอย่างติดไว้บนถุงซิปล็อค (ตัวอย่างดินสวนกาแฟ A สถานีที่ 1 ตั้งรหัสเป็น CPA-1-1, CPA-1-2, CPA-1-3, CPA-1-4, CPA-1-5 และ CPA-1-6 เรียงลำดับจากบนลงล่าง) ดังภาพที่ 3 ได้ตัวอย่างดินจากสวนที่ปลูกกาแฟ จำนวน 4 สวน 28 สถานี รวมตัวอย่างทั้งหมด 168 ตัวอย่าง



ภาพที่ 3 แสดงการเก็บตัวอย่างดิน

นำตัวอย่างดินมากำจัดสิ่งปนเปื้อน แล้วนำไปตากจนดินตัวอย่างแห้ง จากนั้นนำดินตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้น และอบตัวอย่างซ้ำจนกระทั่งความชื้นคงที่ แล้วนำดินตัวอย่างที่แห้งมาบดให้เป็นผงด้วยโกร่งบดตัวอย่าง จากนั้นนำดินผงมาร่อนด้วยตะแกรงร่อน ขนาด 120 μm เพื่อให้ตัวอย่างดินผงมีขนาดเท่ากัน แล้วนำตัวอย่างดินผงมาบรรจุในภาชนะพลาสติกรูปทรงกระบอก ขนาดผ่านศูนย์กลาง 7.5 cm สูง 10.2 cm ซึ่งมีขนาดเท่ากับภาชนะบรรจุสารมาตรฐานดิน IAEA-375 จากสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ บางเขน กทม. ปิดฝากระปุกให้สนิทโดยใช้เทปพันสายไฟพันรอบรอยต่อระหว่างฝากับตัวกระปุกวางทิ้งไว้เป็นเวลา 30 วันเพื่อให้เข้าสู่สภาวะสมดุลทางรังสีอย่างถาวร (Taskin, et al., 2009)

3.2 การวิเคราะห์ความเข้มข้นของนิวไคลด์กัมมันตรังสี

ตรวจวัดค่าความเข้มข้นของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติเรเดียม-226 (Ra-226), ทอเรียม-232 (Th-232) และโพแทสเซียม-40 (K-40) ในดินจากสวนกาแฟ 4 สวน ของอำเภอปะทิว อำเภอท่าแซะ และอำเภอสวี จังหวัดชุมพร นำตัวอย่างดินที่เตรียมไว้มาวัดหาค่าความเข้มข้นของนิวไคลด์กัมมันตรังสี Ra-226, Th-232 และ K-40 ด้วยหัววัดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (High Purity Germanium, HPGe) เป็นระยะเวลา 18,000 วินาที (Owoade, et al., 2019) โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีมาตรฐานซีเซียม-137 (Cs-137) และโคบอลต์-60 (Co-60) ในการปรับเทียบพลังงานของเครื่องมือ และใช้สารมาตรฐานดิน IAEA-375 จากสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ บางเขน กทม. ในการคำนวณค่าความเข้มข้นของนิวไคลด์กัมมันมันตรังสีในธรรมชาติ โดยวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของ Ra-226 ที่พลังงาน 609.31 keV ซึ่งเป็นพลังงานของบิสมัท-214 (Bi-214) สำหรับ Th-232 วิเคราะห์ที่พลังงาน 911.21 keV ซึ่งเป็นพลังงานของแอกทิเนียม-228 (Ac-228) เนื่องจากนิวไคลด์ดังกล่าวมีเปอร์เซ็นต์การสลายตัวให้รังสีแกมมาในธรรมชาติสูง และ K-40 วิเคราะห์ที่พลังงาน 1460.75 keV (สะเราะ และคณะ, 2567) โดยบันทึกจำนวนนับใต้สเปกตรัมรังสีแกมมา ประเมินผลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป GenieTM 2000 Basic Spectroscopy Software เพื่อหากัมมันตภาพจำเพาะของ Ra-226, Th-232 และ K-40 ดังสมการที่ (1) หาค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสี ดังสมการที่ (2) และคำนวณค่าความคาดเคลื่อนที่เกิดจากการสุ่มตัวอย่าง ดังสมการที่ (3)

$$A_x = \frac{N_s}{E_{ff} \times P_\gamma \times T \times M_s} \quad (1)$$

เมื่อ A_x คือ ค่ากัมมันตภาพจำเพาะ ในตัวอย่างดิน (Bq/kg), N_s คือ อัตรานับสุทธิ (พื้นที่ใต้พีค/เวลาที่ใช้วัด), E_{ff} คือ ประสิทธิภาพของหัววัดรังสี, P_γ คือ ค่าเปอร์เซ็นต์ที่มีรังสีแกมมาออกมาจากแหล่งกำเนิดรังสี, T คือ เวลาที่นับวัด (s), M_s คือ มวลของตัวอย่างดินที่ทำการวัดรังสี (kg) จากนั้นนำไปวิเคราะห์ค่าดัชนีความเสี่ยง

$$\%E_{ff} = \frac{cps}{(\%a)(A_t)} \quad (2)$$

เมื่อ $\%E_{ff}$ คือ ประสิทธิภาพของหัววัดรังสี, cps คือ จำนวนครั้งที่มีการตรวจจับรังสี, $\%a$ คือ ปริมาณความเข้มข้นของรังสีแกมมาที่ส่งผลต่อสิ่งแวดล้อม, A_t คือ ความเข้มข้นที่วัดได้

$$Error = Z_{\alpha/2} \times \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

เมื่อ, $Z_{\alpha/2}$ คือ ค่าคงที่จากตารางแจกแจงปกติที่ 95% confidence level จะได้ $Z_{0.025} = 1.96$, σ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, n คือ ขนาดตัวอย่าง

3.3 การประเมินดัชนีความเสี่ยงของนิวไคลด์กัมมันตรังสี

วิเคราะห์ค่าดัชนีความเสี่ยงของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เกี่ยวข้อง ซึ่งเป็นตัวชี้วัดระดับความเป็นอันตรายจากการได้รับนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ ในตัวอย่างดินทุกระดับจากสวนกาแฟ 4 สวน อำเภอปะทิว อำเภอท่าแซะ และอำเภอสวี จังหวัดชุมพร โดยคณะกรรมการวิทยาศาสตร์ขององค์กรสหประชาชาติเกี่ยวกับผลของรังสี (UNSCEAR, 2000) ได้กำหนดเกณฑ์ไว้ดังนี้

3.3.1 ค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลเรเดียม (Radium equivalent activity, Ra_{eq}) เป็นผลรวมของค่าถ่วงน้ำหนักของค่านิวไคลด์กัมมันตภาพรังสีของทั้ง 3 ไอโซโทป ที่มีการศึกษาพบว่า Ra-226 มีนิวไคลด์กัมมันตภาพรังสีที่ 1 Bq/kg จะให้ปริมาณค่านิว

ไคลด์กัมมันตภาพรังสีเทียบเท่าของนิวไคลด์กัมมันตภาพรังสีของ Th-232 ที่ 1.43 Bq/kg และค่านิวไคลด์กัมมันตภาพรังสีของ K-40 ที่ 0.077 Ba/kg (Júnior, et al., 2021, pp. 100-121; Agbalagba & Onoja, 2011, pp. 667-671 & Singh et al., 2005, pp. 431-439) ดังนั้นสามารถคำนวณค่ากัมมันตภาพสมมูลเรเดียม และ Ra_{eq} มีค่าไม่ควรเกิน 370 Bq/kg (UNSCEAR, 2000) คำนวณได้จากสมการ (4)

$$\mathrm{Ra_{eq}} = \mathrm{A_{Ra\text{-}226}} + 1.43\mathrm{A_{Th\text{-}232}} + 0.07\mathrm{A_{K\text{-}40}} \quad (4)$$

เมื่อ Ra_{eq} คือ ค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลเรเดียม มีหน่วยเป็น Bq/kg, $A_{Ra\text{-}226}$ คือ ความเข้มข้นของนิวไคลด์กัมมันตรังสีของ Ra-226 มีหน่วยเป็น Bq/kg, $A_{Th\text{-}232}$ คือ ความเข้มข้นของนิวไคลด์กัมมันตรังสีของ Th-232 มีหน่วยเป็น Bq/kg และ $A_{K\text{-}40}$ คือ ความเข้มข้นของนิวไคลด์กัมมันตรังสีของ K-40 มีหน่วยเป็น Bq/kg

3.3.2 ปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ (Absorbed dose rates in air, D) เป็นค่าความเข้มรังสีแกมมาในอากาศซึ่งเป็นรังสีจากวัสดุกัมมันตรังสีที่มาจากพื้นโลกที่ความสูง 1 เมตรจากพื้นดิน โดยมีค่า 0.462, 0.604 และ 0.0417 ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้ในการแปลงค่ากัมมันตภาพจำเพาะ เป็นอัตราปริมาณรังสีที่ดูดกลืนอากาศ ของ Ra-226, Th-232 และ K-40 ตามลำดับ สำหรับค่าอัตราปริมาณรังสีดูดกลืนที่เฉลี่ยจากทั่วโลกมีค่าเท่ากับ 57 nGy/h (UNSCEAR, 2000) คำนวณได้จากสมการที่ (5)

$$\mathrm{D} = 0.461\mathrm{A_{Ra-226}} + 0.604\mathrm{A_{Th-232}} + 0.0417\mathrm{A_{K-40}} \quad (5)$$

เมื่อ D คือ อัตราปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ มีหน่วยเป็น nGy/h, $A_{Ra\text{-}226}$ คือ ความเข้มข้นของนิวไคลด์กัมมันตรังสีของ Ra-226 มีหน่วยเป็น Bq/kg, $A_{Th\text{-}232}$ คือ ความเข้มข้นของนิวไคลด์กัมมันตรังสีของ Th-232 มีหน่วยเป็น Bq/kg และ $A_{K\text{-}40}$ คือ ความเข้มข้นของนิวไคลด์กัมมันตรังสีของ K-40 มีหน่วยเป็น Bq/kg

3.3.3 ปริมาณรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกายประจำปี (Annual external effective dose rate, E) เป็นปริมาณรังสีที่ได้รับต่อปี สามารถคำนวณได้จากการแปลงค่าความสัมพันธ์จากค่าปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ (D) เป็นปริมาณรังสียังผลที่บุคคลทั่วไปได้รับหรือใช้เวลานอกอาคารบ้านเรือนประมาณ 20% ของเวลาทั้งหมดใน 1 ปี ซึ่งไม่ควรเกิน 0.48 mSv/y (UNSCEAR, 2000) คำนวณได้จากสมการ (6)

$$\mathrm{E} = \mathrm{D} \times 8{,}760\ (\mathrm{h \cdot y^{-1}}) \times 0.2 \times 0.7 \times 10^{-6} \quad (6)$$

เมื่อ E คือ ปริมาณรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกายประจำปี มีหน่วยเป็น mSv/y, D คือ อัตราปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ มีหน่วยเป็น nGy/h, 8,760 คือ ค่าปริมาณที่ได้รับรังสีรายปี มีหน่วยเป็น h/y, 0.2 คือ ค่าประมาณการอยู่ภายนอกบ้านเรือนของมนุษย์ 20% ของเวลาทั้งหมด และ 0.7 คือ ค่าแฟกเตอร์จากการแปลงอัตราปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศมีหน่วยเป็น Sv/Gy

3.3.4 ค่าดัชนีความเสี่ยงอันตรายจากรังสีภายนอกร่างกาย (External hazard index, H_{ex}) คือ ค่าปริมาณรังสีที่ร่างกายได้รับอันตรายจากแหล่งกำเนิดรังสีที่อยู่ในธรรมชาติ โดยนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่ร่างกายได้รับส่วนใหญ่จะเป็นกัมมันตภาพรังสีแกมมา เพราะรังสีแกมมามีอำนาจในการทะลุทะลวงสูงกว่ารังสีอื่น ๆ ค่าปริมาณรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกายประจำปี (H_{ex}) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงสิ่งต่าง ๆ ที่อยู่รอบตัวเรา เมื่อ ค่า $H_{ex} < 1$ (UNSCEAR, 2000) แสดงว่าปริมาณดัชนีความเสี่ยงรังสีจากภายนอกมีค่าน้อยมากจนละทิ้งได้ ถ้า $H_{ex} = 1$ แสดงว่าร่างกายจะได้รับปริมาณรังสีดูดกลืนเท่ากับ 1.5 mGy/y และถ้า $H_{ex} > 1$ แสดงว่าร่างกายจะได้รับอันตรายจากภายนอก หมายความว่าสิ่งต่าง ๆ ที่อยู่รอบตัวเราไม่ควรนำมาใช้ในการดำเนินชีวิตหรือควรหลีกเลี่ยง (Agbalagba & Onoja,

2011; Lolila & Mazunga, 2023; UNSCEAR, 2000) ค่าดัชนีความเสี่ยงอันตรายจากรังสีภายนอกร่างกาย (External hazard index; H_{ex}) คำนวณได้จากสมการที่ (7)

$$H_{ex} = \frac{A_{Ra-226}}{370} + \frac{A_{Th-232}}{259} + \frac{A_{K-40}}{4810} \quad (7)$$

เมื่อ H_{ex} คือ ค่าดัชนีความเสี่ยงอันตรายจากรังสีภายนอกร่างกาย, A_{Ra-226} คือ ความเข้มข้นของนิวไคลด์กัมมันตรังสีของ Ra-226 มีหน่วยเป็น Bq/kg, A_{Th-232} คือ ความเข้มข้นของนิวไคลด์กัมมันตรังสีของ Th-232 มีหน่วยเป็น Bq/kg และ A_{K-40} คือ ความเข้มข้นของนิวไคลด์กัมมันตรังสีของ K-40 มีหน่วยเป็น Bq/kg

3.3.5 ผลการประเมินค่าความเสี่ยงในการก่อให้เกิดมะเร็งตลอดช่วงชีวิต (Excess Lifetime Cancer Risk, ELCR) เป็นตัวชี้วัดที่ใช้ในการประเมินโอกาสของบุคคลในการเกิดโรคมะเร็งอันเนื่องมาจากการได้รับสารก่อมะเร็งจากสิ่งแวดล้อม โดยสารก่อมะเร็งเหล่านี้อาจมาจากแหล่งต่าง ๆ เช่น มลพิษทางอากาศ สารเคมีในอาหาร สารปนเปื้อนในน้ำและดิน รังสีที่ก่อให้เกิดไอออไนซ์ และสารเคมีอุตสาหกรรม การคำนวณค่าดัชนีความเสี่ยงนี้สามารถคาดการณ์ความเสี่ยง และกำหนดมาตรการป้องกันได้ (EPA, 1999) สำหรับความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งตลอดชีวิต ซึ่งเฉลี่ยจากทั่วโลก มีค่าเท่ากับ 0.29 mSv/y (UNSCEAR, 2000) คำนวณได้จากสมการที่ (8)

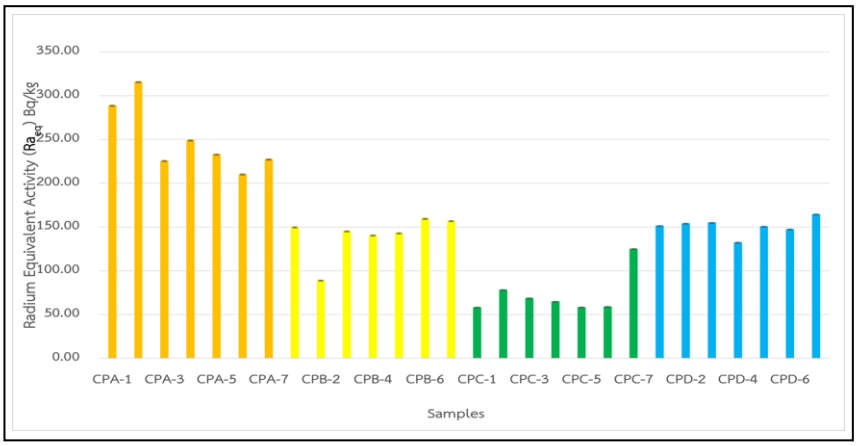
$$ELCR = E \times LF \times RF \quad (8)$$

เมื่อ E คือ ปริมาณรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกายประจำปี มีหน่วยเป็น mSv/y, LF คือ อายุขัยเฉลี่ยของมนุษย์ (70 ปี) และ RF คือ ปัจจัยเสี่ยงเป็นความเสี่ยงมะเร็งร้ายแรงต่อ Sievert กำหนดเป็น 0.05 โดย (International Commission on Radiological Protection [ICRP], 2007)

4. ผลการวิจัย

ประเมินดัชนีความเสี่ยง (D, E, ELCR, H_{ex} และ Ra_{eq}) จากนิวไคลด์กัมมันตรังสีในตัวอย่างดินที่ใช้ปลูกกาแฟ อำเภอท่าแซะ อำเภอปะทิว และอำเภอสวี จังหวัดชุมพร

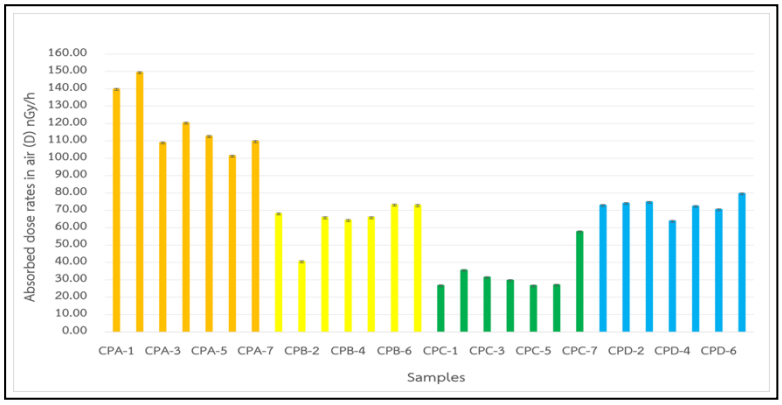
1. ผลการประเมินค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลเรเดียม (Radium equivalent activity, Ra_{eq}) ในตัวอย่างดินของแต่ละสถานี



ภาพที่ 4 ค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลเรเดียม (Ra_{eq})

จากภาพที่ 4 ค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลเรเดียม (Ra_{eq}) พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 58.40 ± 0.12 ถึง 315.82 ± 0.26 Bq/kg เฉลี่ย 153.76 ± 0.19 Bq/kg โดยค่า Ra_{eq} ในตัวอย่างดินจากสวนกาแฟที่อำเภอท่าแซะมีค่าสูงเมื่อเทียบกับสวนอื่น ๆ ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะทางธรณีวิทยาบริเวณสวนดังกล่าวเป็นหินแกรนิต โดยสถานี CPA-2 มีค่า Ra_{eq} สูงสุด อย่างไรก็ตาม พบว่าค่า Ra_{eq} ในทุกสถานีต่ำกว่าเกณฑ์ คือ 370 Bq/kg ที่ UNSCEAR (2000) กำหนด

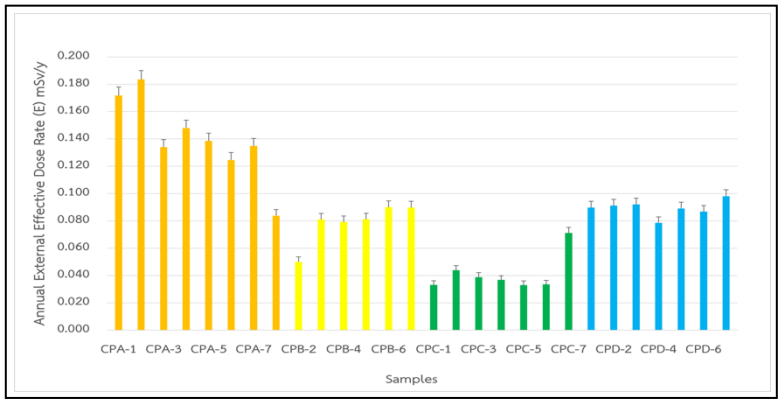
2. ผลการประเมินปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ (Absorbed dose rates in air, D) ในตัวอย่างดินของแต่ละสถานี



ภาพที่ 5 ค่าปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ (D)

จากภาพที่ 5 ค่าปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ (D) มีค่าอยู่ในช่วง 26.88 ± 0.08 ถึง 149.67 ± 0.18 nGy/h เฉลี่ย 72.97 ± 0.13 nGy/h โดยค่า D ในตัวอย่างดินจากสวนกาแฟ อำเภอท่าแซะ มีค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับสวนอื่น ๆ โดยค่า D ที่สถานี CPA-2 มีค่าสูงสุด นอกจากนี้ค่า D ในตัวอย่างดินจากสวนกาแฟ ที่ตำบลชุมโค อำเภอปะทิว และอำเภอสวี มีค่าสูงกว่าค่าอัตราปริมาณรังสีดูดกลืนเฉลี่ยจากทั่วโลก คือมีค่าเท่ากับ 57 nGy/h (UNSCEAR, 2000) ทั้งนี้เนื่องจากบริเวณดังกล่าวมีลักษณะทางธรณีวิทยาที่เป็นหินแกรนิต ในขณะที่ค่า D ในตัวอย่างดินจากสวนกาแฟที่ตำบลทะเลทรัพย์ อำเภอปะทิว มีค่าต่ำกว่า 57 nGy/h เนื่องจากบริเวณดังกล่าวเป็นที่ราบ ลักษณะทางธรณีวิทยาเป็นดินตะกอน

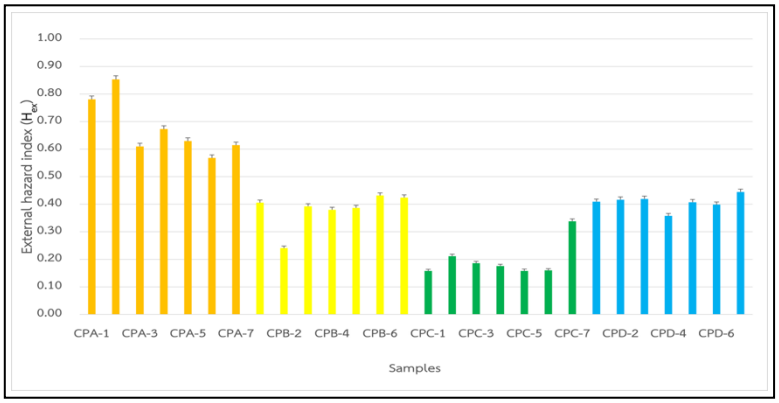
3. ผลการประเมินปริมาณรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกายประจำปี (Annual external effective dose rate, E) ในตัวอย่างดินของแต่ละสถานี



ภาพที่ 6 ค่าปริมาณรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกายประจำปี (E)

จากภาพที่ 6 ค่าปริมาณรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกายประจำปี (E) มีค่าอยู่ในช่วง 0.03 ± 0.003 ถึง 0.18 ± 0.006 mSv/y เฉลี่ย 0.089 ± 0.004 mSv/y โดยค่า E โดยค่าปริมาณรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกายประจำปี (E) ทุกสถานีมีค่าต่ำเกณฑ์ คือ 0.48 mSv/y (UNSCEAR, 2000)

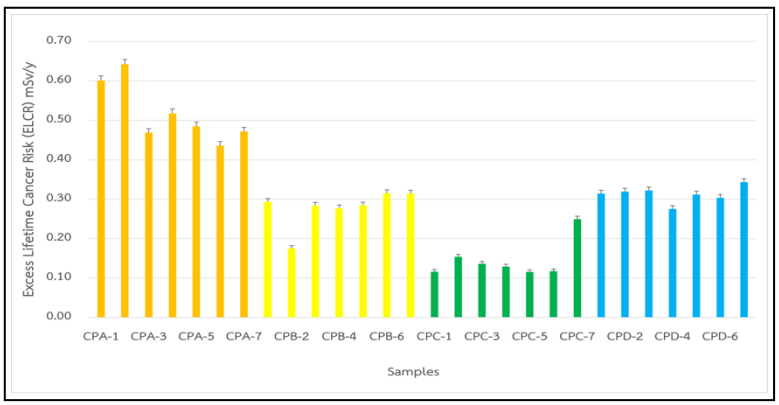
4. ผลการประเมินค่าดัชนีความเสี่ยงจากรังสีภายนอกร่างกาย (External hazard index, H_{ex}) ในตัวอย่างดินของแต่ละสถานี



ภาพที่ 7 ค่าดัชนีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีภายนอกร่างกาย (H_{ex})

จากภาพที่ 7 ค่าดัชนีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีภายนอกร่างกาย (H_{ex}) มีค่าอยู่ในช่วง 0.16 ± 0.01 ถึง 0.85 ± 0.01 เฉลี่ย 0.42 ± 0.01 โดยค่า H_{ex} ในตัวอย่างดินจากสวนกาแฟที่อำเภอท่าแซะมีค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับสวนอื่น ๆ มีค่าสูงสุดที่สถานี CPA-2 และในสวนเดียวกันค่า H_{ex} จะมีค่าใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตาม พบว่า ค่าดัชนีวัดความเสี่ยงจากการได้รับรังสีภายนอกร่างกายทุกสถานีมีค่าน้อยกว่า 1 ซึ่ง หากค่า $H_{ex} < 1$ แสดงว่าปริมาณ ดัชนีความเสี่ยงรังสีจากภายนอกอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัย (Agbalagba & Onoja, 2011; Lolila & Mazunga, 2023; UNSCEAR, 2000)

5. ผลการประเมินค่าความเสี่ยงในการก่อให้เกิดมะเร็งตลอดช่วงชีวิต (Excess Lifetime Cancer Risk, ELCR) ในตัวอย่างดินของแต่ละสถานี



ภาพที่ 8 ค่าความเสี่ยงในการก่อให้เกิดมะเร็งตลอดช่วงชีวิต (ELCR)

จากภาพที่ 8 ค่าความเสี่ยงในการก่อให้เกิดมะเร็งตลอดช่วงชีวิต (ELCR) พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.12 ± 0.01 ถึง 0.64 ± 0.01 mSv/y เฉลี่ย 0.31 ± 0.01 mSv/y โดยค่า ELCR ในตัวอย่างดิน จากสวนกาแฟ อำเภอท่าแซะ มีค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับสวนอื่น ๆ เช่นเดียวกับค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลเรเดียม, ค่าปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ, ค่าปริมาณรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกายประจำปี

และค่าดัชนีวัดความเสี่ยงจากการได้รับรังสีภายนอกร่างกาย โดยมีค่าสูงสุดที่สถานี CPA-2 ทั้งนี้ พบว่าค่า ELCR หลายสถานีมีค่า ELCR สูงกว่าค่าเกณฑ์คือ 0.29 mSv/y (UNSCEAR, 2000)

ตารางที่ 1 ค่าดัชนีความเสี่ยงเฉลี่ยของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในตัวอย่างดิน เทียบกับผลการศึกษาทั้งใน และต่างประเทศ

Mathematical model	Radionuclide Risk Index					Reference
	Ra_{eq} (Bq/kg)	D (nGy/h)	E (mSv/y)	H_{ex}	ELCR (mSv/y)	
Chumphon, Thailand	153.76 ± 0.19	72.97 ± 0.13	0.089 ± 0.004	0.42 ± 0.01	0.31 ± 0.01	Present Study
Global mean	370	57	0.48	1	0.29	(UNSCEAR, 1988, 1993, 2000)
Ethiopia	172.0 ± 4.6	76.3 ± 2.0	-	0.46	-	(Ashebir et al., 2021)
Turkey	-	-	-	0.0064	0.139	(Keser et al., 2011)
Tamil Nadu, India	181.7 ± 91.5	82.5 ± 39.7	0.13 ± 0.15	0.48 ± 0.24	-	(Hameed, et al., 2014)
Upper Egypt	639.47	290.08	-	0.52	-	(Ahmed, & El-Aradi, 2005)
Qatar	47	22	0.027	0.125	0.096	(Ahmad et al., 2019)
Owerri, Nigeria	59.62	26.86	0.132	0.16	0.14	(Eke et al., 2024)
Chumphon	303.91 ± 24.93	150.63 ± 12.32	0.18 ± 0.02	0.82 ± 0.07	0.69 ± 0.06	(Chauymanee et al., 2013)
OAP Data	512.90 ± 6.50	231.81 ± 2.97	0.28 ± 0.02	1.39 ± 0.02	-	(OAP, 2002)

ผลการศึกษาค่าดัชนีความเสี่ยงของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในตัวอย่างดิน จากสวนกาแฟ จังหวัดชุมพร พบว่า ค่ากัมมันตรังสีสมมูลเรเดียม (Ra_{eq}) มีค่าเฉลี่ย 153.76 ± 0.19 Bq/kg ซึ่งมีค่าต่ำกว่าเมื่อเทียบกับประเทศเอธิโอเปีย, ประเทศอินเดีย, ประเทศอียิปต์ตอนเหนือ, จังหวัดชุมพร, ค่าอ้างอิงระดับชาติ และค่าเฉลี่ยโลกที่ 370 Bq/kg (Ahmed & El-Aradi, 2005; Ashebir et al., 2021; Chauymanee et al., 2013; Hameed et al., 2014; OAP, 2002; UNSCEAR, 2000) มีค่าสูงกว่าเมื่อเทียบกับประเทศไนจีเรีย และประเทศกาตาร์ (Ahmad et al., 2019; Eke et al., 2024) ค่าอัตราปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ (D) ในตัวอย่างดิน จากสวนกาแฟ จังหวัดชุมพร เฉลี่ย 72.97 ± 0.13 nGy/h มีค่าต่ำกว่าเมื่อเทียบกับประเทศเอธิโอเปีย, ประเทศอินเดีย, ประเทศอียิปต์ตอนเหนือ, จังหวัดชุมพร, ค่าอ้างอิงระดับชาติ (Ahmed & El-Aradi, 2005; Ashebir et al., 2021; Chauymanee et al., 2013; Hameed et al., 2014; OAP, 2002) แต่มีค่าสูงกว่าเมื่อเทียบกับประเทศไนจีเรีย, ประเทศกาตาร์ และค่าเฉลี่ยโลกที่ 57 nGy/h (Ahmad et al., 2019; Eke et al., 2024; UNSCEAR, 2000) ค่าปริมาณรังสีที่ได้รับภายนอกร่างกายประจำปี (E) ในตัวอย่างดิน จากสวนกาแฟ จังหวัดชุมพร เฉลี่ย 0.089 ± 0.004 mSv/y มีค่าต่ำกว่าเมื่อเทียบกับประเทศอินเดีย, ประเทศไนจีเรีย, จังหวัดชุมพร, ค่าอ้างอิงระดับชาติ และค่าเฉลี่ยโลกที่ 0.48 mSv/y (Chauymanee et al., 2013; Eke et al., 2024; Hameed et al., 2014; OAP, 2002; UNSCEAR, 2000) แต่มีค่าสูงกว่าที่รายงานในประเทศกาตาร์ (Ahmad et al., 2019) ค่าดัชนีความเสี่ยงจากรังสีภายนอกร่างกาย (H_{ex}) ในตัวอย่างดิน จากสวนกาแฟ จังหวัดชุมพร เฉลี่ย 0.42 ± 0.01 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าเมื่อเทียบกับรายงานในประเทศเอธิโอเปีย, ประเทศอินเดีย, ประเทศอียิปต์ตอนเหนือ, จังหวัด

ชุมพร, ค่าอ้างอิงระดับชาติ และค่าเฉลี่ยโลกที่ 1 (Ahmed & El-Aradi, 2005; Ashebir et al., 2021; Chauymanee et al., 2013; Hameed et al., 2014; OAP, 2002; UNSCEAR, 2000) แต่มีค่าสูงกว่าประเทศตุรกี, ประเทศไนจีเรีย และประเทศกาตาร์ (Ahmad et al., 2019; Eke et al., 2024; Keser et al., 2011) และค่าความเสี่ยงในการก่อให้เกิดมะเร็งตลอดช่วงชีวิต (ELCR) เฉลี่ย 0.31 ± 0.01 mSv/y ซึ่งมีค่าต่ำกว่าเมื่อเทียบกับจังหวัดชุมพร (Chauymanee et al., 2013) แต่มีค่าสูงกว่าเมื่อเทียบกับประเทศตุรกี, ประเทศกาตาร์ และประเทศไนจีเรีย (Ahmad et al., 2019; Eke et al., 2024; Keser et al., 2011) แต่มีค่าเทียบเคียงกับค่าเฉลี่ยโลกที่ 0.29 mSv/y (UNSCEAR, 2000)

5. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ผลการประเมินค่าดัชนีความเสี่ยงของ กัมมันตภาพรังสีสมมูลเรเดียม (Ra_{eq}) มีค่าเฉลี่ย 153.76 ± 0.19 Bq/kg อัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืนในอากาศ (D) มีค่าเฉลี่ย 72.97 ± 0.13 mSv/y ค่าดัชนีความเสี่ยงการได้รับรังสีจากภายนอก (H_{ex}) มีค่าเฉลี่ย 0.42 ± 0.01 ปริมาณรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกายประจำปี (E) มีค่าเฉลี่ย 0.089 ± 0.004 mSv/y และค่าความเสี่ยงในการก่อให้เกิดมะเร็งในตลอดช่วงชีวิต (ELCR) ในพื้นที่ที่ศึกษามีค่าเฉลี่ย 0.31 ± 0.01 mSv/y ซึ่งมีค่าต่ำกว่าขีดจำกัดของคณะกรรมการวิทยาศาสตร์ขององค์กรสหประชาชาติเกี่ยวกับผลของรังสีปรมาณู (UNSCEAR, 2000) ผลการวิจัยสรุปได้ว่าดินจากสวนกาแฟอำเภอท่าแซะ อำเภอปะทิว และอำเภอสวี จังหวัดชุมพร มีปริมาณสารกัมมันตรังสีอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัย อย่างไรก็ตาม บ้านเรือนบริเวณพื้นที่ศึกษาควรมีการเปิดปิดให้อากาศถ่ายเทสม่ำเสมอเพื่อลดการสะสมของแก๊สเรดอนในที่อยู่อาศัย

ข้อเสนอแนะในการวิจัย

จากผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีความเสี่ยงโดยเฉพาะค่า D และ ELCR ในตัวอย่างดิน จากอำเภอท่าแซะ อำเภอสวี และอำเภอปะทิว มีค่าสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ดังนั้นควรวิเคราะห์ค่าการส่งผ่านของสารกัมมันตรังสีธรรมชาติ (NORMs) จากดินสู่เมล็ดกาแฟในอนาคต

6. เอกสารอ้างอิง

กรมทรัพยากรธรณี. (2550). *การจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณีจังหวัดชุมพร*. ห้างหุ้นส่วนจำกัด ไอเดีย สแควร์.

กรมวิชาการเกษตร. (ม.ป.ป.). *ยกระดับอัตลักษณ์กาแฟไทยด้วยนวัตกรรมกาแฟ สู่ตลาดสากล*. สำนักพิมพ์การันตี.

คณะกรรมการความปลอดภัยทางรังสี ศูนย์ความปลอดภัยอาชีวอนามัยและสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2564). *คู่มือความปลอดภัยในการทำงานด้านรังสี*. https://www.shecu.chula.ac.th/data/boards/120/manual-radiation-safety.pdf

ชุษณา เมฆโหรา. (2558). กาแฟเพื่อสุขภาพ. *วารสารอาหาร*, *45*(4), 15–18.

สะเราะ นิยมเดชา, รุ่งศักดิ์ สุวรรณกลาง, และพรธิภา ตั้งตระกูล. (2567). *การวิเคราะห์นิวไคลด์กัมมันตรังสีในตัวอย่างสิ่งแวดล้อมด้วยระบบวัดแกมมาสเปกโตรเมตรี*. https://www.oap.go.th/wp-content/uploads/2024/04/3-คู่มือการวิเคราะห์นิวไคลด์รังสีในตัวอย่างสิ่งแวดล้อม.pdf

สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดชุมพร. (2567). *ข้อมูลเพื่อการวางแผนพัฒนาการเกษตรรายสินค้า ปี 2567*.สำนักงานปลัดกระทรวงเกษตรและสหกรณ์. https://www.opsmoac.go.th/chumphon-performance-preview-461591791830

Agbalagba, E. O., & Onoja, R. A. (2011). Evaluation of natural radioactivity in soil, sediment and water samples of Niger Delta (Biseni) flood plain lakes, Nigeria. *Journal of Environmental Radioactivity*, *102*(7), 667–671. https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2011.03.002

Ahmad, A. Y., Al-Ghouti, M. A., AlSadig, I., & Dieyeh, M. A. (2019). Vertical distribution and radiological risk assessment of Cs-137 and natural radionuclides in soil samples. *Scientific Reports*, *9*, Article 12481. https://doi.org/10.1038/s41598-019-48500-x

Ahmed, N. K., & El-Aradi, A. G. M. (2005). Natural radioactivity in farm soil and phosphate fertilizer and its environmental implications in Qena governorate, Upper Egypt. *Journal of Environmental Radioactivity*, *84*(1), 51–64. https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2005.04.007

Alharbi, W. R., & Alamoudi, Z. M. (2017). Radiological hazard of coffee to humans: A comparative study of Arabian and Turkish coffees. *African Journal of Agricultural Research*, *12*(5), 327–341. https://doi.org/10.5897/AJAR2016.12031

Asaduzzaman, K., Khandaker, M. U., Amin, Y. M., & Mahat, R. (2014). Soil-to-root vegetable transfer factors for 226Ra, 232Th, 40K, and 88Y in Malaysia. *Journal of Environmental Radioactivity*, *135*, 120–127. https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2014.04.009

Asaduzzaman, K., Khandaker, M. U., Amin, Y. M., & Mahat, R. (2015). Uptake and distribution of natural radioactivity in rice from soil in north and west part of peninsular Malaysia for the estimation of ingestion dose to man. *Annals of Nuclear Energy, 76,* 85–93. https://doi.org/10.1016/j.anucene.2014.09.036

Ashebir, N. C., Goshu, B. S., & Mengistu, E. (2021). Assessment of Natural Radioactivity in Soil Samples and Tea Leaves at Gumero Tea Farm, Ethiopia. *Romanian Journal of Biophysics. 32*(2), 103-119.

Chauymanee, G., Kessaratikoon, P., Boonkrongcheep, R., Benjakul, S. & Youngchauy, U. (2013). Specific Activity and Radioactive Contour Map of Anthropogenic Radionuclide (Cs-137) in Surface Soil Samples from Chumphon Province, Thailand. *Advanced Materials Research. 770,* 108-111. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.770.108

Eke, B.C., Akomolafe, I.R., Ukewuik, U.M. & Onyenegecha, C.P. (2024). Assesment of Radiation Hazard Indices Due to Natural Radionuclides in Soil Samples from Imo State University, Owerri, Nigeria. *Environmental Health Insight, 18*(1), 1-11. https://doi.org/10.1177/11786302231224581

Environmental Protection Agency (EPA). (1999). National Emission Standard for Hazardous Air Pollutants; National Emission Standards for Radon Emissions from Phosphogypsum Stacks. *Federal Register, 64*(20), 5574-5580.

Feng, W., Zhang, Y., Li, Y., Wang, P., Zhu, C., Shi, L., Hou, X., & Qie, X. (2020). Spatial distribution, risk assessment and influence factors of terrestrial gamma radiation dose in China. *Journal of Environmental Radioactivity. 222,* 106325. https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2020.106325

Goshu, B. S. & Ashebir, N. C. (2024). Estimation of annual effective radiation dose and cancer risk due to tea consumption. *Romanian Journal of Biophysics, 34*(2), 73-85. https://www.doi.org/10.59277/RJB.2024.2.02

Hameed, P. S., Pillai, G. S., & Mathiyarasu, R. (2014). A study on the impact of phosphate fertilizers on the radioactivity profile of cultivated soils in Srirangam (Tamil Nadu, India). *Journal of Radiation Research and Applied Sciences. 7*(4), 463-471. https://doi.org/10.1016/j.jrras.2014.08.011

International Agency for Research on Cancer. (2012). *IARC monographs on evaluation of carcinogenic risks to humans: Volume 100D, Radiation* (ISBN 978-92-832-1321-5). International Agency for Research on Cancer. https://publications.iarc.who.int/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Radiation-2012

International Commission on Radiological Protection (ICRP). (2007). The 2007 recommendations of the International Commission on Radiological Protection (ICPR Publication 103). *Annals of the ICPR, 37*(2-4), 1-332. https://doi.org/10.1016/j.icrp.2007.10.003

Júnior, J. A. dos S., Araújo, E. E. de. N., Fernández, Z. H., Amaral, R. dos S., Nascimento, J. M. do S. & Milán, M. O. (2021). Measurement of natural radioactivity and radium equivalent activity for pottery making clay samples in Paraíba and Rio Grande do Norte – Brazil. *Environmental Advances, 6,* 100121. https://doi.org/10.1016/j.envadv.2021.100121

Keser, R., Görür, F. K., Akcay, N., & Okumuşoglu, N. T. (2011). Radionuclide concentration in tea, cabbage, orange, kiwi and soil and lifetime cancer risk due to gamma radioactivity in Rize, Turkey. *Journal of the Science of Food and Agriculture. 91*(6), 987-991. https://doi.org/10.1002/jsfa.4259

Kritsananuwat, R., Sahoo, S. K., Fukushi, M., & Chanyotha, S. (2015). Distribution of rare earth elements, thorium and uranium in Gulf of Thailand's sediments. *Environmental Earth Sciences. 73*, 3361-3374. https://doi.org/10.1007/s12665-014-3624-8

Lolila, F. & Mazunga, M. S. (2023). Measurements of natural radioactivity and evaluation of radiation hazard indices in soils around the Manyoni uranium deposit in Tanzania. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences, 16*(1), 100524. https://doi.org/10.1016/j.jrras.2023.100524

Nieder, R., Bendi, D. K., & Reich, F. X. (2018). Health Risks Associated with Radionuclides in Soil Materials. *Soil Component and Human Health,* 451-501. Springer Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-024-1222-2

Office of Atoms for Peace. (2002). OAP 1994-2002 annual reports. Office of Atoms for Peace.

Owoade, L. R., Oyeyemi, S. M., Lawal, F. A., Adeyemo, A. J., Adamoh, N. O., & Adebowale, F. M. (2019). Assessing naturally occurring radionuclides in soil of Egbeda Local Government for a baseline data of Oyo State, Nigeria. *Radiation Protection and Environment. 42*(3), 90-95. https://doi.org/10.4103/rpe.RPE_14_19

Singh, S., Rani, A. & Mahajan, R. K. (2005). Ra-226, Th-232 and K-40 analysis in soil samples from some areas of Punjab and Himachal Pradesh, India using gamma ray spectrometry. *Radiation Measurements, 39,* 431-439. https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2004.09.003

Taskin, H., Karavus, M., Ay, P., Topuzoglu, A., Hidiroglu, S. & Karahan, G. (2009). Radionuclide concentrations in soil and lifetime cancer risk due to gamma radioactivity in Kirklareli, Turkey. *Journal of Environmental Radioactivity, 100*(1), 49–53. https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2008.10.012

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. (1988). *Sources and effects of Radiation,* Report to General Assembly with Scientific Annexes, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, New York, USA.

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. (1993). *Sources and effects of Radiation,* Report to General Assembly with Scientific Annexes, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, New York, USA.

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. (2000). *Sources and effects of ionizing radiation: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 2000 report to the General Assembly, with scientific annexes.* Retrieved from https://www.unscear.org/unscear/uploads/documents/unscear-reports/UNSCEAR_2000_Report_Vol.I.pdf

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. (2010). *Sources and effects of ionizing radiation: UNSCEAR 2008 report to the General Assembly with scientific annexes. Volume I: sources (Corrigendum).* Retrieved from https://www.unscear.org/unscear/uploads/documents/unscear-reports/UNSCEAR_2008_Report_Vol.I-CORR.pdf

การทดสอบประสิทธิภาพการรับกำลังอัดของคอนกรีตในโครงสร้างอาคารเก่าในมหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษมด้วย REBOUND HAMMER

ศรัทธา พลังทรงสถิต[1*], ศุภนุช อกอุ่น[1], แดน อุตรพงษ์[1], ไชยนันท์ รัตนโชตินันท์[1], กฤช คำณูนธรรม[1], จุฬาวัลย์ นนตะพันธ์[1], อรรษนุพงษ์ พรมงาม[2] และจรัล รัตนโชตินันท์[1]

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมโยธาและบริหารงานก่อสร้าง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
[2] นักวิจัยอิสระ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินคุณภาพและความแข็งแรงของโครงสร้างอาคารเก่าในมหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม โดยทำการทดสอบอาคารทั้งหมด 10 อาคาร โดยใช้รีบาวด์แฮมเมอร์ (Rebound Hammer) ซึ่งเป็นเครื่องมือทดสอบกำลังอัดคอนกรีตแบบไม่ทำลายที่สามารถประเมินกำลังอัดได้โดยไม่สร้างความเสียหาย ผลการทดสอบให้ข้อมูลสำคัญเกี่ยวกับความแข็งแรงของคอนกรีตในแต่ละตำแหน่ง ซึ่งสะท้อนสภาพความเสื่อมและศักยภาพในการรับน้ำหนัก เพื่อให้ได้ค่ากำลังอัดที่แม่นยำยิ่งขึ้น ข้อมูลที่ได้จากเครื่องมือจึงถูกนำมาปรับแก้ด้วย ค่า Correction Factor ที่ 12% ค่าปรับแก้นี้ได้มาจากการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากรีบาวด์แฮมเมอร์กับค่ากำลังอัดที่ได้จากการทดสอบแบบทำลาย (Destructive Test) บนตัวอย่างคอนกรีตจริงในห้องปฏิบัติการ ข้อมูลนี้จำเป็นต่อการวางแผนบำรุงรักษา ปรับปรุง หรือซ่อมแซม รวมถึงการประเมินความปลอดภัยของอาคารในระยะยาว การศึกษานี้มุ่งสนับสนุนการจัดการอาคารอย่างมีประสิทธิภาพและเสนอแนวทางการใช้รีบาวด์แฮมเมอร์กับโครงสร้างเก่าในสถาบันการศึกษา

คำสำคัญ: รีบาวด์แฮมเมอร์ กำลังอัดคอนกรีต การทดสอบแบบไม่ทำลาย

** ผู้รับผิดชอบบทความ : sattha.p@chandra.ac.th*

***รับบทความ**: 6 สิงหาคม 2568* ***แก้ไขเสร็จ:** 19 ตุลาคม 2568* ***ตอบรับบทความ**: 13 พฤศจิกายน 2568*

Testing the Compressive Strength of Concrete in Old Building Structures at Chandrakasem Rajabhat University Using the Rebound Hammer

Sattha Phalungsongsathit[1*], Supanush Okoun[1], Dan Auttarapong[1], Chaiyanunt Rattanashotinunt[1], Krit Kumnoontum[1], Jurawan Nontapon[1], Atsanupong Promngam[2] and Jaran Ratanachotinun[1]

[1] Department of Civil and Construction Management Engineering, Faculty of Science, Chandrakasem Rajabhat University
[2] Independent researcher

Abstract

This study evaluated the structural strength of 10 old buildings at Chandrakasem Rajabhat University using a Rebound Hammer, a non-destructive testing method. The results were adjusted with a 12% correction factor to ensure accuracy. This data is critical for effective building management, providing the basis for future maintenance and safety planning. The report proposes a methodology for using the Rebound Hammer to assess older educational structures.

Keywords: Rebound Hammer, Concrete Compressive Strength, Non-destructive Testing

** Corresponding author: sattha.p@chandra.ac.th*

***Received**: 6 August 2025* ***Revised:** 19 October 2025* ***Accepted**: 13 November 2025*

1. บทนำ

ในการตรวจสอบกำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตการทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non-destructive testing) ถือเป็นกระบวนการสำคัญที่ใช้ประเมินคุณภาพและประสิทธิภาพของวัสดุ โดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างหรือวัสดุนั้น ๆ วิธีการนี้มักถูกนำมาใช้กับโครงสร้างขนาดใหญ่ที่ยากต่อการทำลายหรือถอดชิ้นส่วนออกมาทดสอบ เช่น สะพาน หรืออาคารคอนกรีตขนาดใหญ่ เนื่องจากคอนกรีตเป็นวัสดุหลักในการก่อสร้างโครงสร้างขนาดใหญ่และเมื่อผ่านการใช้งานเป็นระยะเวลานาน อาจเกิดการเสื่อมสภาพ ซึ่งนำไปสู่ความเสียหายหรือการพังทลาย เช่น การทรุดตัว การพังถล่ม หรือการเกิดรอยร้าวที่ผนังหรือคาน และจากการสำรวจโครงสร้างอาคารเก่าในมหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษมจำนวน 10 อาคาร พบปัญหาของโครงสร้างอาคารดังนี้ การกระเทาะออกของผิวคอนกรีต การบิดเบี้ยวหรือเคลื่อนตัวของโครงสร้าง การสูญเสียผิวคอนกรีตเนื่องจากการสึกกร่อน และการวิบัติของวัสดุอุดรอยต่อ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการตรวจสอบและดำเนินการปรับปรุงแก้ไขเพื่อป้องกันเหตุการณ์ดังกล่าว โดยวิธีการทดสอบคอนกรีตแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบหลัก คือ การทดสอบคอนกรีตแบบทำลาย และการทดสอบคอนกรีตแบบไม่ทำลาย

ในการตรวจสอบกำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตด้วยวิธีการทำลาย มีหลายรูปแบบ หนึ่งในนั้นคือ การหล่อแท่งคอนกรีตเพื่อทดสอบด้วยเครื่องไฮดรอลิค ซึ่งใช้แรงกดจนแท่งตัวอย่างเกิดการแตกร้าว เพื่อหาค่ากำลังรับแรงที่แท้จริงของคอนกรีตสูตรนั้น ๆ และประเมินความเหมาะสมกับการใช้งาน อีกวิธีหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลายคือ การทดสอบความแข็งแรงของคอนกรีตโดยการเจาะ (Concrete Coring Machine Test) ซึ่งเป็นการทดสอบแบบทำลายโครงสร้างบางส่วน โดยใช้เครื่องเจาะเพื่อเก็บตัวอย่างคอนกรีตจากโครงสร้างอาคาร เช่น บริเวณเสา คาน หรือส่วนที่ต้องรับแรงสูง ข้อควรระวังที่สำคัญที่สุดคือ หลีกเลี่ยงการเจาะถูกเหล็กเสริมโครงสร้างโดยเด็ดขาด โดยทั่วไปจะเก็บตัวอย่างคอนกรีตเป็นรูปทรงกระบอกจำนวน 3 ก้อน เพื่อนำไปทดสอบกำลังอัดในห้องปฏิบัติการ วิธีการนี้มีข้อดีคือให้ผลทดสอบที่มีความแม่นยำสูงกว่าการทดสอบแบบไม่ทำลาย เช่น Rebound Hammer Test หลังจากดำเนินการทดสอบแล้ว จำเป็นต้องมีการซ่อมแซมบริเวณที่เจาะตัวอย่างออกไป โดยการใช้วัสดุอุดรูประเภทปูนทรายกำลังสูงชนิดไม่หดตัว ทั้งนี้การทดสอบรูปแบบนี้ควรอยู่ภายใต้การกำกับดูแลของผู้เชี่ยวชาญ เพื่อให้มั่นใจในความปลอดภัยและความถูกต้องของผลลัพธ์

การทดสอบคอนกรีตแบบไม่ทำลาย หรือที่รู้จักกันในชื่อ การทดสอบค้อนกระแทก (Rebound Hammer Test) หรือ ชมิดท์ แฮมเมอร์สเทส (Schmidt Hammer Test) เป็นวิธีการที่ใช้ประเมินกำลังอัดประลัย หรือค่า F_c' ของคอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM C805 โดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างหรือวัสดุโดยตรง วิธีการนี้ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในการตรวจสอบโครงสร้างขนาดใหญ่ที่ยากต่อการรื้อถอนหรือเก็บตัวอย่างเพื่อทดสอบแบบทำลาย อาทิ สะพานหรืออาคารคอนกรีตขนาดใหญ่ หลักการพื้นฐานของการทดสอบนี้คือการวัดค่า ดัชนีสะท้อนกลับ (Rebound Number) ที่เกิดจากการกดแกนทดสอบ (Plunger) และกระบอกทดสอบ (Housing) ให้ตั้งฉากกับผิวคอนกรีต แรงกระแทกจากสปริงภายในจะทำให้แกนทดสอบเกิดการสะท้อนกลับ โดยมีค่าดัชนีตั้งแต่ 10 ถึง 100 ขึ้นอยู่กับความสามารถในการดูดซับพลังงานของผิวคอนกรีต ผิวคอนกรีตที่มีความแข็งมากกว่าจะให้ค่าดัชนีสะท้อนกลับที่สูงกว่า ค่ากำลังอัดที่ได้จากการทดสอบนี้เป็นการแปลงมาจากค่าความแข็งของผิวคอนกรีตที่วัดได้ โดยส่วนใหญ่ การทดสอบกำลังรับแรงอัดประลัยคอนกรีตด้วยวิธีการไม่ทำลายเป็นการตีความผลการวัดค่าต่าง ๆ ที่มีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติหรือกลไกการเสื่อมสภาพของโครงสร้าง อย่างไรก็ตาม หลักสำคัญของการทดสอบแบบไม่ทำลายคือการเก็บข้อมูลที่เพียงพอต่อการประเมินสภาพของโครงสร้างโดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายในระดับที่มากเกินไป ซึ่งการวิจัยนี้ได้นำวิธีการทดสอบด้วยค้อนกระแทกมาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบกำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตเพื่อประเมินคุณภาพและประสิทธิภาพของวัสดุในโครงสร้างอาคาร

การวิจัยนี้สอดคล้องกับผลงานวิจัย การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดคอนกรีตและอายุคอนกรีต (วินิตย์ ชลายนานนท์ และสุวัฒน์ พาหุสุวัณโณ, 2531) ได้มีการศึกษาและจัดทำรายงานผลการวิจัยโดยสำนักวิจัยและพัฒนากรมชลประทาน เพื่อหารูปแบบสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นของค่ากำลังอัดคอนกรีตที่อายุต่าง ๆ กัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำสมการที่ได้ไปใช้ประกอบในการควบคุมงานก่อสร้างทั้งทางด้านโยธาและชลประทาน ทำให้สามารถประเมินค่ากำลังอัดคอนกรีตของโครงสร้างขณะดำเนินการก่อสร้างได้อย่าง

มีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการทำความเข้าใจปัจจัยที่มีผลต่อกำลังอัดของคอนกรีต รวมถึงอายุของคอนกรีตที่ส่งผลต่อค่ากำลังอัดที่วัดได้ด้วยวิธีไม่ทำลาย

งานวิจัย การประเมินกำลังอัดประลัยของคอนกรีตด้วยวิธีทดสอบแบบไม่ทำลาย (พร้อมพงศ์ ฉลาดธัญญกิจ และสนธยา ทองอรุณศรี, 2566) ศึกษาการประเมินกำลังอัดประลัยของคอนกรีตด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย ใช้วิธีทดสอบแบบรวม SonReb เพื่อสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนกลับและความเร็วคลื่นอัลตราโซนิกกับกำลังอัดประลัยของคอนกรีต คอนกรีตมีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.35 0.45 0.55 0.65 และ 0.75 และมีสภาพการบ่มตัวอย่างคอนกรีตในน้ำและในอากาศ ผลการศึกษาพบว่าเมื่อคอนกรีต มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานมากขึ้นทำให้กำลังอัดประลัย ค่าการสะท้อน และความเร็วคลื่นอัลตราโซนิก มีค่าลดลง ขณะที่คอนกรีตที่มีสภาพการบ่มตัวอย่างในน้ำให้ค่ากำลังอัดประลัย ค่าการสะท้อน และความเร็วคลื่น อัลตราโซนิกมากกว่าของคอนกรีตที่มีสภาพการบ่มตัวอย่างในอากาศ และยังพบว่าค่าการสะท้อนกลับและกำลังอัดประลัยของคอนกรีต มีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง ส่วนค่าความเร็วคลื่นอัลตราโซนิกและกำลังอัดประลัยของคอนกรีตมีความสัมพันธ์แบบฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียล

งานวิจัย การเปรียบเทียบกำลังอัดของคอนกรีตและมอร์ต้าร์ที่ได้จากการทดสอบโดยวิธีค้อนชมิทด์และเครื่องทดสอบกำลังอัด (จีรศักดิ์ สุพรมวัน, รัฐพล สมนา, และธีรวัฒน์ สินศิริ, 2566) ศึกษาเปรียบเทียบกำลังอัดของมอร์ต้าร์และคอนกรีตด้วยวิธีทดสอบแบบไม่ทำลายด้วยค้อนยิงกระแทกคอนกรีตกับวิธีการทดสอบแบบทำลายด้วยเครื่องทดสอบกำลังอัด อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ ที่ใช้ในส่วนผสมของมอร์ต้าร์และคอนกรีตในงานวิจัยนี้มีค่าเท่ากับ 0.64 และ 0.52 เพื่อให้ได้กำลังอัดออกแบบเท่ากับ 240 กก/ซม^2 และ 320 กก/ซม^2 ตามลำดับ โดยคอนกรีตใช้หินขนาดโตสุด ¾ นิ้ว ในปริมาณที่แตกต่างกัน (0, 50 และ 100%) หล่อตัวอย่างทดสอบขนาด 15x15x15 ซม. และบ่มในน้ำ หลังจากถอดแบบ ทำการทดสอบกำลังอัดที่อายุ 7 และ 28 วัน ผลการทดสอบพบว่า หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตที่มีหินในส่วนผสมมีค่าสูงกว่าของมอร์ต้าร์และเพิ่มขึ้นตามค่ากำลังอัดที่สูงขึ้น ส่วนกำลังอัดของมอร์ต้าร์และคอนกรีตที่ทดสอบแบบไม่ทำลายด้วยค้อนยิงกระแทกคอนกรีตมีค่ากำลังอัดลดลง ตามปริมาณหินที่ลดลงสำหรับกำลังอัดเฉลี่ยเมื่อทดสอบด้วยค้อนยิงกระแทกคอนกรีตในทิศทางการยิงแนวดิ่งและแนวราบที่ได้ จากมอร์ต้าร์ที่ออกแบบกำลังอัดไว้เท่ากับ 240 กก/ซม^2 และ 320 กก/ซม^2 พบว่ามีค่าเท่ากับร้อยละ 61 และ 68 ของค่าที่ได้ จากการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบกำลังอัดตามลำดับ ส่วนของคอนกรีตที่มีปริมาณหินร้อยละ 50 และ 100 มีกำลังอัดเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 66 และ 74 และเท่ากับร้อยละ 76 และ 84 ของค่าที่ได้จากการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบกำลังอัด

จากงานวิจัย มาตรวัดการกระแทกการประเมินคอนกรีตโดยใช้การทดสอบค้อน (ไพจิตร ผาวัน, วริสรา เลิศไพฑูรย์พันธ์, และฉัตรชัย เลิศรัตนาพร, 2563) ศึกษาการใช้ค้อนกระแทกแบบสมิดท์ เป็นการวัดค่ากำลังอัดของคอนกรีตในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กแบบไม่ทำลายโดยค่ากำลังอัดที่ได้เป็นค่าประมาณ และต้องใช้ร่วมกับค่าที่ทดสอบได้จากห้องปฏิบัติการ งานวิจัยนี้จึงได้พัฒนามาตรวัดการกระแทก เพื่อประเมินคอนกรีตโดยใช้ค้อนกระแทกแบบสมิดท์และใช้วิธีทางสถิติสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัด และค่าสะท้อน โดยมีรูปแบบตัวอย่างทดสอบ 2 รูปแบบ คือ รูปทรงลูกบาศก์ ขนาด 15×15×15 ซม^3 และรูปแบบกรณีศึกษา ขนาด 30×60×30 ซม^3 แต่ละรูปแบบมีค่ากำลังอัด 150 กก/ซม^2, 180 กก/ซม^2, 210 กก/ซม^2 และ 240 กก/ซม^2 ที่ 28 วัน แล้วทำการทดสอบกำลังอัดด้วย ค้อนกระแทกแบบสมิดท์ (Schmidt Hammer) และด้วยเครื่องทดสอบแรงเอนกประสงค์ (UTM) พบว่าในช่วงค่ากำลังอัดตั้งแต่ 150-240 กก/ซม^2 ได้ค่าการสะท้อน (RN) ในช่วง 19-32 โดยมีสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัดและการสะท้อนเป็นฟังก์ชันโพลิโนเมียลอันดับที่ 3 และมีค่า R^2 ตั้งแต่ 0.9176 ถึง 0.9766 แสดงว่ามาตรวัดการกระแทกที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้ได้ดี

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อตรวจสอบความเสื่อมสภาพและกำลังอัดของคอนกรีตในโครงสร้างอาคารเก่าจำนวน 10 อาคารภายในมหาวิทยาลัย โดยเน้นทดสอบเฉพาะเสาของโครงสร้าง และทดสอบด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย (Rebound Hammer Test)

2.2 เพื่อประเมินสภาพของโครงสร้างโดยรวมและระบุตำแหน่ง รวมถึงขนาดของความเสียหายที่อาจเกิดขึ้น

2.3 เพื่อวิเคราะห์ผลการทดสอบเพื่อนำไปสู่การกำหนดแนวทางแก้ไขและป้องกันความเสียหายจากความเสื่อมสภาพของคอนกรีตอย่างเหมาะสม

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้มีขั้นตอนในการดำเนินการดังต่อไปนี้ คือ ศึกษารายละเอียดและวิเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวข้องจากเอกสารและงานวิจัยก่อนหน้าเป็นพื้นฐานในการกำหนดแนวทางการทดสอบ จากนั้นดำเนินการเตรียมวัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ โดยเครื่องมือทุกชนิดได้ผ่านการตรวจสอบและปรับเทียบมาตรฐานก่อนใช้งานจริง การสำรวจโครงสร้างอาคารจะทำการเลือกอาคารที่มีลักษณะและอายุการใช้งานแตกต่างกัน จำนวนทั้งสิ้น 10 อาคาร โดยในแต่ละอาคารทำการทดสอบจำนวน 11 จุด รวมทั้งหมด 110 จุด โดยเน้นทดสอบเฉพาะเสาของโครงสร้าง การดำเนินงานวิจัยและการทดลองทั้งหมดเป็นไปตามมาตรฐานทางวิศวกรรม ทั้งการทดสอบภาคสนามด้วยเครื่องมือแบบไม่ทำลาย (Non-Destructive Test) และการเก็บตัวอย่างบางส่วนไปทดสอบในห้องปฏิบัติการเพื่อเปรียบเทียบค่า หลังจากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติและเปรียบเทียบผลการทดสอบกับค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ รวมถึงการประยุกต์ใช้ข้อมูลที่ได้จากภาคสนามเพื่อนำไปใช้ประเมินความแข็งแรงและความทนทานของโครงสร้างจริง พร้อมทั้งจัดทำแผนการดำเนินงานตลอดโครงการอย่างเป็นระบบเพื่อให้ผลการวิจัยมีความถูกต้องและน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น

3.1 ศึกษารายละเอียดและวิเคราะห์ข้อมูล

ในการดำเนินงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้เริ่มต้นด้วยการประสานงานกับฝ่ายอาคารของมหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม เพื่อขอรับแบบแปลนอาคาร ข้อมูลส่วนผสมปูนที่ใช้ในการก่อสร้าง และค่ากำลังอัดที่ใช้ในการออกแบบอาคาร ภายหลังจากการรวบรวมข้อมูลที่จำเป็นครบถ้วน ได้ดำเนินการสำรวจอาคารเพื่อระบุจำนวนอาคารเป้าหมายสำหรับการทดสอบ โดยเลือกทำการทดสอบอาคาร จำนวน 10 อาคาร และทำการประเมินสภาพเบื้องต้นด้วยการสังเกตการณ์ด้วยสายตา ร่วมกับการบันทึกภาพเพื่อประกอบการพิจารณาคัดเลือกพื้นที่ทดสอบ ขั้นตอนถัดไปคือการคัดเลือกเสาที่จะใช้ในการทดสอบกำลังอัดด้วยเครื่อง Rebound Hammer โดยมีการกำหนดจุดทดสอบบนพื้นผิวเสาอย่างเป็นระบบ เริ่มจากการสกัดผิวหน้าเสาออก และจัดทำตารางแบ่งเป็น 16 ช่องต่อจุดทดสอบ โดยแต่ละจุดมีระยะห่างกัน 1 นิ้ว เพื่อดำเนินการทดสอบกำลังอัดตามระเบียบวิธีที่กำหนด เมื่อดำเนินการทดสอบและบันทึกค่าผลลัพธ์เสร็จสิ้น ข้อมูลที่ได้จะถูกนำมาวิเคราะห์ เพื่อ คาดการณ์อายุการใช้งานของคอนกรีตในแต่ละอาคาร และระบุช่วงเวลาที่เหมาะสมสำหรับการซ่อมแซมบำรุงรักษา นอกจากนี้ในอนาคตโครงการมีแผนที่จะขยายบริการสู่ชุมชน โดยการดำเนินการทดสอบกำลังอัดของอาคารในสถานที่ราชการเพื่อสรุปผลการวิเคราะห์และแจ้งข้อมูลให้แก่หน่วยงานที่เกี่ยวข้องต่อไป

3.2 วัสดุเครื่องมือและอุปกรณ์การวิจัย

วัสดุเครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัยและทดสอบที่สำคัญสำหรับงานวิจัยดังแสดงในภาพ



ภาพที่ 1 เครื่อง Rebound Hammer

3.3 การสำรวจโครงสร้างอาคารและปัญหาที่พบ

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ทำการสำรวจโครงสร้างอาคารภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม 10 อาคาร โดยการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้าง เช่น แบบโครงสร้าง ประวัติการใช้งานข้อมูลวัสดุ ตำแหน่งของโครงสร้าง โดยเฉพาะส่วนที่มีผลกระทบต่อพฤติกรรมของโครงสร้างที่อยู่ภายใน และมุ่งเน้นการระบุปัญหาที่เกิดขึ้นกับอาคารหลายแห่ง ซึ่งเป็นตัวอย่างที่แสดงให้เห็นถึงความจำเป็นในการตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง

ตารางที่ 1 การสำรวจโครงสร้างอาคารและปัญหาของโครงสร้างอาคาร

โครงสร้างอาคาร	ปัญหาของโครงสร้างอาคาร
อาคารห้องประชุมมานิจ ชุมสาย	การกระเทาะออกของผิวคอนกรีต, การบิดเบี้ยวหรือเคลื่อนตัวของโครงสร้าง, การสูญเสียผิวคอนกรีตเนื่องจากการสึกกร่อน และการวิบัติของวัสดุอุดรอยต่อ
อาคารเรียนอเนกประสงค์ (อาคาร 29) และอาคารสำนักศิลปะและวัฒนธรรม (อาคาร 29 ต่อเนื่อง)	การกระเทาะออกของผิวคอนกรีต และการวิบัติของวัสดุอุดรอยต่อ
อาคารสโมสรอาจารย์และตึกสมาคมศิษย์เก่า	การกระเทาะออกของผิวคอนกรีต, การบิดเบี้ยวหรือเคลื่อนตัวของโครงสร้าง และการวิบัติของวัสดุอุดรอยต่อ
อาคาร 36 คณะศึกษาศาสตร์	การวิบัติของวัสดุอุดรอยต่อ และการกระเทาะออกของผิวคอนกรีต
อาคารสาขาวิชาพลศึกษา คณะศึกษาศาสตร์	พื้นอาคารทรุด
อาคาร 26 คณะวิทยาศาสตร์	การกระเทาะออกของผิวคอนกรีต
อาคาร 3 มนุษยศาสตร์	การบิดเบี้ยวหรือเคลื่อนตัวของโครงสร้าง

3.4 การทดสอบตามมาตรฐานทางวิศวกรรม

การทดสอบในงานวิจัยครั้งนี้ใช้มาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กแบบไม่ทำลาย โดยใช้วิธีหาค่าความแข็งแรงของคอนกรีตด้วยค้อนกระแทก (Rebound Hammer)

ตารางที่ 2 การทดสอบตามมาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กแบบไม่ทำลาย

มาตรฐาน	การทดสอบ	วิธีการทดสอบ
ASTM C805, มยผ.1302-51	Rebound Hammer Test	ทดสอบด้วยการกระแทกผิวหน้าคอนกรีต แล้วอ่านค่าการสะท้อน ใช้สำหรับประเมินกำลังอัดโดยประมาณ

การประเมินกำลังอัดของคอนกรีตด้วยเครื่องรีบาวด์แฮมเมอร์เป็นวิธีทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non-Destructive Testing: NDT) ที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เริ่มต้นจากการเตรียมพื้นผิวคอนกรีตให้เรียบ เนื่องจากความเรียบของพื้นผิวส่งผลโดยตรงต่อค่าการสะท้อนกลับ (Rebound Number) โดยพื้นผิวที่โค้งนูนหรือเว้าอาจทำให้ค่าที่ได้คลาดเคลื่อน จากนั้นจึงกำหนดตำแหน่งทดสอบ 16 จุด ในแต่ละบริเวณ โดยแต่ละจุดต้องมีระยะห่างกันอย่างน้อย 30 มิลลิเมตร เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เป็นตัวแทนของพื้นที่นั้น ๆ

ก่อนการทดสอบ ผู้ใช้งานต้องเตรียมเครื่องมือให้พร้อม ด้วยการปลดแท่งเหล็ก (plunger) ของเครื่องออกจากตัวล็อก เพื่อให้กลไกพร้อมสำหรับการทำงาน ในระหว่างการทดสอบ ให้วางเครื่องตั้งฉากกับผิวคอนกรีตแล้วกดลงไปอย่างสม่ำเสมอ เมื่อค้อนกระแทกถึงระดับที่กำหนด กลไกภายในจะทำงาน ทำให้ลูกตุ้มเหล็ก (hammer mass) กระแทกและสะท้อนกลับ ผู้ใช้งานสามารถอ่านค่า

Rebound Number ได้โดยตรงจากมาตรวัดที่ติดอยู่กับตัวเครื่อง เมื่อได้ค่าครบทั้ง 16 จุด จะนำมาหาค่าเฉลี่ยและตรวจสอบความคลาดเคลื่อน ของแต่ละค่า โดยทุกค่าจะต้องไม่แตกต่างจากค่าเฉลี่ยเกินเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (เช่น ±20% หรือตามมาตรฐานที่กำหนด) หากพบค่าที่คลาดเคลื่อนเกินเกณฑ์ จะต้องทำการทดสอบเพิ่มเติมในตำแหน่งใหม่ที่อยู่ห่างจากจุดเดิมอย่างน้อย 30 มิลลิเมตร จนกว่าจะได้ข้อมูลที่น่าเชื่อถือครบถ้วน การปฏิบัติตามขั้นตอนเหล่านี้อย่างเคร่งครัดจะช่วยให้ได้ผลการทดสอบกำลังอัดคอน กรีตที่มีความแม่นยำและเป็นประโยชน์ต่อการประเมินสภาพโครงสร้างต่อไป

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลและการประยุกต์ใช้ในการทดสอบภาคสนาม

การตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กมีเป้าหมายหลักในการ ประเมินสภาพโครงสร้าง โดยพิจารณาจากสามองค์ประกอบสำคัญ ได้แก่ ความแข็งแรงของโครงสร้าง ความสามารถในการใช้งาน และความคงทนของโครงสร้าง สำหรับการตรวจสอบอาคารภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษมนั้น จุดประสงค์สำคัญที่สุดคือการระบุสาเหตุของความเสียหายหรือการเสื่อมสภาพที่เกิดขึ้น และประเมินระดับความเสียหายของโครงสร้าง เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการวางแผนการซ่อมบำรุงหรือบำรุงรักษาโครงสร้างอย่างเหมาะสมต่อไป ในกระบวนการนี้ การตรวจสอบด้วยการตรวจพินิจ (Visual inspection) และการตรวจสอบด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non-Destructive Testing: NDT) ถือเป็นขั้นตอนเริ่มต้นที่จำเป็นอย่างยิ่ง การดำเนินการดังกล่าวจะช่วยให้ผู้ตรวจสอบมีข้อมูลที่เพียงพอในการ วิเคราะห์พฤติกรรมของโครงสร้าง ในรูปแบบต่าง ๆ และสามารถคาดการณ์อายุการใช้งานที่เหลืออยู่ของอาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4. ผลการวิจัย

การศึกษานี้วิเคราะห์ค่ากำลังอัดของคอนกรีตโดยเปรียบเทียบระหว่างวิธีทดสอบแบบไม่ทำลาย (Rebound Hammer) กับวิธีมาตรฐาน (Compressive Test) โดยใช้ลูกปูนตัวอย่างจำนวน 12 ก้อน แบ่งออกเป็น 2 ชุด ชุดละ 6 ก้อน ผลการเปรียบเทียบชี้ให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากทั้งสองวิธี ซึ่งสามารถนำไปประเมินความน่าเชื่อถือของการใช้รีบาวด์แฮมเมอร์ในการตรวจสอบคุณภาพคอนกรีตภาคสนามได้ วิเคราะห์และวิจัยคุณสมบัติของวัสดุก่อสร้าง โครงสร้าง หรือส่วนต่างๆ มีวิธีรักษาที่เหมาะสมสำหรับโครงสร้างซึ่งการทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non-Destructive Testing) จะไม่ทำให้เกิดความเสียหาย วิธีการใช้กับการปฏิบัติงานในโครงการทดสอบกำลังอัดด้วยวิธีรีบาวด์แฮมเมอร์เป็นการตรวจสอบความแข็งแรงของคอนกรีตแบบไม่ทำลาย ประเมินค่ากำลังสูงสุดของคอนกรีตใช้หลักการวัดค่าดัชนีสะท้อนกลับ (Rebound Hammer) ให้ตั้งฉากกับผิวคอนกรีต แรงกระแทกจากสปริงภายในทำให้การทดสอบเกิดการสะท้อนกลับมีค่าดัชนีตั้งแต่ 10 ถึง 100 ขึ้นอยู่กับการดูดซึมพลังงานของผิวคอนกรีตมีความแข็งแรงกว่าค่าดัชนีสะท้อนกลับ ผลการทดสอบสามารถนำมาวิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบได้ ดังนี้



ภาพที่ 2 การทดสอบตัวอย่างด้วย Rebound Hammer



ภาพที่ 3 (ก) ตัวอย่างชุดที่ 1 (ข) ตัวอย่างชุดที่ 2

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบตัวอย่างชุดที่ 1

ลำดับที่	Compressive Test (KSC)	Rebound Hammer (KSC)
1	270.6	285
2	263.8	214
3	186.8	163
4	316.9	224
5	357.9	204
6	348.7	234
ค่าเฉลี่ยรวม	290.78	220.66

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบตัวอย่างชุดที่ 2

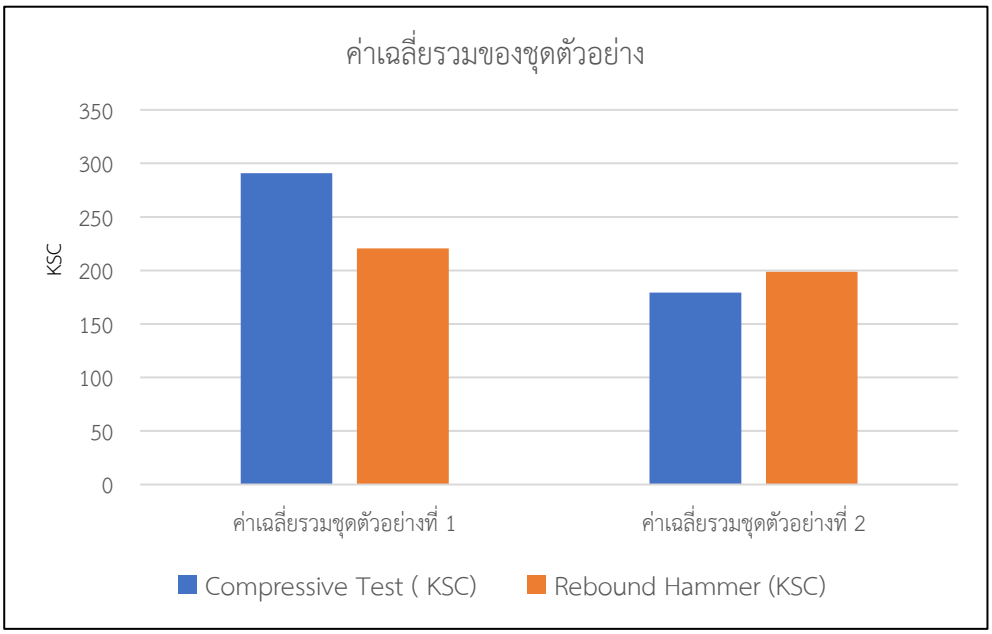
ลำดับที่	Compressive Test (KSC)	Rebound Hammer (KSC)
1	164.4	194
2	170.9	163
3	166.1	163
4	192.2	224
5	261.1	245
6	167	204
ค่าเฉลี่ยรวม	179.45	198.83

เพื่อยกระดับความแม่นยำในการประเมินกำลังอัดของคอนกรีตด้วยรีบาวด์แฮมเมอร์(Rebound Hammer) คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการกำหนด ค่าปรับแก้ (Correction Factor) โดยเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบด้วยรีบาวด์แฮมเมอร์กับการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบกำลังอัด (Compressive Test) ผลลัพธ์ที่ได้ หารกับค่าของ Rebound Hammer และนำไป คูณ 100 ได้ดังนี้ 419.49 – 470.23 = 50.74 KSC 50.74 / 419.49 = 0.12 KSC 0.0.12 X 100 = 12% ค่าปรับแก้ได้เท่ากับ 12% เมื่อรวมค่ากำลังอัดของตัวอย่างทดสอบทั้งสองชุด (Compressive Test = 470.23 KSC, Rebound Hammer = 419.49 KSC) พบว่ามีความแตกต่าง 50.74 KSC ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 12 ของค่าที่ได้จากรีบาวด์แฮมเมอร์ ดังนั้น จึงกำหนดให้ค่าปรับแก้เป็นร้อยละ 12 โดยคณะผู้วิจัยได้นำ

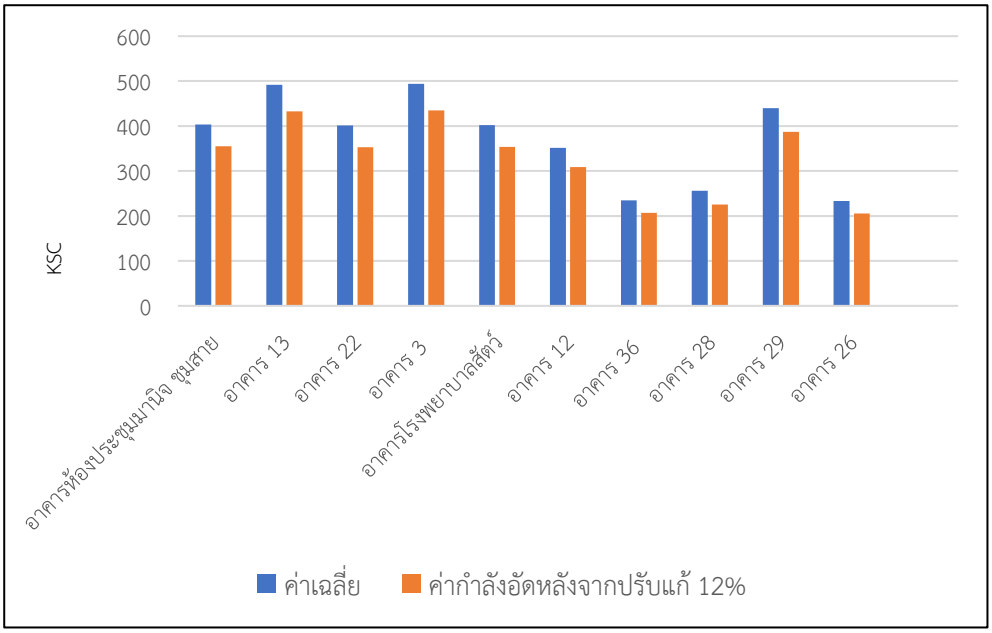
ค่าปรับแก้นี้ไปประยุกต์ใช้ในการคำนวณปรับแก้ค่ากำลังอัดที่ได้จากการทดสอบรีบาวด์แฮมเมอร์ของอาคารต่าง ๆ เพื่อให้ได้ค่ากำลังอัดที่มีความถูกต้องและใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากยิ่งขึ้น

สถิติวิเคราะห์

การวิเคราะห์ทางสถิติของงานวิจัยนี้จะดำเนินการโดยการหาค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง เพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบด้วยรีบาวด์แฮมเมอร์ (Rebound Hammer) และเครื่องทดสอบกำลังอัด (Compressive Test)



ภาพที่ 4 กราฟแสดงผลการทดสอบแบบไม่ทำลาย (Rebound Hammer) กับวิธีมาตรฐาน (Compressive Test)



ภาพที่ 5 กราฟแสดงผลลัพธ์ค่าเฉลี่ยการทดสอบด้วย Rebound Hammer และค่าปรับแก้ด้วยค่า Correction Factor ที่ 12%

จากผลการทดสอบที่ปรากฏในภาพที่ 5 พบว่า ลำดับที่ 2, 4 และ 10 มีค่ากำลังอัด (KSC) สูงกว่าค่า Strength ที่ออกแบบไว้ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการที่ค้อนกระแทกถูกเหล็กเสริมภายในเนื้อคอนกรีตในระหว่างการทดสอบ ขณะที่ลำดับที่ 7, 9 และ 11 แสดงค่ากำลังอัด (KSC) ที่ต่ำและมีค่าเปอร์เซ็นต์ Loss สูง ซึ่งสันนิษฐานได้ว่าอาจเกิดจากมีโพรงภายในเนื้อคอนกรีตหรือมีความเสียหายเกิดขึ้นจริง อย่างไรก็ตาม ค่าเปอร์เซ็นต์ Loss ที่สูงหรือต่ำเกินไปในการทดสอบครั้งนี้ อาจมีสาเหตุมาจากการที่ผู้วิจัยทำการทดสอบเพียงจุดเดียวต่อเสาหนึ่งต้นจากจำนวนเสาทั้งหมดของอาคาร ซึ่งอาจไม่สะท้อนสภาพโดยรวมได้อย่างสมบูรณ์

5. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การเลือกจุดทดสอบควรเลือกจุดทดสอบที่มีลักษณะพื้นผิวคอนกรีตที่ดี ไม่มีรอยร้าว หรือการเสื่อมสภาพที่เห็นได้ชัดเจน เพื่อให้ผลการทดสอบมีความแม่นยำ การประเมินกำลังอัดของคอนกรีตด้วยรีบาวด์แฮมเมอร์โดยทั่วไปอ้างอิงจากความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและค่าการสะท้อน อย่างไรก็ตาม ค่าที่ได้อาจมีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากความแตกต่างของวัสดุ ส่วนผสมคอนกรีต สภาวะแวดล้อมขณะทดสอบ และข้อมูลการทดสอบจากผู้ผลิตค้อนแต่ละราย เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการประเมิน ควรสร้างกราฟความสัมพันธ์โดยใช้คอนกรีตที่มีวัสดุ สัดส่วน หรือสภาวะแวดล้อมใกล้เคียงกับที่ใช้งานจริงในโครงสร้าง นอกจากนี้ ควรมีการทดสอบเสริมอื่น ๆ เช่น การเจาะเก็บตัวอย่าง (Coring) การใช้คลื่นอัลตร้าโซนิก (Ultrasonic Pulse Velocity) หรือการทดสอบความต้านทานการเจาะ (Penetration Resistance) เพื่อยืนยันความสอดคล้องของข้อมูล ในการประเมินกำลังอัดคอนกรีตด้วยรีบาวด์แฮมเมอร์ ควรเลือกจุดทดสอบ ที่มีพื้นผิวคอนกรีตเรียบไม่มีรอยร้าวหรือการเสื่อมสภาพที่เห็นได้ชัดเจน เพื่อให้ผลลัพธ์แม่นยำ จากนั้นเตรียมพื้นผิวโดยทำความสะอาดให้ปราศจากฝุ่นสิ่งสกปรกและหากพื้นผิวขรุขระควรกำจัดความหยาบออก สุดท้ายเปรียบเทียบค่ารีบาวด์ที่ได้กับมาตรฐานการทดสอบคอนกรีตที่เกี่ยวข้องเพื่อประมาณค่ากำลังอัดของคอนกรีตต่อไป หากอาคารมีค่ากำลังอัดคอนกรีตต่ำกว่ามาตรฐาน ควรดำเนินการซ่อมเสริมกำลังโครงสร้าง เช่น การหุ้มเหล็ก การเสริมไฟเบอร์ หรือการซ่อมคอนกรีตเฉพาะจุด ขณะที่อาคารที่ยังคงมีกำลังอัดอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ควรเน้นการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน เพื่อยืดอายุการใช้งานของโครงสร้าง

6. เอกสารอ้างอิง

จีรศักดิ์ สุพรมวัน, รัฐพล สมนา, และธีรวัฒน์ สินศิริ. (2566). *การเปรียบเทียบกำลังอัดของคอนกรีตและมอร์ต้าร์ที่ได้จากการทดสอบโดยวิธีค้อนชมิทต์และเครื่องทดสอบกำลังอัด*. การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปีที่ 11, นครราชสีมา, ประเทศไทย. https://cheqa.rmuti.ac.th/rmuti_1700/2559/ระดับคณะ/องค์%202/ควส.%202.3-86.pdf

ชูชัย สุจิวรกุล, และกนกวรรณ ชัยวรวิทยกุล. (2560). อิทธิพลของค่ากำลังอัดของคอนกรีตและขนาดตัวอย่างทดสอบที่มีผลต่อการทดสอบค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ทำลายโดยใช้ค้อนกระแทก. *วารสารบทความวิจัยและนวัตกรรมอาชีวศึกษา, 1*(1), 1-7. https://so06.tci-thaijo.org/index.php/ve-irj/article/view/195400

พร้อมพงศ์ ฉลาดธัญญกิจ, และสนธยา ทองอรุณศรี. (2566). การประเมินกำลังอัดประลัยของคอนกรีตด้วยวิธีทดสอบแบบไม่ทำลายโดยวิธีค้อนกระแทกวิธีใช้คลื่นอัลตราโซนิกและวิธีทดสอบแบบรวม. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 28*. ภูเก็ต. https://conference.thaince.org/index.php/ncce28/article/view/2107/1208

ไพจิตร ผาวัน, วริสรา เลิศไพฑูรย์พันธ์, และฉัตรชัย เลิศรัตนาพร. (2563). มาตรวัดการกระแทกการประเมินคอนกรีตโดยใช้การทดสอบค้อน. *การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ครั้งที่ 38*. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. https://dspace.spu.ac.th/server/api/core/bitstreams/08e2148c-ba1e-44f7-9fec-dc48583f687a/content

วินิตย์ ชลายนานนท์, และสุวัฒน์ พาหุสุวัณโณ. (2531). *ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดคอนกรีตและอายุคอนกรีต* (รายงานผลการวิจัย). สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน. http://research.rid.go.th/websw/webdata/2/0004.pdf

ศุภชัย สินถาวร. (2553). การประเมินกำลังของคอนกรีตด้วยการทดสอบแบบไม่ทำลาย. วารสารวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 5(2), 43-49. https://ejournals.swu.ac.th/index.php/SwuENGj/issue/view/210

สราวุธ สร้อยเรืองศรี, ไพรัช วงศ์ยุทธไกร, และโอภาส สุขหวาน. (2550). ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กเสริมระยะหุ้มเหล็กเสริมและปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีตในมวลคอนกรีตเสริมเหล็กกับค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ทำลายด้วยวิธีคอนกรีตเทสแฮมเมอร์. *วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา, 1*(1), 67-76. https://ejournals.swu.ac.th/index.php/jindedu/article/view/2029

อริญชย์ มิ่งโสภา, แดน อุตรพงษ์, เสาวรส หะสิตะ, ศรัทธา พลังทรงสถิต, จรัล รัตนโชตินันท์, ไชยนันท์ รัตนโชตินันท์, กฤช คำณูนธรรม, จุฬาวัลย์ นนตะพันธ์, และกิตติชัย รัตนโชตินันท์. (2567). การศึกษาความเหมาะสมในการรับกำลังแรงอัดของคอนกรีตที่ผสมอิฐมอญและพลาสติกเหลือทิ้ง. *วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม, 34*(2), 153-159. https://ph03.tci-thaijo.org/index.php/scicru/article/view/3195

อภิชิต คำภาหล้า, โกสีห์ เทียมลม, และจิระยุทธ สืบสุข. (2557). อิทธิพลของวิธีการบ่มต่อการพัฒนากำลังรับแรงอัดของคอนกรีต. วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก, 7(2), 87-96. https://www.rmutto.ac.th/index.php?menu=shownews&idnews=TP1489

Kumavat, H. R., Chandak, N. R., & Patil, I. T. (2021). Factors influencing the performance of rebound hammer used for non-destructive testing of concrete members: A review. *Case Studies in Construction Materials, 14*, e00491. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00491

การพัฒนาโครงร่างซอฟต์แวร์ระบบบันทึกรายการกิจกรรมการประมวลผลข้อมูลส่วนบุคคล ตามพระราชบัญญัติคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล พ.ศ. 2562

ธิญาดา พิชญาศุภกุล[1], ปิยะ ถิรพันธุ์เมธี[2*], นิลุบล บุตรไชย[2] และศิริราม ฮาซาม[3]

[1] บริษัท เจน แมเนจเม้นท์ กรุ๊ป จำกัด
[2] สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
[3] บริษัท โอมิเซะ จำกัด

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพโครงร่างซอฟต์แวร์สำหรับระบบบันทึกรายการกิจกรรมการประมวลผลข้อมูลส่วนบุคคล ตามที่กำหนดไว้ในมาตรา 39 แห่งพระราชบัญญัติคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล พ.ศ. 2562 โดยนำแนวคิดการออกแบบโครงร่างซอฟต์แวร์ที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่มาประยุกต์ใช้เพื่อให้ระบบสามารถปรับใช้งานได้ตามลักษณะของแต่ละหน่วยงาน ขั้นตอนการดำเนินการประกอบด้วย การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ออกแบบระบบโดยใช้ภาษาแบบจำลองยูเอ็มแอล พัฒนาโปรแกรมและออกแบบส่วนเชื่อมโยงข้อมูลเพื่อรองรับการทำงานร่วมกับระบบอื่นที่เกี่ยวข้อง ด้วยภาษาจาวาสคริปต์ (Java Script) โหนดเจเอส (Node JS) และโพสเกรสเอสคิวแอล เป็นระบบบริหารจัดการฐานข้อมูล ทั้งนี้ได้ทำการทดสอบระบบ และประเมินผลจากผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีสารสนเทศและกฎหมาย ผลการประเมินพบว่าระบบมีความเหมาะสมในระดับมาก ทั้งด้านเทคนิควิธีการ และด้านความถูกต้องตามข้อกฎหมาย โดยระบบสามารถช่วยลดความซับซ้อนในการจัดทำบันทึกรายการกิจกรรมการประมวลผลข้อมูลส่วนบุคคล และสามารถใช้งานได้จริง

คำสำคัญ: โครงร่างซอฟต์แวร์ บันทึกรายการกิจกรรมการประมวลผลข้อมูลส่วนบุคคล พรบ.คุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล

** ผู้รับผิดชอบบทความ : piya@mail.rmutk.ac.th*

***รับบทความ**: 5 สิงหาคม 2568* ***แก้ไขเสร็จ:** 18 ตุลาคม 2568* ***ตอบรับบทความ**: 5 กุมภาพันธ์ 2569*

Development of Software Framework for Record of Processing Activities (RoPA) Accordance with The Personal Data Protection Act B.E. 2562

Tiyadha Pichayasupakoon[1], Piya Thirapanmethee[2*], Nilubon Bootchai[2] and Siriam Hasam[3]

[1] JEN MANAGEMENT GROUP CO.,LTD.
[2] Computer Science, Rajamangala University of Technology Krungthep
[3] OMISE CO.,LTD.

Abstract

This study aims to develop and evaluate a software framework for Record of Processing Activities (RoPA) in accordance with Section 39 of the Personal Data Protection Act B.E. 2562 (2019). The system is designed using a reusable software framework to ensure adaptability across various organizational contexts. The development process involved reviewing related literature, designing system models with Unified Modeling Language (UML), and implementing the system using JavaScript, Node.js and PostgreSQL. APIs were also developed to support data integration with other systems. The system was tested and evaluated by experts in information technology and in personal data protection law focusing on both technical implementation and legal compliance. The results showed that the system achieved a high level of appropriateness in both areas. It effectively reduces the complexity involved in documenting data processing activities and is practical for real-world use. These findings suggest that a reusable framework approach enhances development efficiency, ensures compliance with legal requirements, and supports flexible adoption in diverse organizational environments.

Keywords: Software Framework, Record of Processing Activities (RoPA), Personal Data Protection Act

** Corresponding author: piya@mail.rmutk.ac.th*

***Received**: 5 August 2025* ***Revised:** 18 October 2025* ***Accepted**: 5 February 2026*

1. บทนำ

พระราชบัญญัติคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล พ.ศ. 2562 เริ่มมีผลบังคับใช้เต็มรูปแบบเมื่อวันที่ 1 มิถุนายน 2565 ซึ่งส่งผลให้หน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชนมีฐานะเป็น “ผู้ควบคุมข้อมูลส่วนบุคคล” ที่ต้องทำหน้าที่เก็บรวบรวมและประมวลผลข้อมูลส่วนบุคคลโดยต้องดำเนินการจัดทำนโยบายการใช้หรือเก็บข้อมูลส่วนบุคคลของผู้มีส่วนเกี่ยวข้องกับหน่วยงานเช่น ลูกค้า พนักงาน คู่ค้า และบุคคลากรทุกคนในหน่วยงาน เพื่อให้สอดคล้องตามกฎหมายและต้องปฏิบัติตามมาตรฐานรักษาความมั่นคงปลอดภัยของข้อมูลส่วนบุคคลที่ภาครัฐกำหนดไว้ (ธรรมนิติ, 2565) โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อคุ้มครองความเป็นส่วนตัวของข้อมูล (Data Privacy) และเพิ่มความมั่นคงปลอดภัยในการใช้ข้อมูล (Data Security) เช่นเดียวกับหลายประเทศที่ได้มีการประกาศใช้กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการเก็บรักษาและควบคุมการใช้งานข้อมูลส่วนบุคคลเพื่อปกป้องความเป็นส่วนตัวของพลเมือง (Ranathunga & Wickramarachchi, 2022; Baskaran et al., 2020) เช่น ประเทศแคนนาดา มีกฎหมายบังคับใช้กับหน่วยงานเอกชนในการให้ความคุ้มครองกับข้อมูลส่วนบุคคลและข้อมูลทางอิเล็กทรอนิกส์ (Personal Information Protection and Electronic Document Act: PIPEDA) (Bateman, 2023) ประเทศมาเลเซีย มีกฎหมายคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล (Personal Data Protection Act: PDPA) สหภาพยุโรป (European Union: EU) ออกกฎหมายคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล (General Data Protection Regulation: GDPR) ซึ่งมีผลบังคับใช้ใน 28 ประเทศที่เป็นสมาชิกของสหภาพยุโรป (นคร เสรีรักษ์, 2561)

หน่วยงานที่ได้รับผลกระทบจาก พ.ร.บ.คุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล ประกอบด้วย หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับทรัพยากรมนุษย์ การฝึกอบรม การจัดซื้อจัดจ้าง การดำเนินงาน และการตลาด เป็นต้น (ACIS Professional Center, 2565) เนื่องจากในทางธุรกิจนั้นข้อมูลส่วนบุคคลมีความสำคัญถึงขั้นมีผู้กล่าวว่า ข้อมูล (ส่วนบุคคล) เปรียบเสมือนน้ำมันใหม่ของเศรษฐกิจดิจิทัล เพราะหากสามารถรวบรวมข้อมูลได้มากย่อมสามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปทำการประมวลผลเพื่อช่วยในการสร้างสรรค์ผลิตภัณฑ์ การโฆษณาประชาสัมพันธ์ ปรับเปลี่ยนกลยุทธ์ทางธุรกิจให้เหมาะสมกับสถานการณ์ และตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคได้อย่างเหมาะสม (เขมภัทร ทฤษฎิคุณ, 2565)

มาตรา 39 ของพระราชบัญญัติคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล พ.ศ. 2562 กำหนดให้หน่วยงานต้องจัดทำนโยบายส่วนบุคคล (Privacy Policy) เพื่อแจ้งเจ้าของข้อมูลทราบถึงวัตถุประสงค์ในการเก็บรวบรวม การใช้ และการเผยแพร่ พร้อมกำหนดระยะเวลาในการเก็บข้อมูล ดำเนินการจัดอบรมพนักงานเพื่อให้เข้าใจบทบาทหน้าที่ รวมถึงให้มีการบันทึกรายการกิจกรรมการประมวลผลข้อมูลส่วนบุคคล (Record of Processing Activities: RoPA) ทั้งนี้ผู้ควบคุมข้อมูลส่วนบุคคลต้องทำการบันทึกข้อมูลที่เกี่ยวข้องทั้งสิ้นจำนวน 8 รายการซึ่งประกอบด้วย 1) ข้อมูลส่วนบุคคลที่มีการเก็บรวบรวม 2) วัตถุประสงค์ของการเก็บรวบรวมข้อมูลส่วนบุคคลแต่ละประเภท 3) ข้อมูลเกี่ยวกับผู้ควบคุมข้อมูลส่วนบุคคล 4) ระยะเวลาการเก็บรักษาข้อมูลส่วนบุคคล 5) สิทธิและวิธีการเข้าถึงข้อมูลส่วนบุคคลรวมทั้งเงื่อนไขเกี่ยวกับบุคคลที่มีสิทธิเข้าถึงข้อมูลส่วนบุคคลและเงื่อนไขในการเข้าถึงข้อมูลส่วนบุคคลนั้น 6) การใช้หรือเปิดเผยตามมาตรา 27 วรรค 3 7) การปฏิเสธคำขอหรือการคัดค้านตามมาตรา 30 วรรค 3 มาตรา 31 วรรค 3 มาตรา 32 วรรค 3 และมาตรา 36 วรรค 1 8) คำอธิบายเกี่ยวกับมาตรการรักษาความมั่นคงปลอดภัยตามมาตรา 37(1) เพื่อให้เจ้าของข้อมูลส่วนบุคคลและสำนักงานสามารถตรวจสอบได้ โดยจะบันทึกเป็นหนังสือหรือระบบอิเล็กทรอนิกส์ก็ได้ (พระราชบัญญัติคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล พ.ศ.2562, 2562, น. 72-73)

การจัดทำบันทึกรายการกิจกรรมการประมวลผลข้อมูลส่วนบุคคล ตามมาตรา 39 นี้ก่อให้เกิดข้อสงสัยและความกังวลในการดำเนินการให้สอดคล้องและถูกต้องตามที่กฎหมายกำหนดหลายประการ เช่น ความถูกต้อง ครบถ้วนของรายการและข้อมูลของแต่ละกิจกรรมงานที่นำมาบันทึก รูปแบบการแสดงผลบันทึกรายการ ความปลอดภัยของข้อมูล การนำข้อมูลมาปรับปรุงแก้ไขหรือแสดงผลเพื่อสนองตอบต่อความสิทธิของเจ้าของข้อมูลส่วนบุคคล หรือเพื่อการตรวจสอบของสำนักงานคณะกรรมการคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล (สคส.) ดังนั้นการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อใช้เป็นเครื่องมือช่วยจัดทำบันทึกรายการกิจกรรมการประมวลผลข้อมูลส่วนบุคคล

จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการช่วยให้ ผู้ควบคุมข้อมูลส่วนบุคคล สามารถดำเนินการได้อย่างถูกต้องตามข้อกำหนดของกฎหมายและสอดคล้องกับสภาพแวดล้อมการทำงานของหน่วยงาน

จากการที่มีหน่วยงานจำนวนมากทั้งภาครัฐและเอกชนที่ได้รับผลกระทบและต้องปฏิบัติให้เป็นไป พ.ร.บ.คุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล และหน่วยงานเหล่านั้นอาจมีโครงสร้างพื้นฐานทางระบบสารสนเทศที่แตกต่างกัน วิธีการปฏิบัติงานและวัฒนธรรมองค์กรที่แตกต่างกัน การพัฒนาระบบที่สามารถนำไปใช้ได้กับทุกหน่วยงานจึงเป็นสิ่งที่เป็นไปได้ยาก แนวทางการพัฒนาระบบสารสนเทศโดยอาศัยเทคนิคการนำกลับมาใช้ใหม่ (Reuse Techniques) โดยทำการจัดเตรียมส่วนประกอบ (Component) ไลบารี (Library) ชุดคำสั่งการทำงานเฉพาะอย่าง รวมถึงเครื่องมือที่จำเป็นในการพัฒนาซอฟต์แวร์รอเอาไว้ให้นำไปใช้งานตามความเหมาะสม (Johnson, 1997; Weinreich & Pichler, 2000; Olawanle, 2022) การออกแบบระบบสารสนเทศในแนวทางนี้ จึงเป็นหนึ่งในวิธีการที่ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการพัฒนา เพิ่มคุณภาพ และช่วยประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงและบำรุงรักษาระบบ รวมถึงช่วยให้สามารถช่วยลดระยะเวลาในการพัฒนาระบบงานทางสารสนเทศ (Lopes, Tavares, Monteiro, & Silva, 2007; นิเวศน์ จรัสดำรง, 2543; ปวรุตม์ พงศ์พฤฒานนท์, 2565; เอกลักษณ์ แก้วมาเรือน, 2561)

การพัฒนาโครงร่างซอฟต์แวร์ระบบบันทึกรายการกิจกรรมการประมวลผลข้อมูลส่วนบุคคล ตามพระราชบัญญัติคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล พ.ศ. 2562 จึงนำแนวคิดการออกแบบและพัฒนาระบบสารสนเทศโดยการสร้างโครงร่างซอฟต์แวร์ที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่เพื่อให้ได้ระบบบันทึกรายการกิจกรรมการประมวลผลข้อมูลส่วนบุคคล ที่เป็นไปตามมาตรา 39 ของพระราชบัญญัติคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล พ.ศ. 2562 ที่ผู้ใช้สามารถนำไปปรับใช้งานให้มีความเหมาะสมสอดคล้องกับความต้องการของหน่วยงานตลอดจนสามารถใช้โครงร่างซอฟต์แวร์ที่จัดเตรียมไว้ไปพัฒนาปรับปรุงได้ตามความต้องการโดยไม่จำเป็นต้องเขียนโปรแกรมขึ้นใหม่ทั้งหมด

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อพัฒนาโครงร่างซอฟต์แวร์ระบบบันทึกรายการกิจกรรมการประมวลผลข้อมูลส่วนบุคคล ตามพระราชบัญญัติคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล พ.ศ. 2562

2.2 เพื่อประเมินประสิทธิภาพการใช้งานโครงร่างซอฟต์แวร์ระบบบันทึกรายการกิจกรรมการประมวลผลข้อมูลส่วนบุคคลตามพระราชบัญญัติคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล พ.ศ. 2562

3. วิธีดำเนินการวิจัย

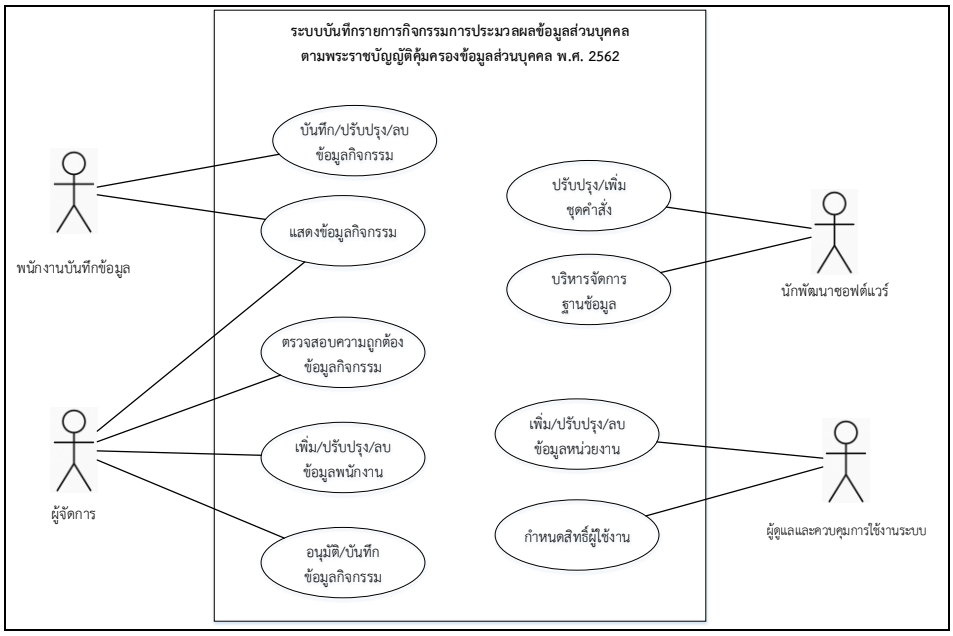
โครงร่างซอฟต์แวร์ระบบบันทึกรายการกิจกรรมการประมวลผลข้อมูลส่วนบุคคล ที่พัฒนาขึ้นรองรับกิจกรรมและข้อมูลตามมาตรา 39 ของพระราชบัญญัติคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล พ.ศ. 2562 โดยการวิจัยนำหลักการในการวิเคราะห์และออกแบบระบบตามแนวคิดการออกแบบเชิงวัตถุและหลักการวงจรการพัฒนาซอฟต์แวร์ (Software Development Life Cycle: SDLC) (Khan & Sufyan, 2013) ซึ่งแบ่งขั้นตอนการดำเนินการออกเป็น 6 ขั้นตอนดังนี้

3.1 ศึกษาแนว คิดทฤษฎี และรวบรวมข้อมูล โดยทำการศึกษาข้อมูลจากแนวคิด ทฤษฎี หนังสือ ตำรา บทความวิชาการและงานวิจัย ที่เกี่ยวกับการบันทึกรายการกิจกรรมการประมวลผลข้อมูลส่วนบุคคล ตามมาตรา 39 ของพระราชบัญญัติคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล พ.ศ. 2562 และการพัฒนาโครงร่างซอฟต์แวร์ เพื่อให้ได้ซอฟต์แวร์ที่สามารถนำไปปรับใช้ให้เหมาะสมสอดคล้องกับความต้องการของหน่วยงานรวมถึงสามารถนำไปพัฒนาปรับปรุงต่อได้ในอนาคต สัมภาษณ์ผู้ปฏิบัติงานและผู้ที่เกี่ยวข้องกับการจัดทำบันทึกรายการกิจกรรมการประมวลผลข้อมูลส่วนบุคคลเกี่ยวกับวิธีการที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน รูปแบบวิธีการที่มีความเหมาะและสามารถนำไปใช้ปฏิบัติงานได้จริง

3.2 วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการศึกษา เพื่อกำหนดขอบเขตหน้าที่ของผู้ใช้งานและผู้ที่เกี่ยวข้อง เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาระบบและการเชื่อมโยงข้อมูลกับระบบงานหรือผู้ที่เกี่ยวข้อง

3.3 ออกแบบโครงร่างซอฟต์แวร์โดยใช้ภาษาแบบจำลองยูเอ็มแอล (Unified Modeling Language: UML) ซึ่งประกอบด้วยแผนภาพและสัญลักษณ์ที่แสดงรายละเอียดและจำลองการทำงานของระบบ ที่มีความต่อเนื่องตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดการดำเนินงานก่อนนำไปเขียนโปรแกรมเพื่อพัฒนาระบบขึ้นจริง และใช้แผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล (Entity Relationship Diagram: ERD) ในการออกแบบฐานข้อมูล โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.3.1 ออกแบบภาพรวมการทำงานของระบบบันทึกรายการกิจกรรมการประมวลผลข้อมูลส่วนบุคคล โดยใช้แผนภาพแสดงภาพความสัมพันธ์ระหว่างผู้มีส่วนเกี่ยวข้องกับระบบงาน (Use Case Diagram) ซึ่งประกอบด้วยผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง (Actor) และงานภายในระบบ (Use Case) สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผู้มีส่วนเกี่ยวข้องและระบบงานย่อยได้ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างผู้มีส่วนเกี่ยวข้องและงานภายในระบบ

ภาพที่ 1 แสดงผู้มีส่วนเกี่ยวข้องซึ่งแบ่งตามหน้าที่ความรับผิดชอบเป็น 4 กลุ่ม ประกอบด้วย พนักงานบันทึกข้อมูล (Data Entry Operator) ผู้จัดการ (Manager) ผู้ดูแลและควบคุมการใช้งานระบบ (System Administrator) และนักพัฒนาซอฟต์แวร์ (Software Developer) โดยแต่ละกลุ่มมีหน้าที่ความรับผิดชอบดังแสดงในตารางที่ 1

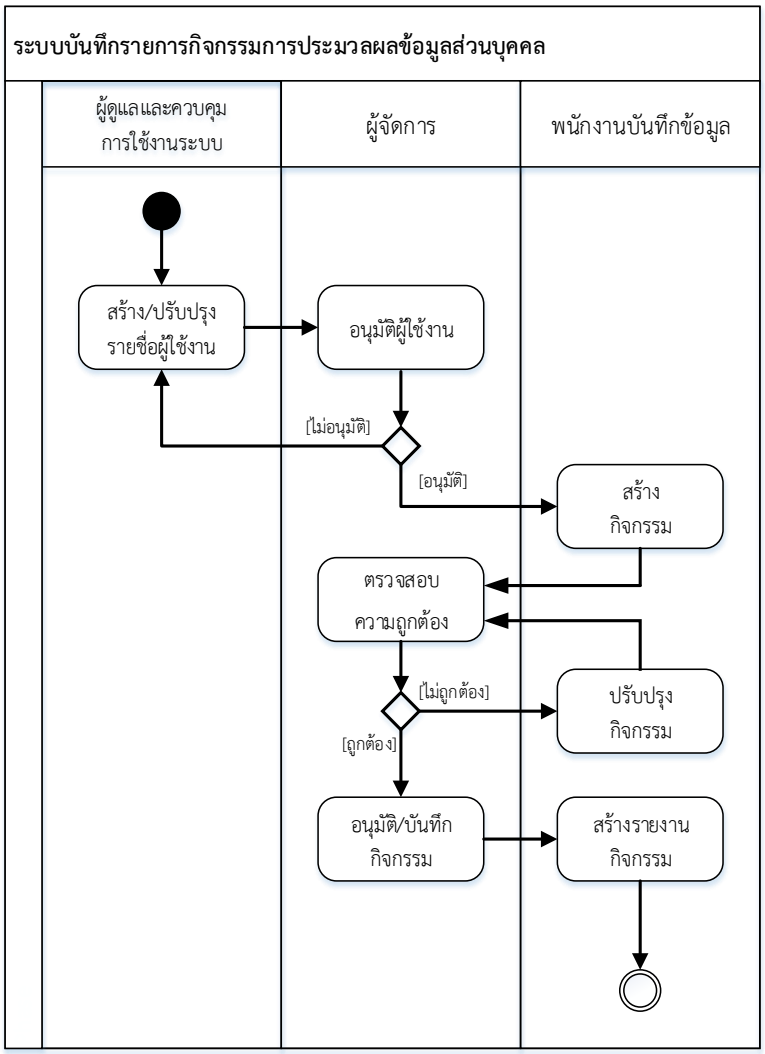
ตารางที่ 1 ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องและหน้าที่ความรับผิดชอบ

ผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง	หน้าที่ความรับผิดชอบ
พนักงานบันทึกข้อมูล	- เพิ่มกิจกรรมสำหรับการบันทึกข้อมูลส่วนบุคคล - แสดงข้อมูลกิจกรรมและข้อมูลทั้งหมดที่ผู้ใช้ทำการเพิ่มลงระบบ - ลบกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการบันทึกข้อมูลส่วนบุคคล

ตารางที่ 1 ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องและหน้าที่ความรับผิดชอบ (ต่อ)

ผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง	หน้าที่ความรับผิดชอบ
ผู้จัดการ	- แสดงการเพิ่ม ลบ แก้ไข ข้อมูลกิจกรรมและข้อมูลส่วนบุคคล - ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล - อนุมัติการบันทึกกิจกรรม - สร้างไฟล์เอกสารในรูปแบบ CSV จากข้อมูลกิจกรรม
ผู้ดูแลและควบคุมการใช้งานระบบ	- เพิ่ม ลบ แก้ไข ข้อมูลของผู้ใช้งาน - เพิ่ม ลบ แก้ไข ข้อมูลหน่วยงาน เช่น ชื่อหน่วยงาน ชื่อหน่วยงานภายใน
นักพัฒนาซอฟต์แวร์	- ใช้งานชุดคำสั่ง ส่วนประกอบ ไลบารี ที่จัดเตรียมไว้ - ปรับแก้หรือสร้างโปรแกรมเพิ่มเติมตามรูปแบบและแนวทางที่กำหนดไว้

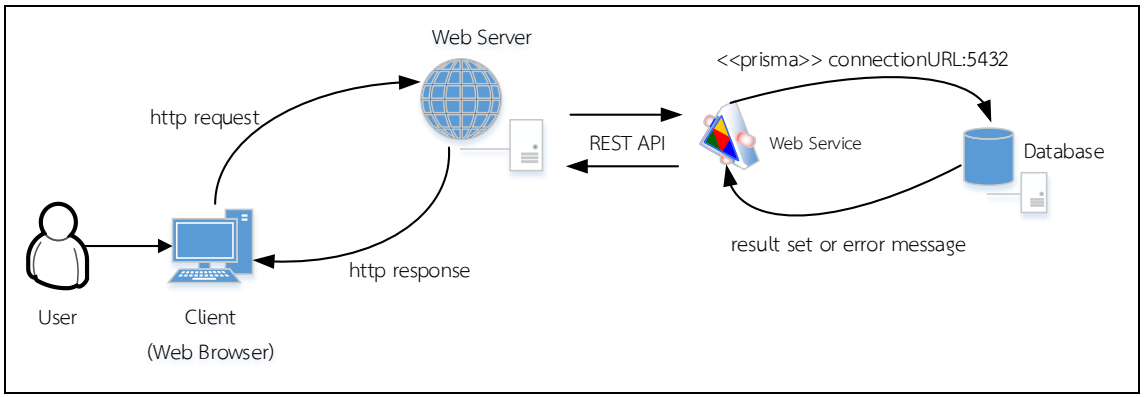
3.3.2 ออกแบบขั้นตอนกิจกรรมในการทำงานของระบบโดยใช้แผนภาพกิจกรรม (Activity Diagram) ซึ่งแสดงขั้นตอนการทำงานที่เกี่ยวข้องกับผู้ใช้และขั้นตอนการทำงานทั้งหมดของระบบ ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แผนภาพกิจกรรมส่วนที่เกี่ยวข้องกับผู้ใช้งาน

ภาพที่ 2 แสดงความสัมพันธ์และขั้นตอนการทำงานของการบันทึกกิจกรรมการประมวลผลข้อมูลส่วนบุคคล ซึ่งแบ่งเป็น 2 กรณีคือ กรณีเป็นผู้ใช้งานใหม่ซึ่งไม่บัญชีผู้ใช้งานในระบบมาก่อน ผู้ดูแลและควบคุมการใช้งานระบบจะทำการสร้างบัญชีผู้ใช้งานพร้อมกำหนดสิทธิ์ในการใช้งาน หรือหากเป็นผู้ใช้งานที่มีบัญชีผู้ใช้งานอยู่แล้วแต่ต้องมีการปรับปรุงข้อมูลผู้ดูแลและควบคุมการใช้งานระบบจะทำการปรับปรุงข้อมูลให้ อย่างไรก็ตามทั้ง 2 กรณีในขั้นตอนนี้บัญชีผู้ใช้งานจะยังไม่ได้สามารถใช้งานหรือได้รับการปรับปรุงจนกว่าจะได้รับการอนุมัติจากผู้จัดการ เมื่อบัญชีผู้ใช้งานได้รับการอนุมัติแล้วผู้ใช้งานสามารถทำการสร้างกิจกรรมได้ แต่กิจกรรมที่สร้างขึ้นจะยังไม่สามารถนำไปใช้งานเพื่อสร้างรายงานได้จนกว่าจะได้รับการตรวจสอบความถูกต้องครบถ้วนจากผู้จัดการ ซึ่งหากพบว่ากิจกรรมที่สร้างขึ้นยังไม่เป็นไปตามที่เห็นสมควร ผู้จัดการสามารถไม่ทำการอนุมัติและส่งกลับไปให้ดำเนินการปรับปรุงแก้ไขจนกว่าจะเป็นไปตามที่ต้องการ และเมื่อผู้จัดการทำการอนุมัติกิจกรรมแล้ว ระบบจะทำการบันทึกกิจกรรมดังกล่าวและนำไปสร้างรายงานที่มีรายละเอียดตามมาตรา 39 ของพระราชบัญญัติคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล พ.ศ. 2562

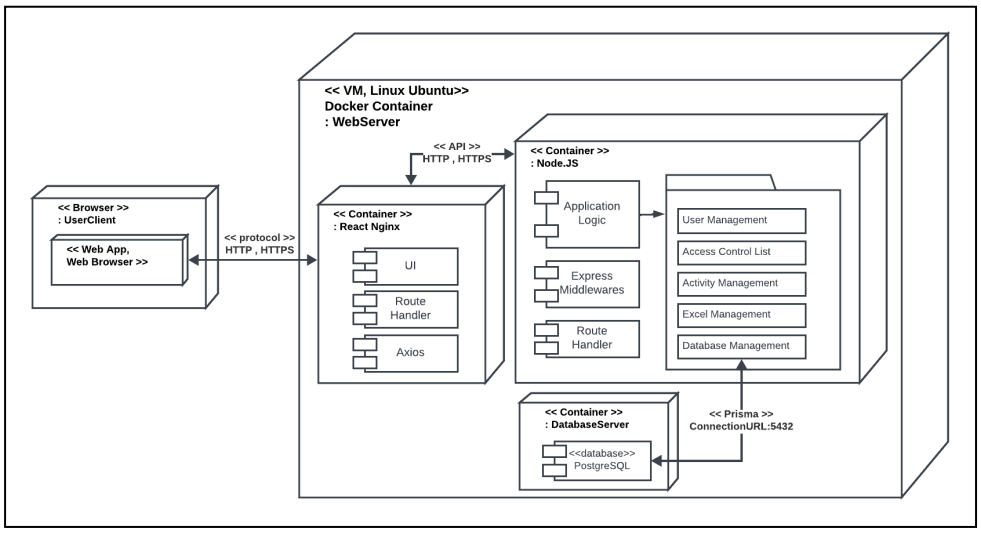
นอกจากกิจกรรมและขั้นตอนการทำงานที่เกี่ยวข้องกับผู้ใช้งาน ขั้นตอนการเชื่อมต่อและการส่งผ่านข้อมูลระหว่างส่วนประกอบต่าง ๆ ภายในโครงร่างซอฟต์แวร์ สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์การทำงานระหว่างส่วนประกอบในระบบ

ภาพที่ 3 แสดงความสัมพันธ์และขั้นตอนการทำงานระหว่างส่วนประกอบต่าง ๆ โดยการทำงานเริ่มต้นจากเว็บเบราว์เซอร์ (Web Browser) ส่งการคำร้องขอบริการเฮชทีทีพี (HTTP Request) ไปยังเว็บเซิร์ฟเวอร์ (Web Server) เพื่อให้ส่วนบริการเว็บ (Web Service) ทำการเชื่อมต่อฐานข้อมูลโพสต์เกรสเอสคิวแอล (PostgreSQL) ผ่านเรสต์เอพีไอ (REST API) ซึ่งอาศัยพริซมา (Prisma) ทำการเชื่อมโยงเชิงวัตถุกับฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ (Object Relational Mapping: ORM) ผ่านพอร์ต์ 5432 (connectionURL: 5432) เมื่อฐานข้อมูลได้รับคำขอแล้วทำการประมวลผลเพื่อส่งข้อมูลตามคำขอ ผ่านการตอบกลับเฮชทีทีพี (HTTP Response) ไปยังผู้ใช้ หรือในกรณีที่มีความผิดพลาดเกิดขึ้นจะทำการส่งข้อความแสดงข้อผิดพลาด (Error Message) กลับไปเพื่อแจ้งให้ผู้ใช้ทราบ

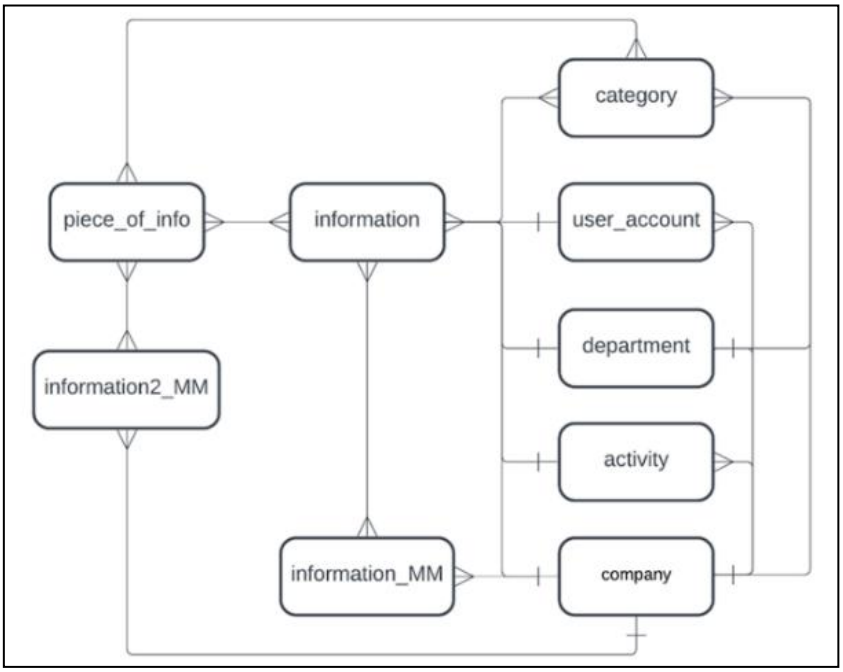
3.3.3 การออกแบบโครงสร้างและองค์ประกอบของโครงร่างซอฟต์แวร์ระบบบันทึกรายการกิจกรรมการประมวลผลข้อมูลส่วนบุคคล โดยแผนภาพแสดงโครงสร้างและการติดตั้งองค์ประกอบของระบบ (Deployment Diagram) สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 โครงสร้างและการติดตั้งองค์ประกอบของระบบบันทึกรายการกิจกรรมการประมวลผลข้อมูลส่วนบุคคล

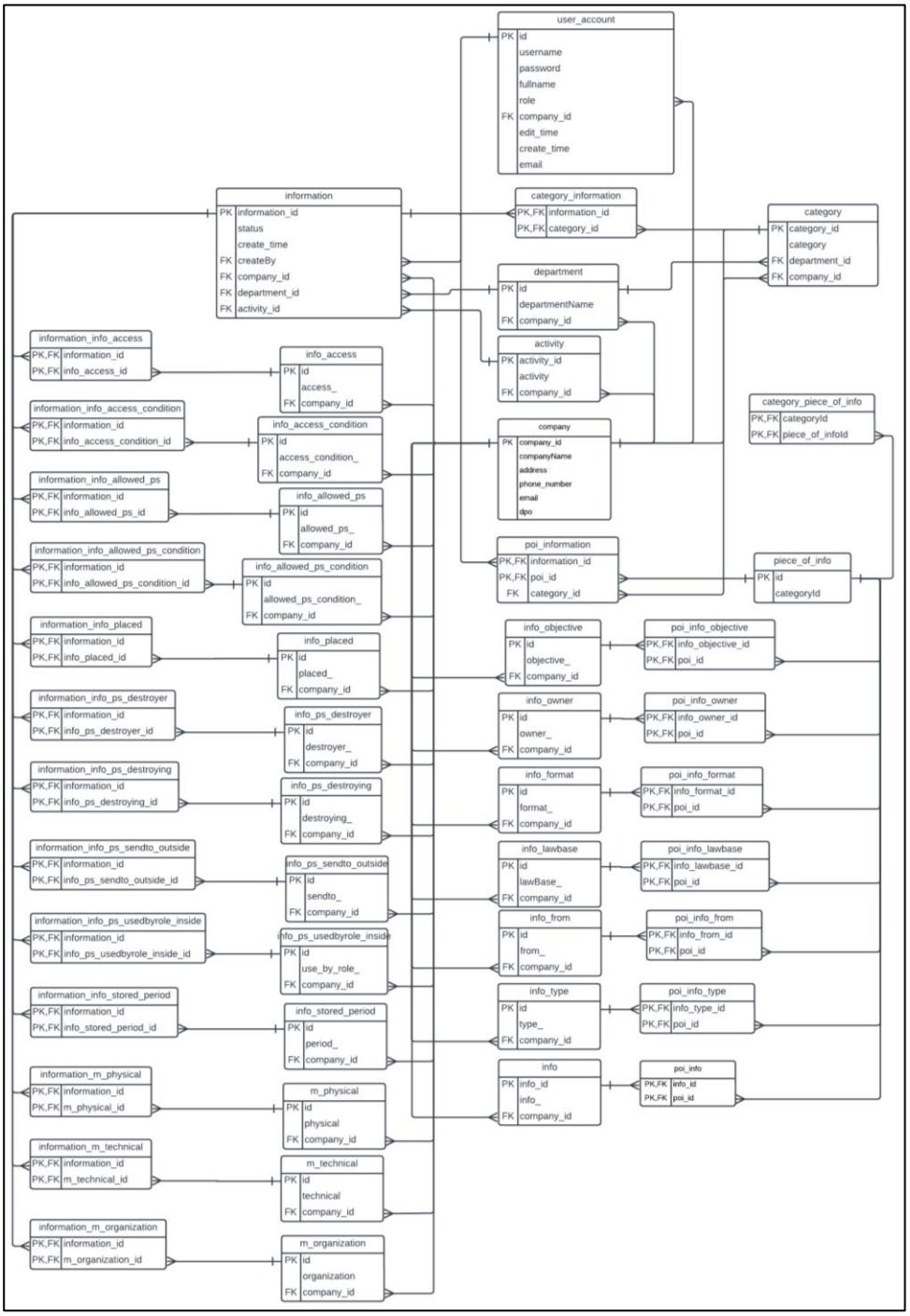
ภาพที่ 4 แสดงถึงองค์ประกอบของโครงร่างซอฟต์แวร์ระบบบันทึกรายการกิจกรรมการประมวลผลข้อมูลส่วนบุคคล ประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือ ส่วนผู้ใช้บริการ (Client) ซึ่งใช้เว็บเบราว์เซอร์ (Web Browser) สร้างการเชื่อมต่อเพื่อขอใช้บริการจากเว็บเซิร์ฟเวอร์ (Web Server) ผ่านคำร้องขอบริการเฮชทีทีพี (HTTP Request) และส่วนให้บริการ ซึ่งทำหน้าที่ให้บริการตามการร้องขอจากผู้ขอใช้บริการ ทั้งนี้ส่วนให้บริการทั้งหมดทำงานบนด็อกเกอร์ (Docker) ที่ติดตั้งคอนเทนเนอร์ (Container) สำหรับส่วนให้บริการเว็บโหนดเจเอสและฐานข้อมูล

3.3.4 การออกแบบฐานข้อมูล โดยอาศัยแผนภาพความสัมพันธ์ข้อมูล (Entity Relationship Diagram : ERD) ซึ่งในการออกแบบจากข้อมูลที่ได้จากการศึกษาเอกสารและการสัมภาษณ์ผู้เกี่ยวข้องพบว่า ในภาพรวมข้อมูลในระบบสามารถแบ่งออกได้เป็น 9 เอนทิตี้ โดยมีความสัมพันธ์แสดงได้ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลในภาพรวมของระบบ

ภาพที่ 5 แสดงถึงเอนทิตี้ที่มีความสัมพันธ์เป็นลักษณะกลุ่มต่อกลุ่ม (Many to Many Relationship) ซึ่งตามหลักการของฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ (Relational Database) ไม่สามารถจัดเก็บความสัมพันธ์ลักษณะนี้ได้โดยตรง ดังนั้น จึงทำการปรับแก้ด้วยการสร้างตารางเชื่อมโยง (Junction Table หรือ Bridge Table) เพื่อแยกความสัมพันธ์จากกลุ่มต่อกลุ่มเป็นหนึ่งต่อกลุ่ม (One to Many Relationship) และกลุ่มต่อหนึ่ง (Many to One Relationship) ทำให้ได้แผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลที่ผ่านการปรับปรุงแล้วดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลในระบบบันทึกรายการกิจกรรมการประมวลผลข้อมูลส่วนบุคคล

3.3.5 การออกแบบส่วนเชื่อมโยงข้อมูลการทำงานร่วมกับระบบอื่นที่เกี่ยวข้อง (Application Program Interface: API) แบ่งเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนข้อมูลกิจกรรมการประมวลผลข้อมูลส่วนบุคคล ส่วนข้อมูลหน่วยงาน และส่วนข้อมูลผู้ใช้งาน โดยสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังตารางที่ 2 ถึง 4

ตารางที่ 2 ส่วนเชื่อมโยงข้อมูลการประมมวลผลข้อมูลส่วนบุคคล

[Post] /api/information/	สร้างข้อมูล [createInformation]
[Get] /api/information/	อ่านข้อมูล [getInformation]
[Put] /api/information/updateInfo/:id	ปรับปรุงข้อมูล [updateInformation]
[Delete] /api/information/:id	ลบข้อมูล [deleteInformation]
[Put] /api/information/:id	ปรับปรุงสถานะของข้อมูล [updateInformationApproval]
[Get] /api/activitiesOptions/	อ่านตัวเลือกของช่อง [getActivitiesOption]
[Post] /api/information/downloadexcel	ดาวน์โหลดไฟล์ข้อมูลเอกซ์เซล [excelProcess]

ตารางที่ 3 ส่วนเชื่อมโยงข้อมูลหน่วยงาน

[Post] /api/company/	สร้างข้อมูลบริษัท [createCompany]
[Put] /api/company/:id	ปรับปรุงข้อมูลบริษัท [updateComapany]
[Delete] /api/company/:id	ลบข้อมูลบริษัท [deleteCompany]
[Get] /api/company/	อ่านข้อมูลบริษัท [fetchCompany]
[Get] /api/company/admin-company	อ่านข้อมูลบริษัทตำแหน่ง แอดมิน [fetchCompanyAdmin]

ตารางที่ 4 ส่วนเชื่อมโยงข้อมูลผู้ใช้งาน

[Post] /api/user/	สร้างผู้ใช้ [createUser]
[Put] /api/user/:id	แก้ไขผู้ใช้ [updateEditUser]
[Delete] /api/user/:id	ลบผู้ใช้ [deleteUser]
[Post] /api/user/login	อ่านข้อมูลเพื่อเข้าใช้ [fetchUserLogin]
[Get] /api/user/userProfile	อ่านโปรไฟล์ของผู้ใช้ [userProfile]
[Get] /api/user/userList	อ่านข้อมูลผู้ใช้ในบริษัท [fetchUserList]
[Get] /api/user/status	อ่านสถานะการเข้าใช้ [authenticatedStatus]
[Get] /api/user/logout	อ่านผู้ใช้ออกจากระบบ [logout]
[Put] /api/user/updatePassword/:id	แก้ไขรหัสผ่านผู้ใช้ [updateUserPassword]

3.4 พัฒนาระบบบันทึกรายการกิจกรรมการประมวลผลข้อมูลส่วนบุคคล โดยสร้างส่วนเชื่อมต่อผู้ใช้ (User Interface: UI) ด้วยรีแอค (React) เทลวินด์ซีเอสเอส (Tailwind CSS) และแมททีเรียล ยูไอ (Material UI) พัฒนาโปรแกรมโดยใช้ภาษาจาวาสคริปต์ (Java Script) และโหนดเจเอส (Node JS) บริหารจัดการฐานข้อมูลด้วยโพสเกรสเอสคิวแอล (PostgreSQL)

3.5 ทดสอบและปรับปรุงแก้ไข โดยเริ่มจากการทดสอบความถูกต้องของการทำงานระดับยูนิต (Unit Test) จากนั้นทำการทดสอบการทำงานรวมกันระหว่างส่วนประกอบต่าง ๆ ในระบบ (System Integration Test: SIT) ทำการทดสอบส่วนรองรับการเชื่อมโยงข้อมูลในการทำงานร่วมกับระบบอื่นที่เกี่ยวข้อง (Application Program Interface Test: APT Test) และทดสอบการยอมรับจากผู้ใช้งาน (User Acceptance Test: UAT) ตามลำดับ

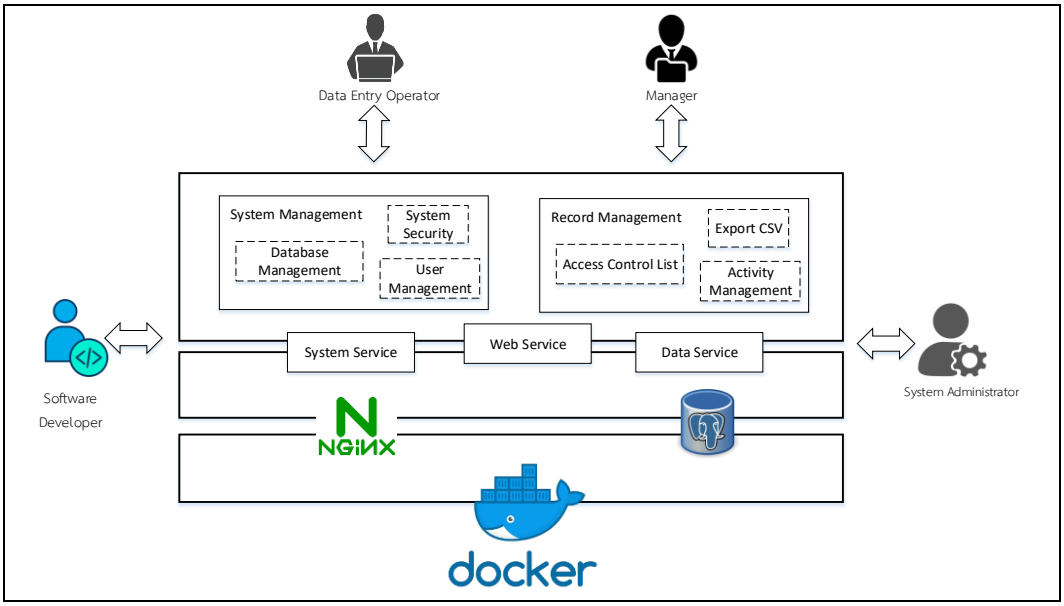
3.6 ประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบ โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 20 ท่าน แบ่งการประเมินเป็น 2 ด้าน คือ ด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ และ ด้านความถูกต้องสอดคล้องกับข้อกฎหมาย และประกาศต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

ด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ ดำเนินการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 10 ท่าน ซึ่งเป็นผู้ที่มีประสบการณ์การทำงานไม่ต่ำกว่า 5 ปี ในตำแหน่ง วิศวกรควบคุมคุณภาพ (Quality Assurance Engineer) วิศวกรซอฟต์แวร์ (Software Engineer) หรือผู้บริหารที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมดูแลระบบสารสนเทศของหน่วยงาน

ด้านความถูกต้องสอดคล้องกับข้อกฎหมาย ข้อกำหนด และประกาศต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 10 ท่าน ซึ่งประกอบด้วย นิติกร สำนักกฎหมาย สำนักงานคณะกรรมการคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล (สคส.) จำนวน 5 ท่าน และผู้มีประสบการณ์เกี่ยวกับการจัดทำรายการกิจกรรมการประมวลผลข้อมูลส่วนบุคคล จำนวน 5 ท่าน

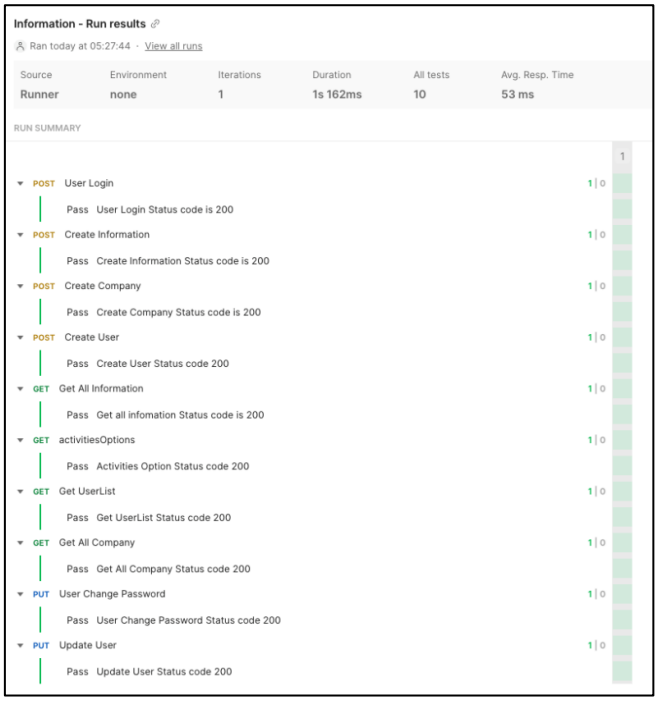
4. ผลการวิจัย

4.1 ภาพรวมโครงร่างซอฟต์แวร์ระบบบันทึกรายการกิจกรรมการประมวลผลข้อมูลส่วนบุคคล ประกอบด้วย 4 ส่วนหลัก คือ 1) ส่วนผู้ใช้งานหรือผู้มีส่วนเกี่ยวข้องประกอบด้วย พนักงานบันทึกข้อมูล ผู้จัดการ ผู้ดูแลและควบคุมการใช้งานระบบ และนักพัฒนาซอฟต์แวร์ 2) ส่วนฐานข้อมูล สำหรับเก็บชุดข้อมูลกิจกรรมการประมวลผลข้อมูลส่วนบุคคล 3) ส่วนชุดคำสั่งโครงร่างซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้น 4) ส่วนบริการเว็บและการเชื่อมโยงข้อมูล โดยสามารถแสดงภาพรวมของระบบได้ดังภาพที่ 7



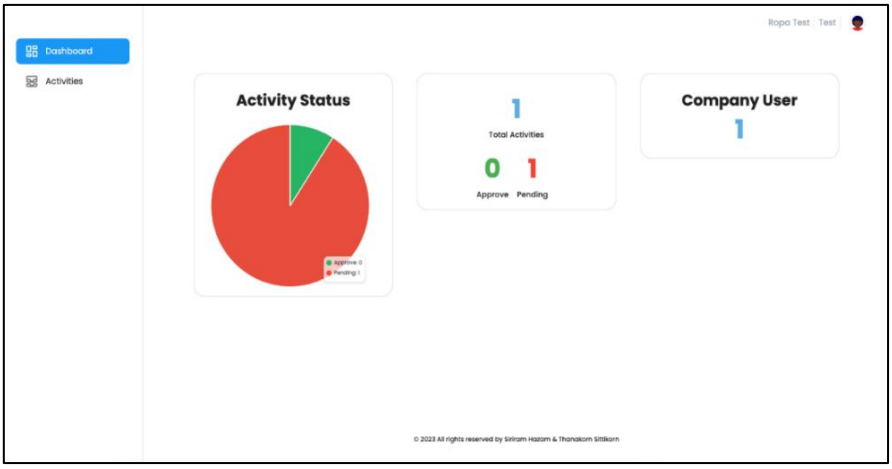
ภาพที่ 7 ภาพรวมโครงร่างซอฟต์แวร์ระบบบันทึกรายการกิจกรรมการประมวลผลข้อมูลส่วนบุคคล

การทดสอบส่วนเชื่อมโยงข้อมูลการทำงานร่วมกับระบบอื่นที่เกี่ยวข้องของระบบซอฟต์แวร์บันทึกรายการกิจกรรมการประมวลผลข้อมูลส่วนบุคคล โดยใช้โปรแกรมโพสต์แมน (Postman) พบว่าสามารถทำงานได้ถูกต้องตรงตามการออกแบบ โดยสามารถแสดงผลการทดสอบได้ดังภาพที่ 8



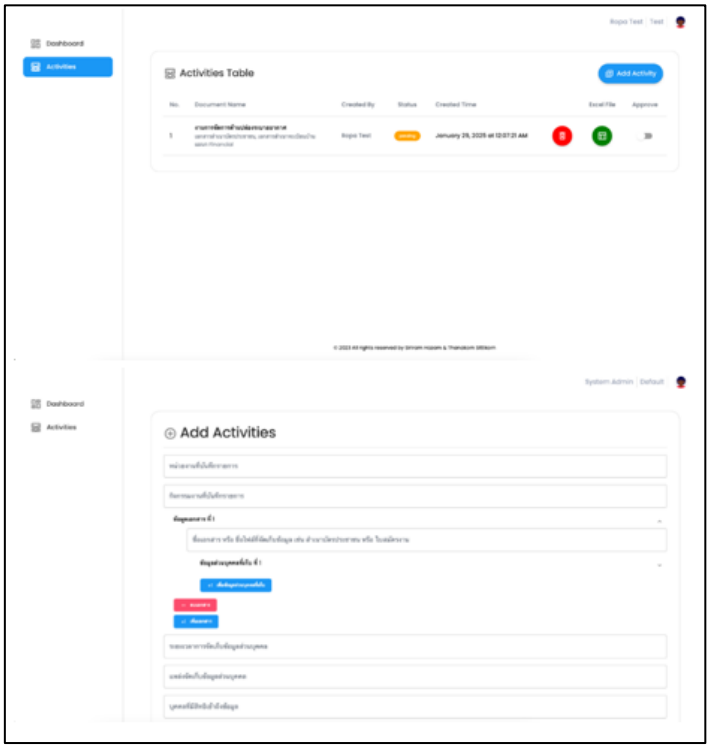
ภาพที่ 8 ผลการทดสอบส่วนเชื่อมโยงข้อมูลการทำงานร่วมกับระบบอื่นที่เกี่ยวข้อง

4.2 ระบบบันทึกรายการกิจกรรมการประมวลผลข้อมูลส่วนบุคคล สามารถสรุปข้อมูลกิจกรรมทั้งหมดที่มีอยู่ในระบบในลักษณะแดชบอร์ด (Dashboard) ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ข้อมูลกิจกรรมที่ทำการเพิ่มโดยพนักงานบันทึกข้อมูลและถูกตรวจโดยผู้จัดการเรียบร้อยแล้ว ข้อมูลกิจกรรมที่ทำการเพิ่มโดยพนักงานบันทึกข้อมูลแต่ยังไม่ถูกตรวจสอบโดยผู้จัดการ และข้อมูลกิจกรรมทั้งหมดที่มีอยู่ ดังภาพที่ 9



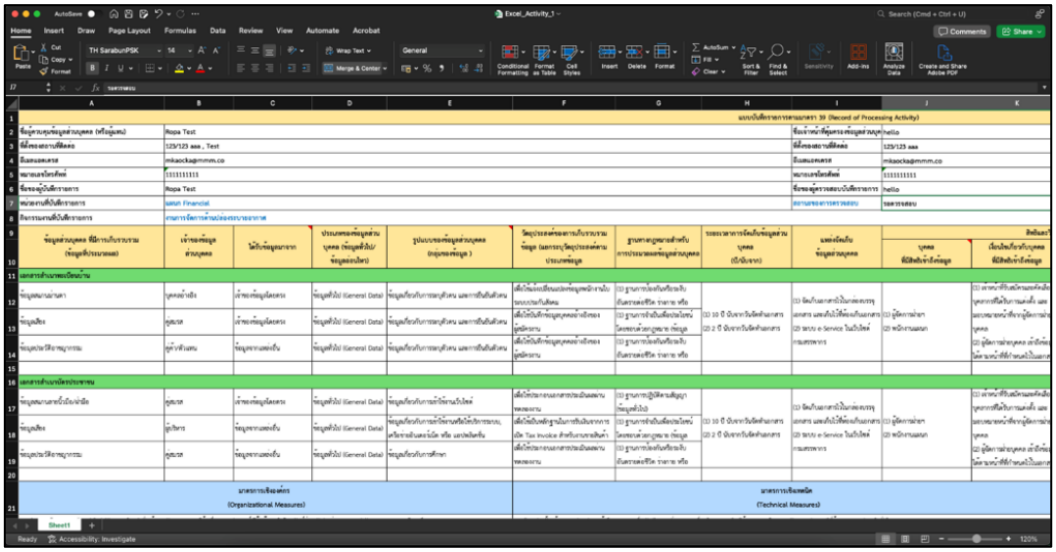
ภาพที่ 9 สรุปข้อมูลกิจกรรมทั้งหมดที่มีอยู่ในระบบ

ผู้ใช้สามารถทำการเพิ่มข้อมูลกิจกรรม โดยระบบได้จัดเตรียมข้อมูลเบื้องต้นไว้แล้วบางส่วนเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเลือกใช้ได้ โดยไม่จำเป็นต้องเสียเวลาทำการเพิ่มข้อมูลทั้งหมดด้วยตนเอง ดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 การเพิ่มข้อมูลกิจกรรม

เมื่อผู้ใช้ทำการสร้างข้อมูลกิจกรรมการประมวลผลข้อมูลส่วนบุคคลในระบบเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ข้อมูลดังกล่าวจะต้องผ่านขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้องและได้รับการอนุมัติผู้หน้าที่ความรับผิดชอบเพื่อบันทึกข้อมูลดังกล่าวเข้าสู่ระบบ โดยเมื่อมีการบันทึกข้อมูลแล้วผู้ใช้สามารถทำการสร้างรายงานในรูปแบบของไฟล์ซีเอสวี (CSV) ดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 รายงานข้อมูลกิจกรรมในรูปแบบของไฟล์ซีเอสวี (CSV)

4.2 การประเมินประสิทธิภาพการทำงานด้านเทคนิควิธีการที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีสารสนเทศ และด้านความถูกต้องสอดคล้องกับข้อกฎหมาย ข้อกำหนด และประกาศต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลส่วนบุคคล เมื่อนำระบบบันทึกรายการกิจกรรมการประมวลผลข้อมูลส่วนบุคคลไปใช้งาน มีรายละเอียดและผลการประเมิน แสดงได้ดังตารางที่ 5 และตารางที่ 6 ตามลำดับ

ตารางที่ 5 การประเมินความเหมาะสมด้านเทคนิควิธีการที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีสารสนเทศ

รายละเอียดการประเมิน	ผลการประเมิน		
	$\bar{x}$	S.D.	ระดับ
1. ส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้งาน			
1.1 การออกแบบส่วนเชื่อมต่อผู้ใช้ที่มีความชัดเจนในการสื่อสารข้อมูล	4.16	0.71	มาก
1.2 การรองรับการใช้งานบนอุปกรณ์ที่หลากหลาย เช่น สมาร์ทโฟน หรือแท็บเล็ต	4.67	0.52	มากที่สุด
1.3 ความเหมสะสมของวิธีการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลก่อนการบันทึก	4.22	0.42	มาก
2. ส่วนเชื่อมโยงข้อมูลการทำงานร่วมกับระบบอื่นที่เกี่ยวข้อง			
2.1 การออกแบบส่วนเชื่อมโยงข้อมูล	4.17	0.75	มาก
2.2 การจัดการข้อผิดพลาด และแจ้งเตือนที่ชัดเจน	4.83	0.41	มากที่สุด
2.3 ความมั่งคงปลอดภัยของข้อมูลในการเชื่อมโยงข้อมูล	4.13	0.33	มาก
3. ส่วนระบบฐานข้อมูล			
3.1 ฐานข้อมูลมีการออกแบบที่ลดความซ้ำซ้อนของข้อมูลอย่างเหมาะสม	4.33	0.52	มาก
3.2 ความสามารถในการค้นคืนข้อมูล	4.67	0.52	มากที่สุด
3.3 การรักษาความมั่นคงปลอดของข้อมูลที่จัดเก็บ	4.08	0.63	มาก
4. การออกแบบโครงร่างซอฟต์แวร์เพื่อการนำกลับมาใช้ใหม่			
4.1 เครื่องมือที่ใช้ในการออกแบบและพัฒนาโครงร่างซอฟต์แวร์	4.48	0.50	มาก
4.2 ความสะดวกในการใช้งาน	4.17	0.75	มาก
4.3 การปรับแต่งเพื่อการใช้งานหรือการนำไปพัฒนาต่อ	4.16	0.71	มาก
ค่าเฉลี่ยรวม	**4.33**	**0.54**	**มาก**

จากตารางที่ 5 พบว่า โดยภาพรวมความเหมาะสมด้านเทคนิควิธีการที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีสารสนเทศพบว่า ระบบบันทึกรายการกิจกรรมการประมวลผลข้อมูลส่วนบุคคล มีความเหมาะสมในระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.33, S.D. = 0.54) เมื่อพิจารณารายข้อพบว่าส่วนเชื่อมยังข้อมูลมีการจัดการข้อผิดพลาดและแจ้งเตือนที่ชัดเจน มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.83, S.D. = 0.41) รองลงมาได้แก่ การรองรับการใช้งานบนอุปกรณ์ที่หลากหลายเช่น สมาร์ทโฟน หรือแท็บเล็ต และความสามารถในการค้นคืนข้อมูล ค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.67, S.D. = 0.52) ตามลำดับ

ตารางที่ 6 การประเมินความเหมาะสมในการนำระบบบันทึกรายการกิจกรรมการประมวลผลข้อมูลส่วนบุคคลไปใช้งาน

รายละเอียดการประเมิน	ผลการประเมิน		
	$\bar{x}$	S.D.	ระดับ
1. การทำงานมีความสอดคล้องและเป็นไปตามพระราชบัญญัติคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล พ.ศ. 2562 มาตรา 39	4.43	0.58	มาก
2. การแบ่งบทบาทและหน้าที่ของผู้ใช้งานมีความเหมาะสมและถูกต้อง	4.34	0.48	มาก
3. ระบบสามารถช่วยลดความซับซ้อนของกระบวนการจัดทำเอกสารและกิจกรรมการประมวลผลข้อมูลส่วนบุคคลตามที่กฎหมายกำหนด	4.67	0.52	มากที่สุด
4. กลุ่มข้อมูลในระบบบันทึกรายการกิจกรรมการประมวลผลข้อมูลส่วนบุคคล เป็นไปตามพระราชบัญญัติคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล พ.ศ. 2562 มาตรา 39	4.16	0.14	มาก
5. การรักษาความลับข้อมูลส่วนบุคคลของระบบบันทึกรายการกิจกรรมการประมวลผลข้อมูลส่วนบุคคล เป็นไปตามพระราชบัญญัติคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล พ.ศ. 2562 มาตรา 39	4.08	0.63	มาก
6. ระบบบันทึกรายการกิจกรรมการประมวลผลข้อมูลส่วนบุคคล สามารถนำไปใช้งานได้จริง	4.17	0.58	มาก
ค่าเฉลี่ยรวม	**4.30**	**0.42**	**มาก**

จากตารางที่ 6 พบว่า โดยภาพรวมระบบบันทึกรายการกิจกรรมการประมวลผลข้อมูลส่วนบุคคลไปใช้งาน มีความเหมาะสมในการนำไปใช้งานในระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.3, S.D. = 0.42) เมื่อพิจารณารายข้อพบว่า ระบบสามารถช่วยลดความซับซ้อนของกระบวนการจัดทำเอกสารและกิจกรรมการประมวลผลข้อมูลส่วนบุคคลตามที่กฎหมายกำหนด มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.67, S.D. = 0.52) รองลงมาคือ การทำงานมีความสอดคล้องและเป็นไปตามพระราชบัญญัติคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล พ.ศ. 2562 มาตรา 39 และ 40 ค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.43, S.D. = 0.58) และ การแบ่งบทบาทและหน้าที่ของผู้ใช้งานมีความเหมาะสมและถูกต้อง ค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.34, S.D. = 0.48) ตามลำดับ

5. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัยพบว่า ระบบบันทึกรายการกิจกรรมการประมวลผลข้อมูลส่วนบุคคลที่พัฒนาขึ้นมีความสอดคล้องกับข้อกำหนดตามพระราชบัญญัติคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล พ.ศ. 2562 มาตรา 39 ทั้งในด้านการออกแบบระบบ การจัดการข้อมูล การรักษาความมั่นคงปลอดภัย และการใช้งานจริง โดยผลการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญทั้งสองกลุ่มพบว่า ระบบมีความเหมาะสมเฉลี่ยอยู่ในระดับมากทั้งสองด้าน (ค่าเฉลี่ยรวม 4.33 และ 4.30 ตามลำดับ) นอกจากนั้นการที่ระบบที่พัฒนาขึ้นได้นำแนวคิดการออกแบบและพัฒนาโดยใช้โครงร่างซอฟต์แวร์ที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ทำให้สามารถปรับใช้งานในบริบทของหน่วยงานที่แตกต่างกันได้อย่างยืดหยุ่น ซึ่งเป็นการตอบโจทย์ความท้าทายในการจัดทำบันทึกรายการกิจกรรมการประมวลผลข้อมูลส่วนบุคคลที่มีความหลากหลายในด้านโครงสร้างระบบสารสนเทศของแต่ละองค์กร

6.2 อภิปรายผลการวิจัย

ผลการวิจัยพบว่าโครงร่างซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นมีความสะดวกและช่วยลดเวลาในการจัดทำบันทึกรายการกิจกรรมการประมวลผลข้อมูลส่วนบุคคลและสามารถปรับแต่งเพื่อใช้งานหรือการนำไปพัฒนาต่อในอนาคต ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Zmuda, M. A. (2024) ที่ได้ทำการพัฒนาโครงร่างซอฟต์แวร์บนพื้นฐานเจยูนิต (Junit) เพื่อใช้ทดสอบซอฟต์แวร์ (Software Testing) ซึ่งพบว่าการใช้โครงร่างซอฟต์แวร์ช่วยลดระยะเวลาในการทดสอบซอฟต์แวร์ ลดความผิดพลาดทดสอบ และช่วยสนับสนุนให้การ

ทดสอบซอฟต์แวร์มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น ส่วนขั้นตอนการทำงานและเชื่อต่อระหว่างองค์ประกอบต่าง ๆ ในระบบนั้นพบว่าขั้นตอนและกิจกรรมการทำงานของระบบที่สอดคล้องกับข้อกำหนดตามกฎหมาย ไม่พบเงื่อนไขที่นำไปสู่สถานะการทำงานที่ไม่พึงประสงค์ของโครงร่างซอฟต์แวร์ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ ปิยะ ถิรพันธุ์เมธี และคณะ (2568) ที่ได้ศึกษากรอบงานสำหรับการออกแบบระบบสารสนเทศการเก็บบันทึกกิจกรรมการประมวลขององค์กรเพื่อให้สอดคล้องกับ พ.ร.บ.คุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล พ.ศ.2562 โดยใช้ UPPAAL Model Checker ในการทวนสอบเชิงรูปนัย (Formal Verification) เพื่อตรวจสอบหาสภาวะติดตาย (Deadlock) ซึ่งพบว่าขั้นตอนกิจกรรมตามกรอบงานที่ออกแบบไว้ไม่ทำให้เกิดสถานะที่ไม่พึงประสงค์ของซอฟต์แวร์ และในด้านการทำงานพบว่าโครงร่างซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นมีการทำงานมีความสอดคล้องกับพระราชบัญญัติคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล พ.ศ. 2562 มาตรา 39 และ 40 จึงช่วยให้หน่วยงานที่นำไปใช้ลดความเสี่ยงในการดำเนินการที่ไม่เป็นไปตามที่กฎหมายกำหนด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ ศิริญญา ดุสิตนานนท์ (2565) ที่พบว่ากฎหมายว่าด้วยการคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคลยังเป็นเรื่องใหม่สำหรับประชาชนชาวไทย จึงอาจทำให้เกิดผลกระทบอย่างมากทั้งต่อผู้มีหน้าที่ปฏิบัติตามกฎหมาย ในการปรับใช้และตีความตัวบทกฎหมาย ตลอดจนผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากการบังคับใช้กฎหมาย ดังนั้นการมีเครื่องมือที่ช่วยให้การจัดทำบันทึกกิจกรรมการประมวลขององค์กรสอดคล้องกับข้อกำหนดในกฎหมายจึงเป็นการช่วยเพิ่มความมั่นใจในการทำงานให้กับผู้ปฏิบัติงานและบุคคลที่เกี่ยวข้อง

6.3 ข้อเสนอแนะ

ควรทำการศึกษาต่อยอดเกี่ยวกับการบูรณาการระบบบันทึกรายการกิจกรรมการประมวลผลข้อมูลส่วนบุคคลเข้ากับระบบจัดการข้อมูลส่วนบุคคลในภาพรวม เช่น ระบบการจัดการคำขอสิทธิ (Data Subject Request Management) ระบบแจ้งเหตุละเมิดข้อมูล (Data Breach Notification System) เพื่อเพิ่มความครอบคลุมในการจัดการตามข้อกำหนดของกฎหมาย และควรส่งเสริมให้หน่วยงานทั้งภาครัฐหรือองค์กรขนาดเล็กนำระบบนี้ไปปรับใช้เพื่อเป็นการช่วยประหยัดงบประมาณ และควรมีกลไกสนับสนุนด้านเทคนิคในระยะยาว เพื่อช่วยเหลือหน่วยงานที่มีข้อจำกัดด้านบุคลากรและทรัพยากรด้านเทคโนโลยี ตลอดจนควรมีการพัฒนาฟังก์ชันเพิ่มเติม เช่น ระบบวิเคราะห์ความเสี่ยง (Risk Assessment Module) และระบบแจ้งเตือนอัตโนมัติกรณีมีการเปลี่ยนแปลงข้อมูลหรือสิทธิของเจ้าของข้อมูล เพื่อให้ระบบสามารถช่วยในการตัดสินใจและควบคุมความเสี่ยงได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้

6. เอกสารอ้างอิง

เขมภัทร ทฤษฎิคุณ. (2565,28 กุมภาพันธ์). *เมื่อเราอยู่ในยุคที่ข้อมูลส่วนบุคคลมีค่าดั่งทองคำ*. สถาบันปรีดี พนมยงค์. https://pridi.or.th/th/content/2022/02/991

ธรรมนิติ. (2565, 22 เมษายน). *นายจ้าง และ HR ควรรู้! แนวทางจัดการเมื่อต้องเกี่ยวข้องกับข้อมูลส่วนบุคคลของพนักงาน*. https://www.dharmniti.co.th/pdpa-and-human-resources/

นคร เสรีรักษ์. (2561,5 พฤษภาคม). *GDPR คืออะไร? ดีอย่างไร? EU ถึงใช้คุ้มครองความเป็นส่วนตัวให้ประชาชน*. iLaw. https://ilaw.or.th/node/4800

นิเวศน์ จรัสดำรง. (2543). *การออกแบบและพัฒนาโครงร่างสำหรับสร้างโปรแกรมเชิงวัตถุด้วยรูปแบบการออกแบบ* [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย]. Chulalongkorn University Intellectual Repository. https://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/67358

ปวรุตม์ พงศ์พฤฒานนท์. (8 มิถุนายน 2565). *Framework คืออะไร*. สำนักคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. https://km.cc.swu.ac.th/archives/4235

ปิยะ ถิรพันธุ์เมธี, สุรีพร นวลนิ่ม, กุลชยา พงษ์แสวง, และนิลุบล บุตรไชย. (2568). กรอบงานสำหรับการออกแบบระบบสารสนเทศการเก็บบันทึกกิจกรรมการประมวลขององค์กรเพื่อให้สอดคล้องกับ พ.ร.บ.คุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล พ.ศ. 2562. *การประชุมสหวิทยาการระดับชาติสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น ครั้งที่ 11 (TNIAC2025)* (น. 114–119). สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น.

พระราชบัญญัติคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล พ.ศ. 2562. (27 พฤษภาคม 2562). *ราชกิจจานุเบกษา*. เล่ม 136 ตอนที่ 69 ก. หน้า 52–95.

ศิริญญา ดุสิตนานนท์. (2565). ปัญหาและข้อเสนอแนะในการบังคับใช้พระราชบัญญัติคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล พ.ศ. 2562. *วารสารสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 25*(2), 154–174. https://ejournals.swu.ac.th/index.php/JOS/article/view/14420

เอกลักษณ์ แก้วมาเรือน. (2561). *เว็บเซอร์วิสเฟรมเวิร์คสำหรับการบริการข้อมูลผ้าไทยทอมือ* [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่]. CMU Digital Repository. https://cmudc.library.cmu.ac.th/frontend/Info/item/dc:142765

ACIS Professional Center. (2565, 4 กรกฎาคม). *5 หน่วยงานที่ทุกองค์กรควรให้ความสำคัญในเรื่องของการทำ PDPA*. https://www.acisonline.net/?p=9573

Baskaran, H., Yussof, S., Rahim, F. A., & Bakar, A. A. (2020). Blockchain and the Personal Data Protection Act 2010 (PDPA) in Malaysia, *8th International Conference on Information Technology and Multimedia (ICIMU)*, Selangor, Malaysia, pp. 189-193. https://doi.org/10.1109/ICIMU49871.2020.9243493

Bateman, R. (2025, February 16). *PIPEDA: Personal Information Protection and Electronic Documents Act*. TermsFeed. https://www.termsfeed.com/blog/pipeda/

Johnson, R. E. (1997). Components, frameworks, patterns (extended abstract). *ACM SIGSOFT Software Engineering Notes, 22*(3), 10–17. https://doi.org/10.1145/258368.258378

Lopes, S., Tavares, A., Monteiro, J., & Silva, C. (2007). Design and Description of a Classification System Framework for Easier Reuse, *14th Annual IEEE International Conference and Workshops on the Engineering of Computer-Based Systems (ECBS'07),* Tucson, AZ, USA, pp. 71-82. https://doi.org/10.1109/ECBS.2007.29

Olawanle, J. (2022, September 6). *What is a framework? Software framework definition*. freeCodeCamp. https://www.freecodecamp.org/news/what-is-a-framework-software-frameworks-definition/

Ranathunga, P. A. I., & Wickramarachchi, A. P. R. (2022). General Data Protection Regulation (GDPR) adoption in Sri Lankan business: A data governance model. *2nd International Conference on Advanced Research in Computing (ICARC),* Belihuloya, Sri Lanka, pp. 266–271. https://doi.org/10.1109/ICARC54489.2022.9753790

Weinreich, R., & Pichler, J. (2000). An integrated approach for documenting, exploring, and building framework-based software. *37th International Conference on Technology of Object-Oriented Languages and Systems,* Sydney, NSW, Australia, pp. 316–327. https://doi.org/10.1109/TOOLS.2000.891379

Zmuda, M. A. (2024). A software framework based on JUnit for automated software testing in computer science courses. *IEEE Frontiers in Education Conference (FIE),* Washington, DC, USA, pp. 1-8. https://doi.org/10.1109/FIE61694.2024.10892903

การบูรณาการกระบวนการประเมินผลอย่างรวดเร็ว (RAP) ร่วมกับโมเดลภาษาปัญญาประดิษฐ์ เพิ่มประสิทธิภาพความมั่นคงและความยั่งยืนในการจัดการน้ำ โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษามูลบน

ไชยาพงษ์ เทพประสิทธิ์[1], อมรเทพ เจริญสุข[1] และพัชราวรรณ เม่นแต้ม[1*]

[1] ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษามูลบน โดยบูรณาการกระบวนการประเมินผลอย่างรวดเร็ว (Rapid Appraisal Process: RAP) เข้ากับปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) ได้แก่ ChatGPT-5 และ Gemini Pro เพื่อพัฒนาความมั่นคงและความยั่งยืนของการจัดการน้ำ ผลการประเมิน RAP. ตามตัวชี้วัดภายในพบว่าคะแนนรวมอยู่ที่ 1.88 จาก 4.0 สะท้อนข้อจำกัดด้านการวัดปริมาตรน้ำ ความเพียงพอของอ่างพักน้ำ ความสามารถในการระบายน้ำของอาคารรับ-ส่งน้ำ ดัชนีความผันผวนของระดับน้ำ การควบคุมท่อผี (ท่อลักลอบสูบน้ำที่ไม่ได้รับอนุญาต) ตลอดจนความเข้มแข็งของกลุ่มผู้ใช้น้ำ และร้อยละของค่าดำเนินงานและบำรุงรักษา แม้โครงสร้างพื้นฐานจะเสื่อมสภาพและการบริหารจัดการมีความซับซ้อน แต่การใช้ AI สามารถช่วยสนับสนุนการตัดสินใจ วิเคราะห์ข้อมูลเชิงซ้อน และเสนอแนวทางปรับปรุงที่เป็นระบบ แนวทางที่นำเสนอ ได้แก่ การยกระดับระบบคลองส่งน้ำ การติดตั้งเครื่องมือวัดและควบคุมน้ำอัจฉริยะ การเพิ่มอ่างพักน้ำ และการเสริมสร้างกลุ่มผู้ใช้น้ำให้เข้มแข็ง ซึ่งคาดว่าจะช่วยยกระดับประสิทธิภาพการจัดการน้ำ เพิ่มความยืดหยุ่นในการดำเนินงาน และสร้างความยั่งยืนในระยะยาว งานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นถึงศักยภาพของการผสาน RAP. กับ AI ในการปรับปรุงโครงการชลประทานที่มีอายุการใช้งานยาวนาน และสามารถใช้เป็นต้นแบบสำหรับการพัฒนาระบบการจัดการน้ำในอนาคต

คำสำคัญ: การประเมินผลอย่างรวดเร็ว (RAP) การจัดการน้ำ ปัญญาประดิษฐ์ (AI) Gemini Pro ChatGPT-5

** ผู้รับผิดชอบบทความ : patcharawanmentaem@gmail.com*

***รับบทความ**: 27 สิงหาคม 2568* ***แก้ไขเสร็จ:** 9 ธันวาคม 2568* ***ตอบรับบทความ**: 10 กุมภาพันธ์ 2569*

Integrating Rapid Appraisal Process (RAP) and AI Language Models to Optimize Water Management Stability and Sustainability of Moon Bon Project

Chaiyapong Theppprasit[1], Amorntape Jaroensook[1] and Patcharawan Mentaem[1*]

[1] Department of Irrigation Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University, Kamphaengsaen Campus

Abstract

This study aims to evaluate the performance of the MoonBon Operation and Maintenance Project by integrating the Rapid Appraisal Process (RAP) with Artificial Intelligence (AI), specifically ChatGPT-5 and Gemini Pro, to enhance the Reliability and sustainability of irrigation water management. The RAP. assessment, based on internal indicators, yielded an overall score of 1.88 out of 4.0, reflecting critical limitations in water measurement of volumes, adequacy of regulating reservoirs, water flow rate capacity from buildings, lack of water level fluctuation index, unauthorized pipe connections canals, as well as the strong water user associations (WUAs) and the percentage of the total project operation and maintenance (O&M). Although infrastructure deterioration and complex management practices remain key challenges, the application of AI demonstrates significant potential to support decision-making, analyze complex datasets, and provide systematic improvement strategies. The proposed measures include upgrading irrigation canals, installing smart water measurement and control devices, increasing regulating reservoirs, and strengthening WUAs. These strategies are expected to improve irrigation efficiency, enhance operational flexibility, and ensure long-term sustainability. The findings highlight the potential of integrating RAP. with AI in improving the performance of aging irrigation systems and suggest a scalable model for future water management development.

Keywords: Rapid Appraisal Process (RAP), Water Management, Artificial Intelligence (AI), Gemini Pro, ChatGPT-5

** Corresponding author: patcharawanmentaem@gmail.com*

***Received**: 27 August 2025* ***Revised:** 9 December 2025* ***Accepted**: 10 February 2026*

1. บทนำ

โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษามูลบน เริ่มก่อสร้างในปี พ.ศ. 2523 และแล้วเสร็จในปี พ.ศ. 2541 ถือเป็นโครงการชลประทานขนาดใหญ่ที่มีเขื่อนมูลบนเป็นศูนย์กลางสำคัญในการกักเก็บและจัดสรรน้ำเพื่อการเกษตร ควบคู่กับการใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค อุตสาหกรรม การประมง การท่องเที่ยว และการอนุรักษ์ระบบนิเวศ แสดงถึงแนวทางการจัดการน้ำแบบบูรณาการเพื่อการใช้ประโยชน์หลายมิติ (โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษามูลบน, 2566) อย่างไรก็ตาม การดำเนินงานยาวนานกว่า 20 ปีส่งผลให้โครงสร้างหลัก เช่น ประตูระบายน้ำ และระบบคลองส่งน้ำที่ครอบคลุมพื้นที่กว่า 45,000 ไร่ เกิดการเสื่อมสภาพ นำไปสู่ปัญหาประสิทธิภาพที่ลดลง ผลกระทบจากภัยธรรมชาติ และข้อจำกัดด้านการบริหารจัดการ ซึ่งหากปราศจากการปรับปรุงโครงสร้างพื้นฐาน การเพิ่มศักยภาพบุคลากร และการมีส่วนร่วมของผู้ใช้น้ำ เป็นองค์ประกอบที่สำคัญอย่างยิ่งที่จะส่งผลให้การบริหารจัดการน้ำชลประทานประสบผลสำเร็จ หากขาดองค์ประกอบนี้มักจะส่งผลทำให้เกิดปัญหาความขัดแย้งเรื่องการใช้น้ำ ทำให้ประสิทธิภาพการใช้น้ำหรือประสิทธิภาพการชลประทานไม่ดีเท่าที่ควร (สมจิตฐพงศ์ อำนาจศาล, 2564)

การปรับปรุงโครงการชลประทานโดยวิธีการประเมินผลอย่างรวดเร็ว (Rapid Appraisal Process, RAP.) เป็นวิธีที่สามารถใช้กับโครงการชลประทานในประเทศไทยได้ โดยใช้การสำรวจ สัมภาษณ์ และประเมินผลด้านต่าง ๆ ของโครงการฯ (Burt, 2001) โดยแนวทางของ RAP. สามารถประเมินโครงการฯ จากดัชนีภายนอก (External indicators) และดัชนีภายใน (Internal indicators) ซึ่งโครงการชลประทานในประเทศไทยที่เคยสำรวจและประเมินโดยวิธีการ RAP. ได้แก่ โครงการอ่างเก็บน้ำพระปรง (อุรินทร์ โสตรโยม และวราวุธ วุฒิวณิชย์, 2550) โครงการชลประทานแม่กลองใหญ่ (อุรินทร์ โสตรโยม และวราวุธ วุฒิวณิชย์, 2554) โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาทุ่งวัดสิงห์ (อรรณพ ขันติธรรมพัฒนา และคณะ, 2560) โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาแม่ลาว และโครงการชลประทานเชียงราย (Wongtragoon et al., 2017) และโครงการส่งน้ำบำรุงรักษาท่ามะกา (อมรเทพ เจริญสุข และคณะ, 2565) เป็นต้น ซึ่งผลการประเมินและแนวทางปรับปรุงโครงการ จะสอดคล้องกับแผนแม่บทการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ 20 ปี (พ.ศ. 2561-2580) (สำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ, 2561) ในด้านการสร้างความสามารถในการแข่งขันและการสร้างการเติบโตบนคุณภาพชีวิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำในทุกภาคส่วน โดยเฉพาะภาคการเกษตรซึ่งเป็นผู้ใช้น้ำรายใหญ่ที่สุดของประเทศ

การพัฒนาปัญญาประดิษฐ์ (AI) ในรูแบบการจำลองภาษาขนาดใหญ่ (LLMs) โดยพิจารณา 2 แบบจำลองได้แก่ GPT ที่พัฒนาโดย OpenAI (Brown et al, 2020) และ Bard ที่พัฒนาโดย (Ray et al., 2023) ซึ่งปัจจุบัน GPT ถูกพัฒนาเป็นรุ่นที่ 5 (OpenAI, 2025) และ Google พัฒนา PaLM และต่อยอดเป็น Gemini Pro (Gemini Team and Google, 2025) แม้ LLMs รุ่นใหม่จะแก้ไขข้อจำกัดบางส่วน แต่ก็ยังคงพบปัญหาด้านความโปร่งใส และความสามารถในการอธิบายเหตุผล (Weidinger et al., 2021) งานวิจัยนี้ จึงได้บูรณาการระหว่าง RAP. ซึ่งมีจุดแข็งด้านการประเมินเชิงโครงสร้างและกระบวนการ กับ LLMs รุ่นใหม่ที่มีศักยภาพในการประมวลผลข้อมูลเชิงลึกและสนับสนุนการตัดสินใจเชิงซับซ้อน และมีผู้เชียวชาญคอยตรวจสอบความเหมาะสม เพื่อช่วยยกระดับการประเมินและปรับปรุงโครงการชลประทานให้มีประสิทธิภาพและความยั่งยืนยิ่งขึ้น

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

ประเมินประสิทธิภาพของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษามูลบน โดยบูรณาการกระบวนการประเมินผลอย่างรวดเร็ว เข้ากับปัญญาประดิษฐ์

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัย ครอบคลุมพื้นที่ศึกษา กระบวนการประเมินผลอย่างรวดเร็ว (Rapid Appraisal Process: RAP.) โดยการประเมินครั้งนี้มุ่งเน้นตัวชี้วัดดัชนีภายในที่ต้องปรับปรุง นอกจากนี้ยังกล่าวถึงเทคนิคการวิเคราะห์ที่นำมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของโครงการชลประทาน โดยอาศัยศักยภาพของ ChatGPT-5 และ Gemini Pro ดังนี้

3.1 ขอบเขตการศึกษา

โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษามูลบน เป็นโครงการเก็บกักน้ำเพื่อการชลประทาน มีเขื่อนมูลบน ปิดกั้นลำน้ำมูลตอนบนที่บ้านมูลบน ตำบลจระเข้หิน อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา สามารถเก็บกักน้ำได้ 141 ล้านลูกบาศก์เมตร เพื่อส่งน้ำช่วยเหลือพื้นที่เกษตรกรรมบนฝั่งซ้ายของลำน้ำมูลในเขตอำเภอครบุรี อำเภอโชคชัย อำเภอปักธงชัยบางส่วนในพื้นที่ 45,798 ไร่ มีปริมาณน้ำต้นทุนจากเขื่อนมูลบนซึ่งเป็นเขื่อนดิน มีระดับเก็บกักปกติ +221 ม.รทก. มีอาคารระบายน้ำล้นใช้งาน สามารถระบายน้ำสูงสุด 960 ลบ.ม./วินาที มีอาคารบังคับน้ำเข้าสู่คลองสายใหญ่ 2 สาย และส่งน้ำผ่านคลองส่งน้ำสายซอย 3 สาย คลองส่งน้ำสายแยกซอย 9 สาย และมีคลองระบายน้ำสายหลัก 1 สาย โครงการฯได้เริ่มส่งน้ำให้กับพื้นที่เพาะปลูกตั้งแต่ปี 2541 (โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษามูลบน, 2566) แสดงในภาพที่ 1

3.2 เครื่องมือการลงภาคสนาม/สำนักงาน คือ RAP Excel Worksheets (FAO/World Bank) (Vudhivanich, 2008) และ LLM Tools (ChatGPT-5, Gemini Pro)

3.3 การประเมินผลอย่างรวดเร็ว (RAP)

กระบวนการในการเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลทั้งจากสำนักงาน และสนามการประเมินใช้ระยะเวลาลงพื้นที่ 2 สัปดาห์ ช่วงฤดูการเพาะปลูก(มีนาคม) ครอบคลุมคลองสายใหญ่ 2 สาย และส่งน้ำผ่านคลองส่งน้ำสายซอย 2 สาย คลองส่งน้ำสายแยกซอย 3 สาย โดยมีขั้นตอนประกอบด้วย การเก็บรวบรวมข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูลจากโครงการ การสัมภาษณ์ และการประเมินผลเพื่อหาผลลัพธ์ในการปรับปรุงโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษามูลบน โดยคะแนนการประเมินจะขึ้นอยู่กับดัชนีภายใน ประกอบด้วย ด้านระบบคลองส่งน้ำและการปฏิบัติงาน ด้านการบริการและความเกี่ยวพันทางสังคม ซึ่งคะแนนจะถูกประเมินออกมาเป็นตัวเลข 0-4 โดย คะแนน 0 หมายถึง ปรับปรุงเร่งด่วน คะแนน 1 หมายถึง ต้องปรับปรุง คะแนน 2 พอใช้ คะแนน 3 หมายถึง ดี และคะแนน 4 หมายถึง ดีมาก ทั้งนี้ การวิเคราะห์หาแนวทางการปรับปรุงโครงการชลประทานพิจารณาจากจุดด้อยที่ต้องปรับปรุงเร่งด่วน ซึ่งส่งผลต่อการพัฒนาโครงการชลประทาน

3.4 ChatGPT-5

ในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองภาษาขนาดใหญ่ เพื่อสนับสนุนการวิเคราะห์ข้อมูลที่ซับซ้อน และการตีความผลการประเมินจาก RAP. โดย GPT-5 ได้รับการพัฒนาให้มีความสามารถในการประมวลผลแบบหลายโมดูล (Multimodal reasoning) ซึ่งสามารถจัดการข้อมูลทั้งข้อความ ตาราง และภาพได้อย่างบูรณาการ อีกทั้งยังมีกลไก Real-time routing ที่ช่วยเลือกโมดูลย่อยที่เหมาะสมสำหรับการตอบสนองในแต่ละบริบท ทำให้สามารถตีความข้อมูลเชิงเทคนิคด้านการชลประทาน และการจัดการน้ำได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น (OpenAI, 2025)

3.5 Gemini Pro

ในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ ได้ประยุกต์ใช้โมเดลปัญญาประดิษฐ์เป็นแบบจำลองภาษาขนาดใหญ่ ที่พัฒนาโดย Google DeepMind ถูกออกแบบมาเพื่อเป็นโมเดลหลักที่สร้างความสมดุลระหว่างประสิทธิภาพระดับสูง และความสามารถในการนำไปใช้งานในวงกว้าง สถาปัตยกรรมของ Gemini Pro มีจุดเด่นสำคัญคือการเป็น "แบบจำลองหลายรูปแบบโดยกำเนิด" ซึ่งแตกต่างจากโมเดลรุ่นก่อน ๆ ที่มักฝึกฝนข้อมูลแต่ละรูปแบบแยกกันแล้วนำมารวมกันในภายหลัง แต่ Gemini Pro ถูกสร้างขึ้นจากพื้นฐานเพื่อให้สามารถประมวลผลและให้เหตุผลจากข้อมูลที่หลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นข้อความ (Text) รูปภาพ (Images) เสียง (Audio) และโค้ด (Code) ได้พร้อมกันในกระบวนการเดียวอย่างราบรื่น(Gemini Team and Google, 2025)

3.6 การตั้งค่าพื้นฐานของปัญญาประดิษฐ์ (AI)

พื้นฐานด้านงานชลประทานที่มีความเฉพาะตัว สามารถนำมาสอน ChatGPT plugin ซึ่ง GPT-Plugin เป็นสถาปัตยกรรมเสริม (Extension layer) ที่ช่วยขยายขีดความสามารถของ GPT-5 ให้สามารถเข้าถึงฐานข้อมูลภายนอกและระบบบริการต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่จำกัดอยู่เพียงความรู้ที่ฝังอยู่ในโมดูล (OpenAI, 2023b) และ Gemini Gems ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่พัฒนาขึ้น

สำหรับแบบจำลอง Gemini ของ Google มีลักษณะจำเพาะเจาะจง ตามความต้องการของผู้ใช้งาน (Demeter ICT., 2024) หลักการสำคัญของ Gems คือการอนุญาตให้ผู้ใช้สามารถกำหนดชุดคำสั่ง เพื่อสร้างตัวแทนปัญญาประดิษฐ์ (AI Agent) ที่มีบุคลิกและความเชี่ยวชาญเฉพาะทางสำหรับภารกิจที่กำหนดเพื่อให้รู้ถึงกรอบและแนวคิดในการตอบคำถาม (McHugh-Johnson, 2024) โดยเอกสารอ้างอิงที่ใช้จะเกี่ยวกับคู่มือการประเมินโครงการชลประทานอย่างรวดเร็ว คู่มือการปฏิบัติงาน เรื่อง ซ่อมแซมและบำรุงรักษาอาคารชลประทาน โดยกรมชลประทาน Modernizing irrigation management โดย FAO (FAO., 1997) เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลสนับสนุนในการหาคำตอบที่เหมาะสมแสดงในภาพที่ 2

3.7 ประยุกต์เทียบผลลัพธ์โดยใช้ปัญญาประดิษฐ์ (AI) การนำผลการประเมินกระบวนการประเมิน โดยเน้นเฉพาะตัวดัชนีภายในจาก Excel Worksheet รวมถึงคลองชลประทานและการจัดการน้ำ ที่ได้รับคะแนนต่ำสุด เพื่อหาวิธีการประเมินปรับปรุงโครงการชลประทานร่วมกับ ChatGPT plugin และ Gemini Gems ดังนี้

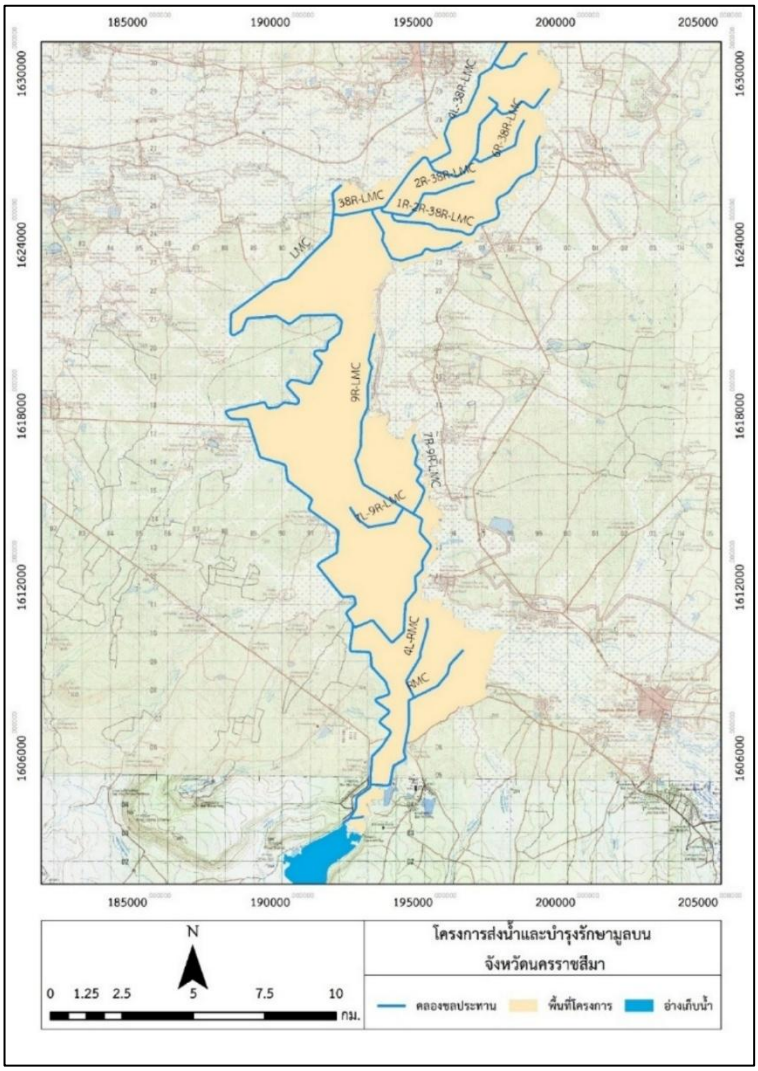
3.7.1 การระบุจุดด้อยที่ส่งผลต่อพัฒนาโครงการชลประทาน โดยการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ประเมินโดยใช้ GPT-Plugin และGemini Gems ออกเป็น 7 ประเด็น ดังนี้

1) การวัดปริมาตรน้ำ
2) อ่างพักน้ำกลางคลอง
3) ความสามารถในการระบายน้ำของอาคารรับ-ส่งน้ำของคลองไปสู่คลองระดับถัดลงไป
4) ดัชนีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ
5) ข้อสังเกตเกี่ยวกับการมีกาลักน้ำและท่อผี (ท่อลักลอบสูบน้ำที่ไม่ได้รับอนุญาต)
6) กลุ่มผู้ใช้น้ำ
7) ร้อยละของค่าดำเนินงานและบำรุงรักษา ของโครงการซึ่งรวมของกลุ่มผู้ใช้น้ำที่มีการเก็บจากกลุ่มผู้ใช้น้ำทั้งในรูปของแรงงานหรือค่าน้ำ

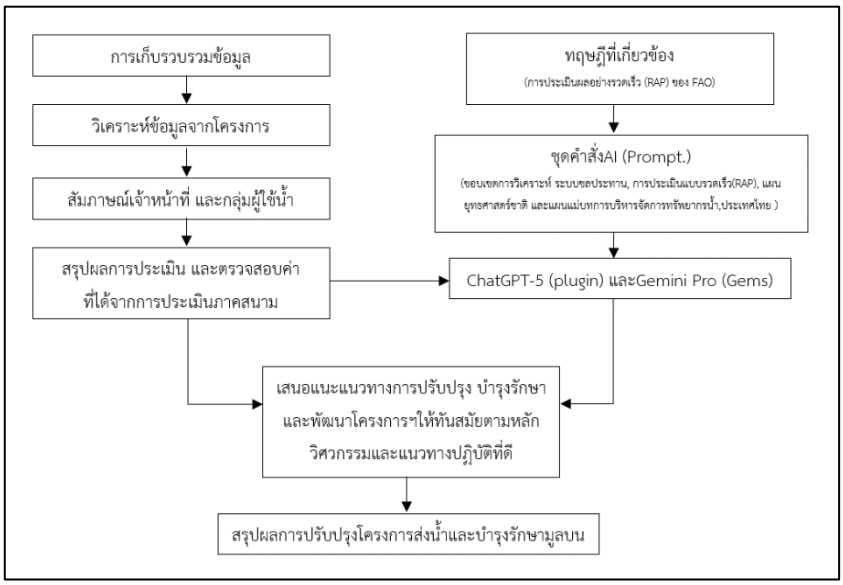
3.7.2 การสร้างคำสั่ง (Prompt) เพื่อกำหนดเป้าหมายในการปรับปรุงโครงการสอดคล้องตามทฤษฎี ได้แก่

1. ขอบเขตการวิเคราะห์หรือการให้คำแนะนำ
    1) วิเคราะห์ภายใต้ระบบชลประทานในประเทศไทย
    2) วิเคราะห์ภายใต้ทฤษฎีการประเมินแบบรวดเร็ว (Rapid Appraisal Process, RAP)
    3) วิเคราะห์ภายใต้ทฤษฎีกระบวนการเดินสำรวจระบบชลประทาน (Walk-thru)
    4) เสริมการวิเคราะห์ภายใต้แผนยุทธศาสตร์ชาติ และแผนแม่บทการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ
    5) เสริมการวิเคราะห์ภายใต้การใช้ระบบชลประทานอัจฉริยะ IoT, AI และข้อมูลแบบเรียลไทม์
2. ลำดับการพิจารณาในการอ้างอิงการตอบคำถาม
    1) ให้ใช้คำแนะนำอ้างอิงตามทฤษฎีอันดับแรกในการปรับปรุงดัชนีภายในเพื่อให้ได้คะแนน 4
    2) ให้คำแนะนำเพิ่มเติมในการปรับปรุงดัชนีภายในที่ทันสมัยนอกเหนือจากทฤษฎี และแนบเอกสารอ้างอิงทั้งในและต่างประเทศ
3. การตอบคำถาม
    1) คำตอบเป็นภาษาไทย
    2) ให้คำตอบในรูปแบบตาราง กำหนดหัวตาราง (ดัชนี/คำแนะนำตามทฤษฎี/คำแนะนำเพิ่มเติม)

3.7.3 สรุปผลงานวิจัยพร้อมข้อเสนอแนะตามแผนระยะสั้น ระยะกลาง และระยะยาว



ภาพที่ 1 แผนทโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษามูลบน



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการดำเนินงานของการประเมิน RAP และการประยุกต์ใช้ AI

4. ผลการวิจัย

การประเมินการจัดการน้ำชลประทานโดยใช้ RAP. เป็นการประเมินดัชนีภาพรวมของระบบชลประทานในโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษามูลบน ครอบคลุมคลองสายหลักจำนวน 2 สาย ได้แก่ คลองสายใหญ่ฝั่งซ้าย และคลองสายใหญ่ฝั่งขวา คลองสายซอย 2 สาย และคลองสายแยกซอย 3 สาย รวมทั้งตัวชี้วัดด้านการปฏิบัติงาน โดยผลการประเมินดัชนีภาพรวมของโครงการฯ อยู่ที่ 1.88 จากคะแนนเต็ม 4.0 ซึ่งได้มาจากการพิจารณาตัวชี้วัดหลักที่มีค่าน้ำหนักเท่ากันตาม RAP. Excel Worksheets ที่พัฒนาโดยองค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) และธนาคารโลก ผลการประเมินพบว่า ดัชนีคลองสายใหญ่มีค่า 2.19 ดัชนีคลองสายซอยมีค่า 1.87 และดัชนีคลองสายแยกซอยซึ่งต่ำที่สุดมีค่า 1.65 ส่วนดัชนีด้านการปฏิบัติงานมีค่า 1.79 โดยรายละเอียดแสดงในภาพที่ 3 ในการใช้ GPT-Plugin และ Gemini Gems เพื่อค้นหาแนวทางการปรับปรุงโครงการชลประทาน ระยะสั้น ระยะกลาง และระยะยาวนั้น ได้อ้างอิงผลการประเมินจาก RAP. แสดงดังตารางที่ 1 ถึง 4 ซึ่งแบ่งแนวทางปรับปรุงออกเป็น 7 ประเด็น ดังนี้

1) การวัดปริมาตรน้ำ

2) อ่างพักน้ำกลางคลอง

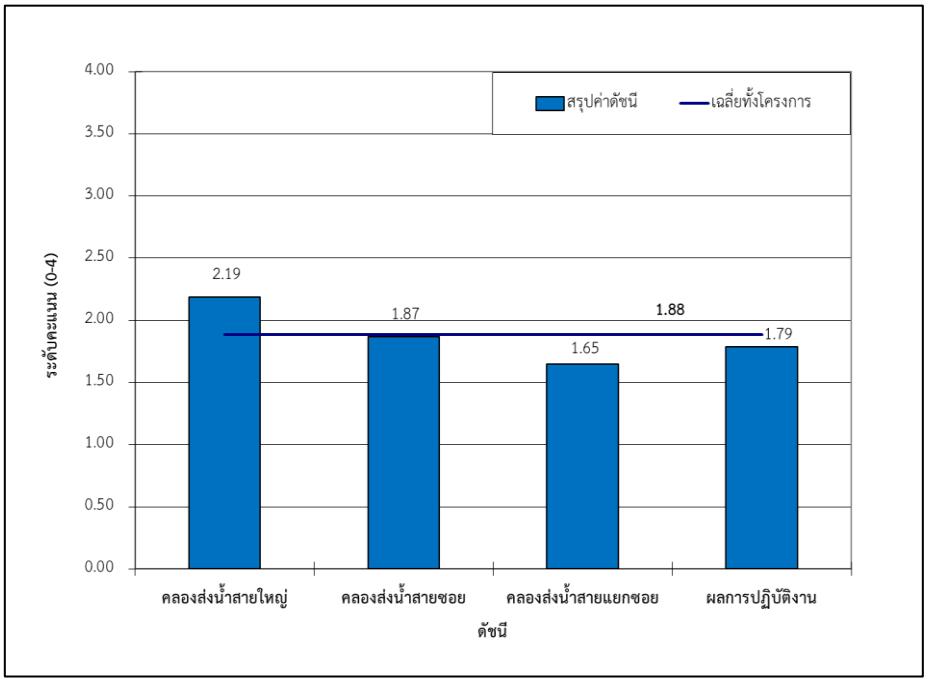
3) ความสามารถในการระบายน้ำของอาคารรับ-ส่งน้ำของคลองไปสู่คลองระดับถัดลงไป

4) ดัชนีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ

5) ข้อสังเกตเกี่ยวกับการมีกาลักน้ำและท่อผี (ท่อลักลอบสูบน้ำที่ไม่ได้รับอนุญาต)

6) กลุ่มผู้ใช้น้ำ

7) ร้อยละของค่าดำเนินงานและบำรุงรักษา ของโครงการซึ่งรวมของกลุ่มผู้ใช้น้ำที่มีการเก็บจากกลุ่มผู้ใช้น้ำ ทั้งในรูปของแรงงานหรือค่าน้ำ



ภาพที่ 3 ผลการประเมินโดยรวมของทั้งโครงการ

ตารางที่ 1 แนวทางการปรับปรุงระบบคลองส่งน้ำโดยเป้าหมายตามเกณฑ์การประเมิน RAP. ร่วมกับ ChatGPT plugin และ Gemini Gems

ดัชนี	เป้าหมายตามเกณฑ์การประเมิน RAP.	ChatGPT plugin	Gemini Gems
1. การวัดปริมาตรน้ำ	ปรับปรุงเพื่อให้ได้ 4 คะแนน คือ มีเครื่องมือวัดน้ำและควบคุมน้ำอยู่ในเกณฑ์ดีเยี่ยม มีการใช้งานอย่างเหมาะสมและมีการบันทึกข้อมูล	- ติดตั้งเซ็นเซอร์อัตราการไหล/ระดับน้ำแบบโทรมาตร + เกจอัจฉริยะที่อาคารรับ-ส่งน้ำ - สตรีมข้อมูลขึ้นแดชบอร์ดศูนย์กลางโดยใช้ AI ตรวจจับค่าผิดปกติ/สูญเสีย - สร้างแอปพลิเคชัน บันทึกน้ำรายแปลงและทำสมุดบันทึกปฏิบัติการแบบดิจิทัล (Electronic Logbook) รองรับตรวจสอบย้อนหลัง แบบเรียลไทม์	- ติดตั้งเซ็นเซอร์วัดการไหลของน้ำแบบ IoT ที่อาคารส่งน้ำเข้าแปลงทุกแห่ง เพื่อวัดและบันทึกข้อมูลปริมาณน้ำแบบเรียลไทม์ และส่งข้อมูลไปยังระบบประมวลผลกลางโดยอัตโนมัติ - ติดตั้งเซ็นเซอร์วัดระดับน้ำและประตูน้ำอัตโนมัติ ที่อาคารปากคูซอย/คลองแยกซอย ซึ่งเชื่อมต่อกับระบบ SCADA เพื่อให้สามารถควบคุมและวัดปริมาณน้ำที่ส่งมอบให้กลุ่มผู้ใช้น้ำได้อย่างแม่นยำและตรวจสอบได้จากส่วนกลาง
2. อ่างพักน้ำกลางคลอง	ปรับปรุงเพื่อให้ได้ 4 คะแนน คือ - ที่ตั้งเหมาะสม และมีจำนวนเพียงพอ - ประสิทธิผลการใช้งานความเหมาะสมของความจุอ่างพักน้ำ และการบำรุงรักษาอยู่ในเกณฑ์ ดีเยี่ยม	- ออกแบบปรับปรุงเป็นรูปแบบฝาย เพื่อเพิ่มที่เก็บช่วงสั้น ลดความผันผวนระดับ - คำนวณความจุด้วยแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ + คาดการณ์น้ำต้นทุน ติดตั้งเซ็นเซอร์ตะกอน-รั่วซึม + โปรแกรมขุดลอกเชิงปริมาณรายปี	ออกแบบและสร้างอ่างพักน้ำอัจฉริยะ ที่มีการติดตั้งเซ็นเซอร์วัดปริมาณน้ำและคุณภาพน้ำ สามารถควบคุมการเติมและปล่อยน้ำได้จากระยะไกล และใช้แบบ จำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาตำแหน่งและขนาดที่เหมาะสมที่สุดในการลดผลกระทบจากความผันผวนของน้ำในระบบ
3. ความสามารถในการระบายน้ำของอาคารรับ-ส่งน้ำ ของคลองซอยไปสู่คลองระดับถัดลงไป	ปรับปรุงเพื่อให้ได้ 4 คะแนน คือ ไม่มีปัญหาในการระบายน้ำที่อัตราการไหลสูงสุด	- เปลี่ยนเป็นชุดบานประตูควบคุมอัตราการไหล พร้อมติดตั้ง Remote Terminal Unit เพื่ออ่านค่ารับ-ส่งสัญญาณผ่าน SCADA - ใช้ AI ช่วยคาดการณ์ ความเสียหายของอาคารรับ-ส่งน้ำ จากคลองและเสนอคิวซ่อม/งบอะไหล่อัตโนมัติ	ใช้แบบจำลอง 3 มิติ (3D Hydraulic Simulation) ในการออกแบบและปรับปรุงอาคารส่งน้ำ เพื่อให้มั่นใจว่าโครงสร้างสามารถรองรับอัตราการไหลสูงสุดได้จริงตามสภาพชลศาสตร์ และป้องกันปัญหาคอขวดในระบบ
4. ดัชนีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ	ปรับปรุงเพื่อให้ได้ 4 คะแนน คือ การเปลี่ยนแปลงระดับต่ำกว่า 10 เซนติเมตร	- ติดตั้งอาคารระบายน้ำกลางคลองอัตโนมัติ + เซ็นเซอร์ระดับทุกช่วงคลอง - ใช้แบบจำลองล่วงหน้า (Model Predictive Control) ผูกกับอ่างพักน้ำกลางคลอง - แจ้งเตือนผู้ควบคุมผ่านมือถือเมื่อเกินระดับที่ตั้งไว้ และเชื่อมโยงข้อมูลคิวสูบน้ำเกษตรกรตั้งแต่ต้นคลอง ถึง ท้ายคลอง	นำระบบควบคุมประตูระบายน้ำอัตโนมัติที่ทำงานร่วมกับ AI มาใช้ โดยระบบจะวิเคราะห์ข้อมูลระดับน้ำแบบเรียลไทม์จากเซ็นเซอร์ และปรับการเปิด-ปิดประตูน้ำโดยอัตโนมัติเพื่อรักษาระดับน้ำให้คงที่ตามที่กำหนดไว้
5. ข้อสังเกตเกี่ยวกับการมีกาลักน้ำและท่อผี (ท่อลักลอบสูบน้ำที่ไม่ได้รับอนุญาต)	ปรับปรุงเพื่อให้ได้ 4 คะแนน คือ ไม่พบเหตุการณ์ที่เกษตรกรหรือกลุ่มเกษตรกรติดตั้งท่อผี (ท่อลักลอบสูบน้ำที่ไม่ได้รับอนุญาต)	- ใช้กล้อง/โดรนตรวจแนวคลอง + AI ตรวจจับรอยต่อ/น้ำรั่วผิดปกติ - ป้ายระบุตัวตนอิเล็กทรอนิกส์ที่มีชิป + เสาอากาศ ให้ทุกอาคารรับ-ส่งน้ำ - เปิดช่องร้องเรียนออนไลน์ - สำรวจร่วม อปท./กำนัน-ผู้ใหญ่บ้าน	ใช้เทคโนโลยีโดรน (Drone) หรือภาพถ่ายดาวเทียม ทำการสำรวจแนวคลองส่งน้ำเป็นประจำ เพื่อตรวจจับการติดตั้งท่อ หรือการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่ผิดปกติได้อย่างรวดเร็วและครอบคลุมพื้นที่

ตารางที่ 1 แนวทางการปรับปรุงระบบคลองส่งน้ำโดยเป้าหมายตามเกณฑ์การประเมิน RAP. ร่วมกับ ChatGPT plugin และ Gemini Gems (ต่อ)

ดัชนี	เป้าหมายตามเกณฑ์การประเมิน RAP.	ChatGPT plugin	Gemini Gems
6. กลุ่มผู้ใช้น้ำ	ปรับปรุงเพื่อให้ได้ 4 คะแนน คือ - กลุ่มผู้ใช้น้ำที่มีความเข้มแข็งซึ่งจะมีอิทธิพลจนทำให้การส่งน้ำได้ตรงเวลา - หาบุคคลภายนอกมาช่วยในการบังคับใช้กฎระเบียบต่าง ๆ - จัดตั้งตามกฎหมายมีอำนาจเกี่ยวกับเรื่องภาษีการถือเงิน การบอกเลิกการจ้างลูกจ้าง การคัดค้านเรื่องที่ดิน และเป็นเจ้าของอาคาร โดยกฎหมายใช้ได้ในศาล - มีอำนาจในการเก็บภาษีเก็บค่าน้ำ และกู้เงิน	- ทำข้อตกลงชุมชนด้านน้ำที่มีฐานข้อมูลและกระบวนการมีส่วนร่วม ระหว่างโครงการ-กลุ่มใช้น้ำ - ตั้งกองทุน ค่าดำเนินงาน และบำรุงรักษาชุมชนแบบบัญชีโปร่งใส - ใช้แพลตฟอร์มดิจิทัล (Line OA/แอปพลิเคชัน) สำหรับโควตา-คิวส่งน้ำ-ร้องเรียน-โหวต - ฝึกอบรมคณะกรรมการด้วยหลักสูตรระยะสั้น RAP./Walk-thru	- สร้าง แพลตฟอร์มออนไลน์ สำหรับกลุ่มผู้ใช้น้ำเพื่อใช้ในการรายงานการกระทำผิดกฎระเบียบโดยตรงไปยังหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง พร้อมแนบหลักฐาน (เช่น ภาพถ่าย, GPS) - ผลักดันให้มีการรับรองสถานะทางกฎหมายของกลุ่มผู้ใช้น้ำแบบดิจิทัล และสร้างฐานข้อมูลกลางของกลุ่มผู้ใช้น้ำที่สามารถเข้าถึงได้ เพื่อให้การสนับสนุนด้านกฎหมายและการประสานงานกับภาครัฐเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ - ส่งเสริมให้กลุ่มผู้ใช้น้ำใช้ เทคโนโลยีบล็อกเช่น (Blockchain) ในการบริหารจัดการกองทุน เพื่อสร้างความโปร่งใส ตรวจสอบได้ และสถาบันการเงินในการสนับสนุนสินเชื่อเพื่อการพัฒนาระบบชลประทานในพื้นที่
7. ร้อยละของค่าดำเนินงานและบำรุงรักษาของโครงการซึ่งรวมของกลุ่มผู้ใช้น้ำที่มีการเก็บจากกลุ่มผู้ใช้น้ำทั้งในรูปของแรงงานหรือค่าน้ำ	ปรับปรุงเพื่อให้ได้ 4 คะแนน คือ ร้อยละ 90 ขึ้นไป	- มีระบบ e-Payment/QR ภาษีท้องถิ่น, ส่วนแบ่งรายได้สู่กองทุนคลอง/ตำบล - ใช้แดชบอร์ด หรือหน้าสรุปรายได้-รายจ่ายแบบเปิดเผย - ให้แรงงานชุมชนคิดเป็นเครดิตลดค่าบริการ	พัฒนา ระบบเก็บค่าบริการชลประทานแบบดิจิทัล (Digital Payment) ผ่านแอปพลิเคชันบนมือถือที่เชื่อมโยงกับข้อมูลการใช้น้ำจริงจากมิเตอร์อัจฉริยะ เพื่อสร้างความโปร่งใสและจูงใจให้เกิดการมีส่วนร่วมในการจ่ายค่าบริการ

ตารางที่ 2 แนวทางการปรับปรุงระบบคลองส่งน้ำกำหนดแผนระยะสั้น 0-5 ปี โดยเป้าหมายตามเกณฑ์การประเมินทฤษฎี RAP. ร่วมกับ ChatGPT plugin และ Gemini Gems

ดัชนี	เป้าหมายตามเกณฑ์การประเมิน RAP.	ChatGPT plugin	Gemini Gems
1. การวัดปริมาตรน้ำ	ปรับปรุงเพื่อให้ได้ 4 คะแนน คือ มีเครื่องมือวัดน้ำและควบคุมน้ำอยู่ในเกณฑ์ดีเยี่ยม มีการใช้งานอย่างเหมาะสมและมีการบันทึกข้อมูล	- สำรวจจุดวัดทั้งหมด - ติดตั้งเกจระดับ/รางวัดชั่วคราวและเครื่องวัดอัตราการไหลในจุดวิกฤต; สอบเทียบพื้นฐาน - จัดทำฟอร์มบันทึก/QA (Quality Assurance) ทดลองโทรมาตร 3-5 จุด	ฝึกอบรมเจ้าหน้าที่ภาคสนามให้มีความรู้และทักษะในการตรวจวัดน้ำ พร้อมติดตั้งมาตรวัดน้ำอย่างง่าย (Staff Gauge) และทำการสอบเทียบอาคาร

ตารางที่ 2 แนวทางการปรับปรุงระบบคลองส่งน้ำกำหนดแผนระยะสั้น 0-5 ปี โดยเป้าหมายตามเกณฑ์การประเมินทฤษฎี RAP. ร่วมกับ ChatGPT plugin และ Gemini Gems (ต่อ)

ดัชนี	เป้าหมายตามเกณฑ์การประเมิน RAP.	ChatGPT plugin	Gemini Gems
2. อ่างพักน้ำกลางคลอง	ปรับปรุงเพื่อให้ได้ 4 คะแนน คือ - ที่ตั้งเหมาะสม และมีจำนวนเพียงพอ - ประสิทธิผลการใช้งานความเหมาะสมของความจุอ่างพักน้ำ และการบำรุงรักษาอยู่ในเกณฑ์ ดีเยี่ยม	- คัดเลือกตำแหน่งคอขวด - สร้างอ่างพัก/ฝายยาง/ ฝายขนาดเล็ก 2-4 จุด นำร่อง - จัดทำคู่มือเปิด-ปิดและการบำรุงรักษา	ไม่มีข้อเสนอแนะ
3. ความสามารถในการระบายน้ำของอาคารรับ-ส่งน้ำ ของคลองซอยไปสู่คลองระดับถัดลงไป	ปรับปรุงเพื่อให้ได้ 4 คะแนน คือ ไม่มีปัญหาในการระบายน้ำที่อัตราการไหลสูงสุด	- สำรวจอาคาร+ล้างตะกอน - ซ่อมบาน/ทางน้ำเข้า-ออก - จัดทำป้ายรหัสทุกบาน - ทำแผนจัดการ รายไตรมาส และทดสอบจ่ายจริง	ไม่มีข้อเสนอแนะ
4. ดัชนีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ	ปรับปรุงเพื่อให้ได้ 4 คะแนน คือ การเปลี่ยนแปลงระดับต่ำกว่า 10 เซนติเมตร	- กำหนด set-point ระดับรายช่วง - กำหนดเกณฑ์ควบคุมความเร็ว - ประสานคิวสูบน้ำ - ใช้บานปรับมือ อาคารอัดน้ำกลางคลองชั่วคราวในตอนวิกฤต	ไม่มีข้อเสนอแนะ
5. ข้อสังเกตเกี่ยวกับการมีกาลักน้ำและท่อผี (ท่อลักลอบสูบน้ำที่ไม่ได้รับอนุญาต)	ปรับปรุงเพื่อให้ได้ 4 คะแนน คือ ไม่พบเหตุการณ์ที่เกษตรกรหรือกลุ่มเกษตรกรติดตั้งท่อผี (ท่อลักลอบสูบน้ำที่ไม่ได้รับอนุญาต)	- สำรวจ-ทำทะเบียนจุดเชื่อมต่อทั้งหมด - ปิดท่อผิดกฎหมาย - ช่องร้องเรียน - มาตรการลงโทษแบบมีเงื่อนไข+ทางเลือกจุดรับน้ำมาตรฐาน	ไม่มีข้อเสนอแนะ
6. กลุ่มผู้ใช้น้ำ	ปรับปรุงเพื่อให้ได้ 4 คะแนน คือ - กลุ่มผู้ใช้น้ำที่มีความเข้มแข็งซึ่งจะมีอิทธิพลจนทำให้การส่งน้ำได้ตรงเวลา - หาบุคคลภายนอกมาช่วยในการบังคับใช้กฎระเบียบต่าง ๆ - จัดตั้งตามกฎหมายมีอำนาจเกี่ยวกับเรื่องภาษีการถือเงิน การบอกเลิกการจ้างลูกจ้าง การคัดค้านเรื่องที่ดิน และเป็นเจ้าของ	- สร้างข้อตกลงระดับชุมชนด้านน้ำ - จัดสรรคิวน้ำร่วมกับโครงการ - สร้างช่องสื่อสารดิจิทัล (Line OA/แอปพลิเคชัน)	ไม่มีข้อเสนอแนะ

ตารางที่ 2 แนวทางการปรับปรุงระบบคลองส่งน้ำกำหนดแผนระยะสั้น 0-5 ปี โดยเป้าหมายตามเกณฑ์การประเมินทฤษฎี RAP. ร่วมกับ ChatGPT plugin และ Gemini Gems (ต่อ)

ดัชนี	เป้าหมายตามเกณฑ์การประเมิน RAP.	ChatGPT plugin	Gemini Gems
	อาคาร โดยกฎหมายใช้ได้ในศาล - มีอำนาจในการเก็บภาษี เก็บค่าน้ำ และกู้เงิน		
7. ร้อยละของค่าดำเนินงานและบำรุงรักษาของโครงการซึ่งรวมของกลุ่มผู้ใช้น้ำที่มีการเก็บจากกลุ่มผู้ใช้น้ำทั้งในรูปของแรงงานหรือค่าน้ำ	ปรับปรุงเพื่อให้ได้ 4 คะแนน คือ ร้อยละ 90 ขึ้นไป	- เปิดบัญชีโปร่งใส - ทดลอง e-Payment/QR - แรงงานชุมชนเป็นเครดิต	จัดทำแผนบำรุงรักษาเชิงป้องกัน และแผนการซ่อมแซมตามลำดับความสำคัญ

ตารางที่ 3 แนวทางการปรับปรุงระบบคลองส่งน้ำกำหนดแผนระยะกลาง 5-10 ปี โดยเป้าหมายตามเกณฑ์การประเมินทฤษฎี RAP. ร่วมกับ ChatGPT plugin และ Gemini Gems

ดัชนี	เป้าหมายตามเกณฑ์การประเมิน RAP.	ChatGPT plugin	Gemini Gems
1. การวัดปริมาตรน้ำ	ปรับปรุงเพื่อให้ได้ 4 คะแนน คือ มีเครื่องมือวัดน้ำและควบคุมน้ำอยู่ในเกณฑ์ดีเยี่ยม มีการใช้งานอย่างเหมาะสมและมีการบันทึกข้อมูล	- ขยายโทรมาตรครอบคลุมร้อยละ 60-80 จุดส่งน้ำ - ทำ Rating curve คือเก็บข้อมูลอัตราการไหล + ระดับน้ำเพื่อนำไปคำนวณปริมาณน้ำ - สร้างศูนย์ข้อมูลกลางพร้อมแดชบอร์ดและแจ้งเตือน - ตรวจทวนข้อมูลรายไตรมาส	นำเทคโนโลยีสมัยใหม่มาใช้ เช่น ระบบ SCADA และ GIS เพื่อติดตามและประเมินผลการส่งน้ำอย่างเป็นระบบ
2. อ่างพักน้ำกลางคลอง	ปรับปรุงเพื่อให้ได้ 4 คะแนน คือ - ที่ตั้งเหมาะสม และมีจำนวนเพียงพอ - ประสิทธิผลการใช้งาน ความเหมาะสมของความจุอ่างพักน้ำ และการบำรุงรักษาอยู่ในเกณฑ์ ดีเยี่ยม	- ขยายเป็นช่องน้ำตามช่วงคลอง - ติดเซ็นเซอร์วัดระดับ และตะกอน - จัดทำแผนขุดลอกเชิงปริมาณรายปี	ทำการศึกษาความเหมาะสม ออกแบบ และก่อสร้างอ่างพักน้ำในตำแหน่งที่เหมาะสมตามแนวคลอง เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการลดความผันผวนของน้ำในระบบ (Buffer) ทำให้การบริหารจัดการน้ำมีความยืดหยุ่นและน่าเชื่อถือมากขึ้น
3. ความสามารถในการระบายน้ำของอาคารรับ-ส่งน้ำ ของ	ปรับปรุงเพื่อให้ได้ 4 คะแนน คือ ไม่มีปัญหาในการระบายน้ำที่อัตราการไหลสูงสุด	- อัพเกรดเป็นบานควบคุมอัตราการไหลกึ่งอัตโนมัติ ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 50 - ติดมิเตอร์ขาออก	ติดตั้งระบบอัตโนมัติ: ลงทุนติดตั้งระบบควบคุมบานระบายน้ำอัตโนมัติ (Automatic Gate) ในจุดสำคัญ เพื่อลดภาระงานของเจ้าหน้าที่และเพิ่มความแม่นยำในการควบคุมน้ำ

ตารางที่ 3 แนวทางการปรับปรุงระบบคลองส่งน้ำกำหนดแผนระยะกลาง 5-10 ปี โดยเป้าหมายตามเกณฑ์การประเมินทฤษฎี RAP. ร่วมกับ ChatGPT plugin และ Gemini Gems (ต่อ)

ดัชนี	เป้าหมายตามเกณฑ์การประเมิน RAP.	ChatGPT plugin	Gemini Gems
คลองซอยไปสู่คลองระดับถัดลงไป		- จัดทำเอกสารกำหนดขั้นตอนทำงานอย่างเป็นระบบ และข้อมูลอะไหล่สำรอง - บันทึกผลหลังซ่อม	
4. ดัชนีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ	ปรับปรุงเพื่อให้ได้ 4 คะแนน คือ การเปลี่ยนแปลงระดับต่ำกว่า 10 เซนติเมตร	ระบบควบคุมอัตโนมัติแบบ PID ในช่วงสำคัญ ร้อยละ 50-70 - เซ็นเซอร์ระดับทุกตอน เพื่อแจ้งเตือนระดับน้ำเกินกว่ามาตรฐาน	วางแผนออกแบบและก่อสร้างใหม่ ปรับเปลี่ยนอาคารบังคับน้ำเดิมที่เป็นแบบบานตรง ซึ่งควบคุมได้ยาก ให้เป็นแบบฝายน้ำล้น หรือแบบผสม ที่รักษาระดับน้ำได้คงที่และใช้งานง่ายกว่า
5. ข้อสังเกตเกี่ยวกับการมีกาลักน้ำและท่อผี (ท่อลักลอบสูบน้ำที่ไม่ได้รับอนุญาต)	ปรับปรุงเพื่อให้ได้ 4 คะแนน คือ ไม่พบเหตุการณ์ที่เกษตรกรหรือกลุ่มเกษตรกรติดตั้งท่อผี (ท่อลักลอบสูบน้ำที่ไม่ได้รับอนุญาต)	- สร้างกรอบแนวทางการป้องกันโครงสร้างคลองและแนวทางปฏิบัติกฎหมาย - ป้ายระบุตัวตนอิเล็กทรอนิกส์ที่มีชิป + เสาอากาศให้ทุกอาคารรับ-ส่งน้ำ - ใช้โดรน/กล้องเฝ้าระวัง	ใช้โดรนในการสำรวจเพื่อลดปัญหาท่อผี (ท่อลักลอบสูบน้ำที่ไม่ได้รับอนุญาต)
6. กลุ่มผู้ใช้น้ำ	ปรับปรุงเพื่อให้ได้ 4 คะแนน คือ - กลุ่มผู้ใช้น้ำที่มีความเข้มแข็งซึ่งจะมีอิทธิพลจนทำให้การส่งน้ำได้ตรงเวลา - หาบุคคลภายนอกมาช่วยในการบังคับใช้กฎระเบียบต่าง ๆ - จัดตั้งตามกฎหมายมีอำนาจเกี่ยวกับเรื่องภาษีการถือเงิน การบอกเลิกการจ้างลูกจ้าง การคัดค้านเรื่องที่ดิน และเป็นเจ้าของอาคาร โดยกฎหมายใช้ได้ในศาล - มีอำนาจในการเก็บภาษีเก็บค่าน้ำ และกู้เงิน	- จดทะเบียนนิติบุคคล/สหกรณ์น้ำธรรมาภิบาล-บัญชีโปร่งใส - จัดทำหลักสูตรอบรมต่อเนื่องและเสริมหลักกลไกจูงใจ รวมถึงลงโทษ	- จัดตั้งกองทุนพัฒนากลุ่มผู้ใช้น้ำ - สร้างข้อตกลงการใช้น้ำ ที่ชัดเจนระหว่างโครงการและกลุ่มผู้ใช้น้ำ
7. ร้อยละของค่าดำเนินงานและบำรุงรักษาของโครงการซึ่งรวมของกลุ่มผู้ใช้น้ำที่มีการเก็บจากกลุ่มผู้ใช้น้ำทั้งในรูปของแรงงานหรือค่าน้ำ	ปรับปรุงเพื่อให้ได้ 4 คะแนน คือ ร้อยละ 90 ขึ้นไป	- จัดทำบัญชีครอบคลุมการจัดเก็บร้อยละ 60-80 - เชื่อมต่อข้อมูลวัดปริมาตรน้ำ - รายงานสาธารณะรายไตรมาส - ตั้ง KPI การชำระเงิน	ไม่มีข้อเสนอแนะ

ตารางที่ 4 แนวทางการปรับปรุงระบบคลองส่งน้ำกำหนดแผนระยะยาว 10 ปีขึ้นไป โดยเป้าหมายตามเกณฑ์การประเมินทฤษฎี RAP. ร่วมกับ ChatGPT plugin และ Gemini Gems

ดัชนี	เป้าหมายตามเกณฑ์การประเมิน RAP.	ChatGPT plugin	Gemini Gems
1. การวัดปริมาตรน้ำ	ปรับปรุงเพื่อให้ได้ 4 คะแนน คือ มีเครื่องมือวัดน้ำและควบคุมน้ำอยู่ในเกณฑ์ดีเยี่ยม มีการใช้งานอย่างเหมาะสมและมีการบันทึกข้อมูล	- วัดปริมาตรน้ำให้ครอบคลุมร้อยละ 100 - เชื่อมระบบ MIS/AI ตรวจผิดปกติและสมดุลน้ำรายวัน - ใช้ปริมาตรเป็นฐานจัดสรร/คิดค่าบริการ - เปิดข้อมูลสาธารณะ	ไม่มีข้อเสนอแนะ
2. อ่างพักน้ำกลางคลอง	ปรับปรุงเพื่อให้ได้ 4 คะแนน คือ - ที่ตั้งเหมาะสม และมีจำนวนเพียงพอ - ประสิทธิผลการใช้งานความเหมาะสมของความจุอ่างพักน้ำ และการบำรุงรักษาอยู่ในเกณฑ์ ดีเยี่ยม	- เชื่อมโยงข้อมูลอ่างพักน้ำทุกช่วง กับการควบคุมเชิงคาดการณ์ (MPC) - เพิ่มความจุยืดหยุ่นกับพื้นที่ - บูรณาการกับอ่างต้นน้ำ พร้อมจัดทำผังภูมิน้ำทั้งระบบ	- สร้างเครือข่ายอ่างพักน้ำ - ก่อสร้างอ่างพักน้ำในจุดสำคัญต่าง ๆ ทั่วทั้งโครงการ เพื่อทำหน้าที่รองรับความผันผวนของน้ำ ทำให้สามารถบริหารจัดการน้ำแบบยืดหยุ่นและตอบสนองต่อความต้องการที่หลากหลายของเกษตรกรได้อย่างเต็มศักยภาพ
3. ความสามารถในการระบายน้ำของอาคารรับ-ส่งน้ำ ของคลองซอยไปสู่คลองระดับถัดลงไป	ปรับปรุงเพื่อให้ได้ 4 คะแนน คือ ไม่มีปัญหาในการระบายน้ำที่อัตราการไหลสูงสุด	- ความสามารถในการระบายน้ำของ อาคารรับ-ส่งน้ำ เต็มศักยภาพรูปแบบอัตโนมัติ (RTU/SCADA) - บำรุงรักษาจากการคาดการณ์และเชื่อมกับระบบควบคุมระดับอัตโนมัติทั้งคลอง	ไม่มีข้อเสนอแนะ
4. ดัชนีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ	ปรับปรุงเพื่อให้ได้ 4 คะแนน คือ การเปลี่ยนแปลงระดับต่ำกว่า 10 เซนติเมตร	- สร้างตัวควบคุมด้วย Model Predictive Control ทั้งสายคลอง - เชื่อมโยงข้อมูลกับอ่างพักและเขื่อนต้นน้ำ เพื่อลดความผันผวนต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดอย่างยั่งยืน	ปรับปรุงโครงสร้างอาคารบังคับน้ำทั้งระบบ: ดำเนินโครงการปรับปรุงอาคารบังคับน้ำทั้งหมดในคลองสายหลัก คลองซอย และคลองแยกซอย ให้เป็นระบบอัตโนมัติหรือกึ่งอัตโนมัติที่ควบคุมจากส่วนกลาง เพื่อให้สามารถบริหารจัดการน้ำได้อย่างละเอียดและแม่นยำทั่วทั้งโครงการ
5. ข้อสังเกตเกี่ยวกับการมีกาลักน้ำและท่อผี (ท่อลักลอบสูบน้ำที่ไม่ได้รับอนุญาต)	ปรับปรุงเพื่อให้ได้ 4 คะแนน คือ ไม่พบเหตุการณ์ที่เกษตรกรหรือกลุ่มเกษตรกรติดตั้งท่อผี (ท่อลักลอบสูบน้ำที่ไม่ได้รับอนุญาต)	- จัดตั้งศูนย์ควบคุมเฝ้าระวังเรียลไทม์ทั้งระบบ - ตั้งเป้าหมาย Zero-Ghost-Pipe พร้อมตรวจติดตามต่อเนื่อง	ไม่มีข้อเสนอแนะ
6. กลุ่มผู้ใช้น้ำ	ปรับปรุงเพื่อให้ได้ 4 คะแนน คือ - กลุ่มผู้ใช้น้ำที่มีความเข้มแข็งซึ่งจะมีอิทธิพลจนทำให้การส่งน้ำได้ตรงเวลา - หาบุคคลภายนอกมาช่วย	- บริหารสัญญาบริการน้ำและสิทธิการใช้น้ำ โดยกลุ่มมีบทบาทร่วมกำหนดค่าใช้บริการ/แผนลงทุนระยะยาว	ไม่มีข้อเสนอแนะ

ตารางที่ 4 แนวทางการปรับปรุงระบบคลองส่งน้ำกำหนดแผนระยะยาว 10 ปีขึ้นไป โดยเป้าหมายตามเกณฑ์การประเมินทฤษฎี RAP. ร่วมกับ ChatGPT plugin และ Gemini Gems (ต่อ)

ดัชนี	เป้าหมายตามเกณฑ์การประเมิน RAP.	ChatGPT plugin	Gemini Gems
	ในการบังคับใช้กฎระเบียบต่าง ๆ - จัดตั้งตามกฎหมาย มีอำนาจเกี่ยวกับเรื่องภาษี การถือเงิน การบอกเลิกการจ้างลูกจ้าง การคัดค้านเรื่องที่ดิน และเป็นเจ้าของอาคาร โดยกฎหมายใช้ได้ในศาล - มีอำนาจในการเก็บภาษี เก็บค่าน้ำ และกู้เงิน		
7. ร้อยละของค่าดำเนินงานและบำรุงรักษาของโครงการซึ่งรวมของกลุ่มผู้ใช้น้ำที่มีการเก็บจากกลุ่มผู้ใช้น้ำทั้งในรูปของแรงงานหรือค่าน้ำ	ปรับปรุงเพื่อให้ได้ 4 คะแนน คือ ร้อยละ 90 ขึ้นไป	- จัดทำบัญชีครอบคลุมการจัดเก็บมากกว่าร้อยละ 90 ของต้นทุน ค่าดำเนินงานและบำรุงรักษาจริง - จัดตั้งกองทุนบำรุงรักษาหมุนเวียน และค่าปรับอัตราตามผลการให้บริการ	ไม่มีข้อเสนอแนะ

ผลการประเมินโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาในอดีต

การศึกษานี้ได้เปรียบเทียบผลการประเมินกับโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาในอดีตของไทย จำนวน 29 โครงการ (จากรายงานกรมชลประทาน งานวิจัย และความร่วมมือ FAO) ซึ่งแสดงภาพรวมค่าเฉลี่ยการประเมินโครงการที่ 1.72 คลองสายใหญ่ 1.95 คลองซอย 1.78 คลองแยกซอย 1.52 และผลปฏิบัติงาน 1.44 และแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการประเมินโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาในอดีต

ที่มา	ลำดับ	โครงการที่ได้รับการประเมินในอดีต	ค่าดัชนี				
			ค่าเฉลี่ย	คลองสายใหญ่	คลองซอย	คลองแยกซอย	ผลปฏิบัติงาน
การฝึกอบรมของกรมชลประทาน	1	โครงการฯเขื่อนนเรศวร	1.72	1.66	1.75	1.8	1.62
	2	โครงการฯพลายชุมพล	1.9	2.17	2.17	1.82	1.08
	3	โครงการฯดงเศรษฐี	1.82	2.06	1.92	1.96	0.99
	4	โครงการฯท่าบัว	1.82	2.06	1.92	1.96	0.99
	5	โครงการฯพลเทพ	1.89	2.02	2.08	1.75	1.56
	6	โครงการฯท่าโบสถ์	1.39	1.49	1.72	0.93	1.42
	7	โครงการฯสามชุก	1.78	1.94	1.94	1.67	1.38
	8	โครงการฯโพธิ์พระยา	1.88	2.08	1.88	1.72	1.8

ตารางที่ 5 ผลการประเมินโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาในอดีต (ต่อ)

ที่มา	ลำดับ	โครงการที่ได้รับการประเมินในอดีต	ค่าดัชนี				
			ค่าเฉลี่ย	คลองสายใหญ่	คลองซอย	คลองแยกซอย	ผลปฏิบัติงาน
งานวิจัย/รายงานการศึกษา	1	โครงการฯมโนรมย์	1.34	1.86	1.23	0.91	1.4
	2	โครงการฯช่องแค	1.66	2.18	1.59	1.44	1.26
	3	โครงการฯโคกกระเทียม	1.57	2	1.31	1.14	2.01
	4	โครงการฯเริงราง	1.93	1.94	2.32	1.9	1.25
	5	โครงการฯลำปาว	1.99	2.25	2.11	2.06	1.2
	6	โครงการทุ่งวัดสิงห์	1.44	1.69	1.4	1.4	1.12
	7	โครงการฯพลเทพ	1.72	1.89	1.81	1.75	1.19
งานวิจัย/รายงานการศึกษา	8	โครงการฯท่าโบสถ์	1.68	1.91	1.78	1.59	1.26
	9	โครงการฯกระเสียว	1.88	1.95	1.8	1.77	2.07
	10	นโครงการฯดอนเจดีย์	1.58	1.73	1.59	-	1.29
	11	โครงการฯสามชุก	1.74	2.03	1.86	1.61	1.24
	12	โครงการฯโพธิ์พระยา	1.63	1.86	1.56	1.32	1.9
	13	โครงการฯพนมทวน	1.56	1.86	1.65	1.31	1.31
	14	โครงการฯสองพี่น้อง	2.46	2.97	2.32	1.96	2.71
	15	โครงการฯบางเลน	1.59	1.83	1.77	1.45	1.12
	16	โครงการฯกำแพงแสน	1.64	1.85	1.79	1.41	1.43
	17	โครงการฯนครปฐม	1.79	2.08	1.77	1.75	1.38
	18	โครงการฯหนองหวาย	1.7	1.77	1.65	1.54	1.93
	19	โครงการฯโดมน้อย	1.84	2.11	1.82	1.82	1.45
TCP 3101A	1	โครงการฯเขื่อนเพชรบุรี	1.59	1.75	1.79	1.45	1.18
	2	โครงการฯบรมธาตุ	1.28	1.57	1.25	1.01	1.32
		ค่าสูงสุด	**2.46**	**2.97**	**2.32**	**2.06**	**2.71**
		ค่าเฉลี่ย	**1.72**	**1.95**	**1.78**	**1.52**	**1.44**
		ค่าต่ำสุด	**1.28**	**1.49**	**1.23**	**0.91**	**0.99**

5. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ผลการประเมินโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษามูลบนด้วยกระบวนการ RAP. พบว่าคะแนนรวมเพียง 1.88 จาก 4.0 สะท้อนถึงข้อจำกัดหลายด้าน ได้แก่ การวัดปริมาตรน้ำที่ยังขาดความแม่นยำ ความไม่เพียงพอของอ่างพักน้ำกลางคลอง ความสามารถในการระบายน้ำของอาคารรับ-ส่งน้ำที่เสื่อมสภาพ ความผันผวนของระดับน้ำ รวมทั้งปัญหาการติดตั้งท่อผี (ท่อลักลอบสูบน้ำที่ไม่ได้รับอนุญาต) และความเข้มแข็งขององค์กรผู้ใช้น้ำที่ยังจำกัด

การบูรณาการปัญญาประดิษฐ์ (ChatGPT-5 และ Gemini Pro) เข้ากับ RAP. มีส่วนช่วยยกระดับศักยภาพการวิเคราะห์ โดย AI สามารถประมวลผลข้อมูล วิเคราะห์ข้อจำกัดเชิงโครงสร้างพื้นฐาน การบริหารจัดการ และกลุ่มผู้ใช้น้ำ พร้อมเสนอแนวทางปรับปรุงที่สอดคล้องกับหลักการทางวิศวกรรมและการบริหารจัดการน้ำ เช่น การติดตั้งระบบโทรมาตร และ IoT เพื่อวัดปริมาตรน้ำ การสร้างอ่างพักน้ำอัจฉริยะ การใช้แบบจำลองคาดการณ์เพื่อรักษาระดับน้ำ และการพัฒนาแพลตฟอร์มดิจิทัลสำหรับกลุ่มผู้ใช้น้ำ แนวทางเหล่านี้ช่วยเติมเต็มข้อจำกัดของ RAP. ที่เน้นการประเมินเชิงโครงสร้างและการปฏิบัติ โดยเพิ่มมิติของการวิเคราะห์ข้อมูลแบบเรียลไทม์ และการสนับสนุนการตัดสินใจเชิงระบบ ซึ่งสำหรับระบบชลประทานขอประเทศไทยสามารถที่จะตอบรับการพัฒนาให้เป็นระบบที่ทันสมัย

เก็บข้อมูลและเผยแพร่ข้อมูลแบบเรียลไทม์ได้ แต่สำหรับบางโครงการที่มีเจ้าหน้าที่ไม่ชำนาญด้านเทคโนโลยีอาจจำเป็นที่จะต้องจัดการฝึกอบรมการใช้เทคโนโลยีเบื้องต้น

การบูรณาการร่วมกันของแบบประเมิน RAP. ร่วมกับAI นี้สะท้อนให้เห็นว่า แม้การใช้ AI เพียงอย่างเดียวอาจยังไม่เพียงพอ เนื่องจากต้องอาศัยประสบการณ์ของเจ้าหน้าที่ภาคสนามที่มีความรู้ในด้านงบประมาณที่ชัดเจนแต่ละไตรมาส โดยสามารถวางแผนการซ่อมแซมและปรับปรุงอาคารชลประทาน ซึ่งจำเป็นต้องดูรายละเอียดและปัจจัยด้านอื่นๆร่วมด้วย เช่น นโยบายของภาครัฐ การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัย แนวโน้มการปรับเปลี่ยนรูปแบบการเพาะปลูก เป็นต้น โดยรายละเอียดเหล่านี้เป็นข้อมูลที่ได้จากประสบการณ์ ไม่ได้มีหลักการเชิงทฤษฎีที่แน่นอน อาจทำให้การใช้ชุดคำสั่งเป็นไปได้ยากกับปัญญาประดิษฐ์ในเวอร์ชันปัจจุบัน แต่การผสาน RAP. กับ AI สามารถเป็นกรอบการทำงานใหม่ที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและความยั่งยืนของระบบชลประทานในประเทศไทย และยังสอดคล้องกับแผนแม่บทการจัดการทรัพยากรน้ำ 20 ปี (สำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ, 2561) ที่มุ่งเน้นการใช้เทคโนโลยี และการมีส่วนร่วมของผู้ใช้น้ำเพื่อเพิ่มศักยภาพการแข่งขันและความมั่นคงทางน้ำของประเทศในระยะยาว

6. เอกสารอ้างอิง

โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษามูลบน. (2566). *เอกสารประกอบการประเมินการพัฒนาคุณภาพการบริหารจัดการโครงการชลประทานประจำปี 2565*. สำนักงานชลประทานที่ 8 กรมชลประทาน.

สมจิตฐิพงศ์ อำนาจศาล. (2564). *การศึกษาวิเคราะห์ปัจจัยความสำเร็จและผลกระทบต่อประสิทธิภาพการชลประทานของการบริหารจัดการน้ำในรูปแบบเครือข่ายส่งเสริมการมีส่วนร่วม กรณีศึกษาอ่างเก็บน้ำดอยงู จ.เชียงราย.* สำนักงานชลประทานที่ 2 กรมชลประทาน.

สำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ. (2561). *แผนแม่บทการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ 20 ปี (พ.ศ. 2561-2580)*. http://www.onwr.go.th/?page_id=4174

อมรเทพ เจริญสุข, สมชาย ดอนเจดีย์, ไชยาพงษ์ เทพประสิทธิ์, และเกศวรา สิทธิโชค. (2565). การประเมินความเหมาะสมในการปรับปรุงโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาท่ามะกาด้วยเทคนิคการประเมินผลอย่างรวดเร็ว. *รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 19.* (น. 459-463). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

อรรณพ ขันติธรรมพัฒนา, ธเนศร์ สมบูรณ์, และไชยาพงษ์ เทพประสิทธิ. (2560). การประเมินโครงการสูบน้ำทุ่งวัดสิงห์โดยใช้วิธีการประเมินแบบเร่งด่วน. *รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 14*. (น. 216-226). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

อุรินทร์ โสตรโยม, และวราวุธ วุฒิวณิชย์. (2550). การประเมินผลโครงการชลประทานอ่างเก็บน้ำพระปรง โดยวิธีการประเมินแบบรวดเร็ว. *รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 4*. (น. 344-351). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

อุรินทร์ โสตรโยม และวราวุธ วุฒิวณิชย์. (2554). การใช้วิธีประเมินโครงการอย่างรวดเร็ว เพื่อวิเคราะห์หาแนวทางการปรับปรุงการบริหารงานส่งน้ำของระบบส่งน้ำ 2 ซ้าย โครงการชลประทานแม่กลองใหญ่. *วิทยาสารกำแพงแสน, 9*(1), 41-52.

Brown, T. B., Mann, B., Ryder, N., Subbiah, M., Kaplan, J., Dhariwal, P., Neelakantan, A., Shyam, P., Sastry, G., Askell, A., Agarwal, S., Herbert-Voss, A., Krueger, G., Henighan, T., Child, R., Ramesh, A., Ziegler, D. M., Wu, J., Winter, C., . . . Amodei, D. (2020). *Language models are few-shot learners*. arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2005.14165

Burt, C. M. (2001). *Rapid appraisal process (RAP) and benchmarking (Report R 01-008)*. Irrigation Training and Research Center, California Polytechnic State University. https://digitalcommons.calpoly.edu/bae_fac/32

Demeter ICT. (2024, December 11). *Gem in Gemini คืออะไร? อยากใช้ Gemini แบบ Personalized ต้องลอง!* https://dmit.co.th/th/google-workspace-updates-th/gem-in-gemini/

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (1997). *Rapid appraisal procedures (RAP) for irrigation performance assessment: Manual (Thai version)*. FAO Regional Office for Asia and the Pacific.

Gemini Team. (2025). *Gemini 2.5: Pushing the frontier with advanced reasoning, multimodality, long context, and next-generation agentic capabilities*. arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2507.06261

McHugh-Johnson, M. (2024, September 5). *5 tips on getting started with Gems, your custom AI experts. Google: The Keyword*. https://blog.google/products/gemini/google-gems-tips/

OpenAI. (2023). *ChatGPT plugins*. https://openai.com/index/chatgpt-plugins/

OpenAI. (2025, August 7). *Introducing GPT-5 for developers*. https://openai.com/index/introducing-gpt-5-for-developers/

Ray, S. S., Peddinti, P. R. T., Verma, R. K., Puppala, H., Kim, B., Singh, A., & Kwon, Y.-N. (2023). Leveraging ChatGPT plugin and Bard: What does it convey for water treatment/desalination and harvesting sectors? *Desalination, 570*, Article 117085. https://doi.org/10.1016/j.desal.2023.117085

Wongtragoon, U., & Suwanmaneepong, S. (2017). Evaluating the irrigation efficiency using Rapid Appraisal Process Technique (RAP) in a large scale irrigation, case study: Mae Lao Operation and Maintenance Project and Chiang Rai Irrigation Project, Thailand. *International Journal of Agricultural Technology, 13*(7.2), 1735-1748.

Vudhivanich, V. (2008). *Policies and strategic planning for the Thailand Irrigation Sector Reform Programme*. Department of Water Resources Engineering, Kasetsart University. https://eng.kps.ku.ac.th/irre/rreport/pdf/Design%20and%20operation%20ISRP.pdf

Weidinger, L., Mellor, J., Rauh, M., Griffin, C., Uesato, J., Huang, P.-S., Cheng, M., Glaese, M., Balle, B., Kasirzadeh, A., Kenton, Z., Brown, S., Hawkins, W., Stepleton, T., Biles, C., Birhane, A., Haas, J., Rimell, L., Hendricks, L. A., . . . Gabriel, I. (2021). *Ethical and social risks of harm from language models*. arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2112.04359

การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันการเทียบโอนรายวิชาหลักสูตรเทคโนโลยีสารสนเทศและเศรษฐกิจดิจิทัล

อำนาจ สวัสดิ์นะที[1], พินทุสร ปัสนะจะโน[2*], ชุติเทพ ตันประเสริฐ[2] และศุภกฤต ชลีชล[2]

[1] สาขาวิชามัลติมีเดียและอีสปอร์ต คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
[2] หลักสูตรเทคโนโลยีสารสนเทศและเศรษฐกิจดิจิทัล คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันการเทียบโอนรายวิชาระหว่างสถาบันการศึกษายังคงมีข้อจำกัดทั้งในด้านความสะดวกและความรวดเร็ว ซึ่งทำให้นักศึกษาที่ต้องการย้ายสถาบันหรือขยายขอบเขตการศึกษามีความยุ่งยากในการทำกระบวนการนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในหลักสูตรเทคโนโลยีสารสนเทศและเศรษฐกิจดิจิทัล เพื่อให้การเทียบโอนรายวิชามีความสะดวกและแม่นยำมากยิ่งขึ้น โครงการนี้จึงพัฒนาเว็บแอพพลิเคชั่นที่ช่วยให้ผู้ใช้สามารถเทียบโอนรายวิชาจากหลายสถาบันได้อย่างรวดเร็ว โดยการบูรณาการข้อมูลและการตรวจสอบความสามารถในการโอนรายวิชาผ่านระบบออนไลน์ ระบบที่พัฒนาขึ้นจะประกอบไปด้วยฟังก์ชันการเข้าสู่ระบบเพื่อทำการเทียบโอนรายวิชา การอนุมัติและตรวจสอบการเทียบโอน รวมถึงการบันทึกข้อมูลการเทียบโอนในฐานข้อมูลเพื่อการอ้างอิงในอนาคต โดยผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ทั้งบนคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์เคลื่อนที่ วัตถุประสงค์ของโครงการนี้คือการปรับปรุงกระบวนการเทียบโอนรายวิชาให้รวดเร็วและแม่นยำ เพิ่มความสะดวกในการใช้งาน และช่วยประหยัดเวลาในการดำเนินการเทียบโอนรายวิชา นอกจากนี้ยังสามารถรองรับการจัดการข้อมูลจากหลายประเภทของผู้ใช้งาน ทั้งแอดมิน อาจารย์ นักศึกษา และเจ้าหน้าที่ เพื่อให้กระบวนการทั้งหมดดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: การเทียบโอนรายวิชา เว็บแอพพลิเคชั่น เทคโนโลยีสารสนเทศและเศรษฐกิจดิจิทัล

** ผู้รับผิดชอบบทความ : pinthusorn.p@rmutsb.ac.th*

***รับบทความ**: 20 ตุลาคม 2568* ***แก้ไขเสร็จ:** 27 มกราคม 2569* ***ตอบรับบทความ**: 10 กุมภาพันธ์ 2569*

Web Application Development of Information Technology and Digital Economy for Credit Transfer Course

Amnat Sawasnatee[1], Pinthusorn Pasanajano[2*], Chutithep Tanprasert[2] and Supakrit Chaleechon[2]

[1] Department of Multimedia and E-Sport, Faculty of Science, Chandrakasem Rajabhat University

[2] Program of Information Technology and Digital Economy, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

Abstract

Currently, the process of credit transfer between educational institutions still faces limitations in terms of convenience and speed. This causes difficulties for students who wish to transfer between institutions or expand their educational opportunities. This is especially true for programs in Information Technology and Digital Economy. To make the credit transfer process more convenient and accurate, this project has developed a web application that allows users to quickly compare and transfer courses between multiple institutions. The system integrates course data and verifies eligibility for credit transfer through an online platform. The developed system includes features such as user login to initiate the credit transfer process, approval and verification of course transfers, as well as storing transfer records in a database for future reference. Users can access the system via both computers and mobile devices. The objectives of this project are to improve the speed and accuracy of the credit transfer process, enhance user convenience, and save time in handling course transfers. Additionally, the system supports data management for different types of users including administrators, instructors, students, and staff to ensure the entire process operates efficiently.

Keywords: Credit transfer, Web application, Information Technology and Digital Economy

** Corresponding author: pinthusorn.p@rmutsb.ac.th*

***Received**: 20 October 2025* ***Revised:** 27 January 2026* ***Accepted**: 10 February 2026*

1. บทนำ

การเทียบโอนรายวิชาระหว่างสถาบันการศึกษาต่าง ๆ เป็นกระบวนการที่สำคัญสำหรับนักศึกษาที่ต้องการย้ายสถาบันหรือขยายขอบเขตการศึกษาของตนเอง โดยเฉพาะในสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและเศรษฐกิจดิจิทัล ซึ่งเป็นสาขาที่มีการเปลี่ยนแปลงและพัฒนาอย่างรวดเร็ว การที่นักศึกษาสามารถย้ายสถาบันหรือรับการเทียบโอนรายวิชาได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว จะช่วยลดระยะเวลาการศึกษาของนักศึกษาและเพิ่มโอกาสในการเรียนรู้เนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับตลาดงานอย่างทันสมัย ซึ่งในปัจจุบันกระบวนการเทียบโอนรายวิชายังคงมีข้อจำกัดในหลาย ๆ ด้าน เช่น ข้อจำกัดในการรับรู้ข้อมูลการเทียบโอนระหว่างสถาบัน ความไม่แน่นอนในเรื่องการรับรองรายวิชาที่เรียนแล้วจากสถาบันใหม่ รวมถึงความยุ่งยากในการกรอกข้อมูลและการตรวจสอบสถานะของรายวิชาในการเทียบโอน

เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว ผู้จัดทำได้พัฒนาเว็บแอพพลิเคชั่นการเทียบโอนรายวิชาหลักสูตรเทคโนโลยีสารสนเทศและเศรษฐกิจดิจิทัล มีเป้าหมายในการพัฒนาแพลตฟอร์มที่สามารถอำนวยความสะดวกให้กับนักศึกษาในการเทียบโอนรายวิชา โดยสร้างระบบที่สามารถเชื่อมโยงข้อมูลการศึกษาจากหลายสถาบันที่เปิดสอนหลักสูตรเดียวกันหรือใกล้เคียงกันไว้ในที่เดียว นักศึกษาจะสามารถกรอกข้อมูลรายวิชาที่ได้เรียนมา และระบบจะทำการคำนวณและแสดงผลว่าแต่ละรายวิชาสามารถเทียบโอนได้หรือไม่ พร้อมทั้งแสดงรายละเอียดเกี่ยวกับการเทียบโอน เช่น คะแนนที่ได้รับ หรือสาขาวิชาที่สามารถเทียบโอนได้ โดยข้อมูลทั้งหมดจะถูกแสดงในรูปแบบที่เข้าใจง่ายและสามารถเข้าถึงได้ทุกที่ทุกเวลา

การใช้เทคโนโลยีเว็บแอพพลิเคชั่นที่ช่วยเพิ่มความสะดวกสบายให้กับผู้ใช้งาน โดยไม่ต้องเดินทางไปยังสถาบันหรือกรอกข้อมูลด้วยมืออีกต่อไป การใช้ระบบออนไลน์ช่วยให้กระบวนการเทียบโอนรายวิชาทำได้ในเวลาอันรวดเร็วและแม่นยำ โดยระบบสามารถรวบรวมข้อมูลจากหลายสถาบันและแสดงผลการเทียบโอนได้ในไม่กี่ขั้นตอน นอกจากนี้ ยังสามารถเชื่อมโยงกับฐานข้อมูลของแต่ละสถาบันเพื่อให้ข้อมูลการเทียบโอนเป็นข้อมูลที่อัปเดตล่าสุดและแม่นยำมากที่สุด

นอกจากการพัฒนาระบบการเทียบโอนรายวิชาที่สะดวกแล้ว ยังมีฟังก์ชันเสริมอื่น ๆ ที่ช่วยให้นักศึกษาสามารถทำการวางแผนการศึกษาได้ง่ายขึ้น เช่น การแนะนำหลักสูตรที่สามารถเลือกเรียนเพื่อให้ได้การเทียบโอนจากสถาบันอื่น หรือการแสดงข้อมูลเกี่ยวกับหลักสูตรที่เปิดสอนในแต่ละปี การพัฒนาเว็บแอพพลิเคชั่นนี้จึงไม่เพียงแต่จะช่วยให้นักศึกษาเทียบโอนรายวิชาได้อย่างสะดวกและแม่นยำ แต่ยังช่วยในการวางแผนการศึกษาของนักศึกษาให้มีความยืดหยุ่นและตอบสนองต่อความต้องการของตลาดงานในยุคดิจิทัลได้อย่างมีประสิทธิภาพ การเทียบโอนรายวิชาด้วยเว็บแอพพลิเคชั่นนี้ยังมีประโยชน์ต่อสถาบันการศึกษา เพราะช่วยให้สถาบันสามารถจัดการข้อมูลนักศึกษาและรายวิชาของตนได้สะดวกยิ่งขึ้น โดยไม่ต้องพึ่งพากระบวนการที่ซับซ้อนหรือใช้เวลาในการตรวจสอบรายวิชาอย่างมาก นอกจากนี้ ยังสามารถปรับปรุงและพัฒนาระบบการเทียบโอนให้สอดคล้องกับหลักสูตรหรือมาตรฐานการศึกษาของสถาบันต่าง ๆ ได้อย่างรวดเร็วและมีความยืดหยุ่น

การพัฒนาเว็บแอพพลิเคชั่นการเทียบโอนรายวิชาหลักสูตรเทคโนโลยีสารสนเทศและเศรษฐกิจดิจิทัลมีเป้าหมายที่จะทำให้กระบวนการเทียบโอนรายวิชาระหว่างสถาบันการศึกษาต่าง ๆ เป็นไปอย่างสะดวก รวดเร็ว และแม่นยำ ซึ่งจะช่วยให้ทั้งนักศึกษาและสถาบันการศึกษาได้รับประโยชน์จากการจัดการที่ดีขึ้น ทั้งในด้านการบริหารจัดการหลักสูตรและการช่วยเหลือนักศึกษาในการวางแผนการศึกษาของตนเองในอนาคต

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 ปรับปรุงกระบวนการเทียบโอนรายวิชา สร้างระบบที่ช่วยให้เทียบโอนรายวิชาเป็นไปอย่างรวดเร็วและถูกต้อง โดยใช้งานได้บนคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์เคลื่อนที่

2.2 เพิ่มความสะดวกในการใช้งาน ให้ผู้ใช้สามารถค้นหาข้อมูลและเทียบโอนรายวิชาจากสถาบันต่าง ๆ ได้

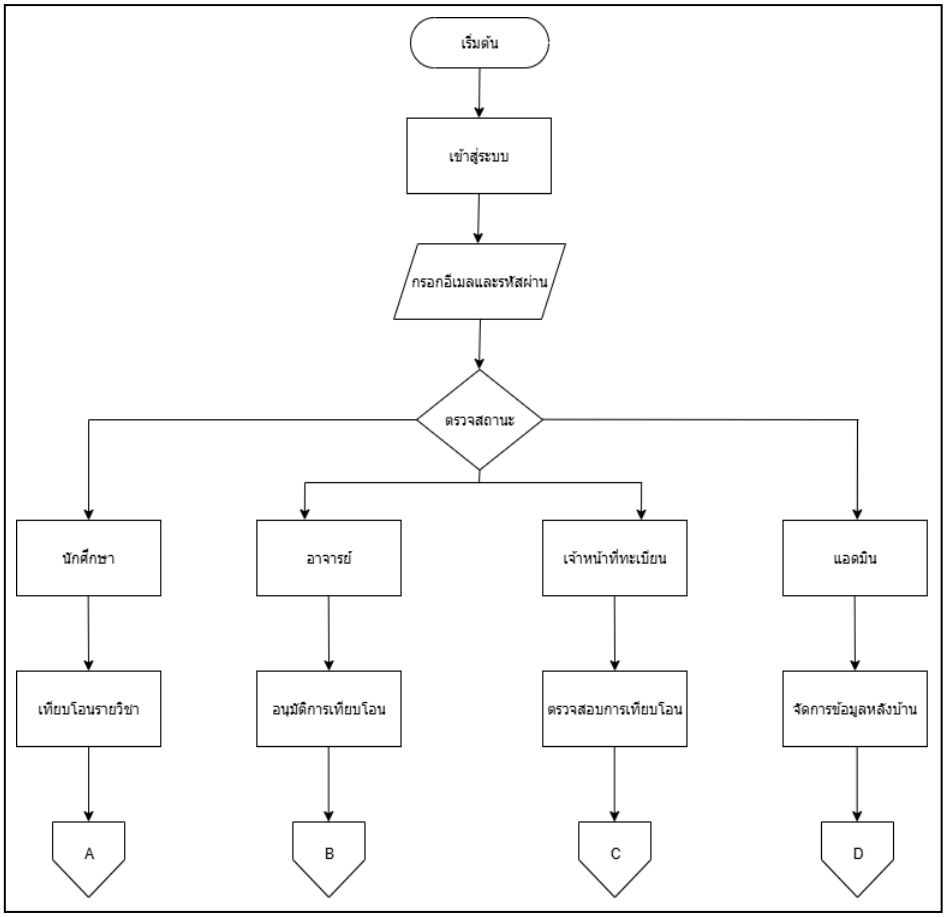
2.3 เพื่อทำการเปรียบเทียบขั้นตอนการทำงานระหว่างระบบเดิมกับระบบปัจจุบันที่กำลังพัฒนา

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันการเทียบโอนรายวิชาหลักสูตรเทคโนโลยีสารสนเทศและเศรษฐกิจดิจิทัล ผู้จัดทำได้นำขั้นตอนวงจรชีวิตการพัฒนาซอฟต์แวร์ (System Development Life Cycle: SDLC) มาใช้ในการพัฒนาระบบ ซึ่งประกอบด้วย การศึกษาความเป็นไปได้ของการพัฒนาระบบเดิม รวมทั้งกำหนดรายละเอียดทางด้านเทคนิค ด้านผู้ใช้งาน แล้วจึงเข้าสู่ขั้นตอนของการออกแบบระบบ เขียนและพัฒนาโปรแกรม ทดสอบระบบ การติดตั้งระบบ ติดตามผลการดำเนินงานและปรับปรุงระบบตามความต้องการของผู้ใช้ โดยที่ผู้จัดทำได้ออกแบบระบบ ดังนี้

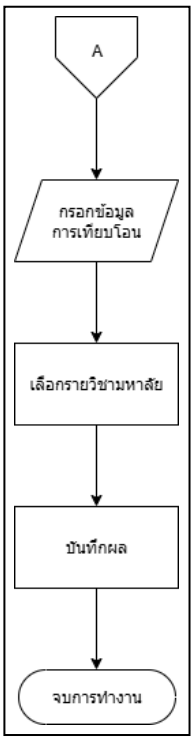
3.1 ผังงาน (Flow Chart)

ผังงาน (Flow Chart) เป็นสัญลักษณ์สากลที่ใช้แทนความหมายของการทำงานแต่ละขั้นตอนของกระบวนการ สัญลักษณ์ที่ใช้ถูกสร้างขึ้นโดยสถาบันแห่งชาติอเมริกัน (The American National Standard Institute: ANSI) เป็นมาตรฐานเดียวกันทั่วโลกเพื่อสื่อความหมายเข้าใจตรงกัน ดังนี้



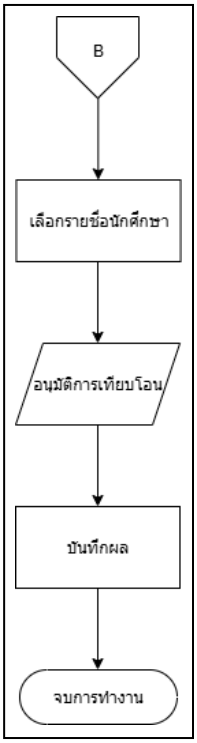
ภาพที่ 1 Flow Chart แสดงการทำงานของเว็บแอปพลิเคชันการเทียบโอนรายวิชาหลักสูตรเทคโนโลยีสารสนเทศและเศรษฐกิจดิจิทัล

จากภาพที่ 1 จะแสดงการทำงานของเว็บแอปพลิเคชันการเทียบโอนรายวิชาหลักสูตรเทคโนโลยีสารสนเทศและเศรษฐกิจดิจิทัล โดยจะเริ่มต้นจากผู้ใช้เข้าสู่ระบบเว็บไซต์โดยการกรอกอีเมลและรหัสผ่าน และระบบจะตรวจสอบสถานะของผู้ใช้งาน หากเป็นแอดมินจะแสดง การจัดการข้อมูลหลังบ้าน หากเป็นอาจารย์ อนุมัติการเทียบโอน หากเป็นนักศึกษาจะแสดงการเทียบโอนรายวิชา และหากเป็นเจ้าหน้าที่ทะเบียนจะแสดงการตรวจสอบการเทียบโอนรายวิชา



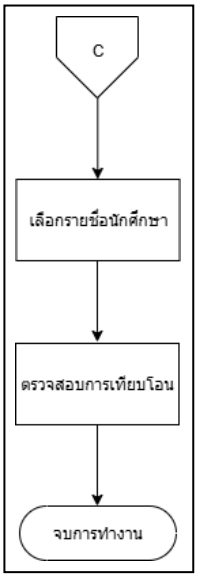
ภาพที่ 2 Flow Chart แสดงการทำงานการเทียบโอนรายวิชา

จากภาพที่ 2 จะแสดงการเทียบโอนรายวิชา เริ่มต้นจากผู้ใช้งานทำการกรอกข้อมูลการเทียบโอนรายวิชา ทำการเลือกรายวิชาจากหลักสูตรเทคโนโลยีสารสนเทศและเศรษฐกิจดิจิทัล และทำการบันทึกผล



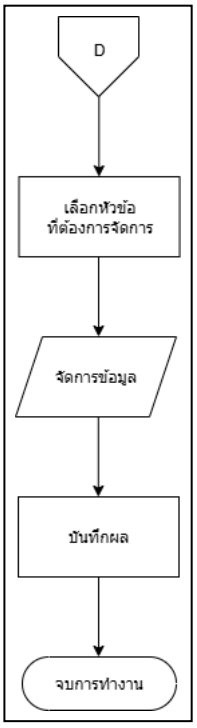
ภาพที่ 3 Flow Chart แสดงการทำงานการอนุมัติการเทียบโอนรายวิชา

จากภาพที่ 3 จะแสดงการอนุมัติการเทียบโอนรายวิชา เริ่มต้นจากผู้ใช้งานทำการเลือกรายชื่อนักศึกษาที่ทำการเทียบโอนรายวิชา ทำการอนุมัติการเทียบโอน และบันทึกผล



ภาพที่ 4 Flow Chart แสดงการทำงานการตรวจสอบการเทียบโอน

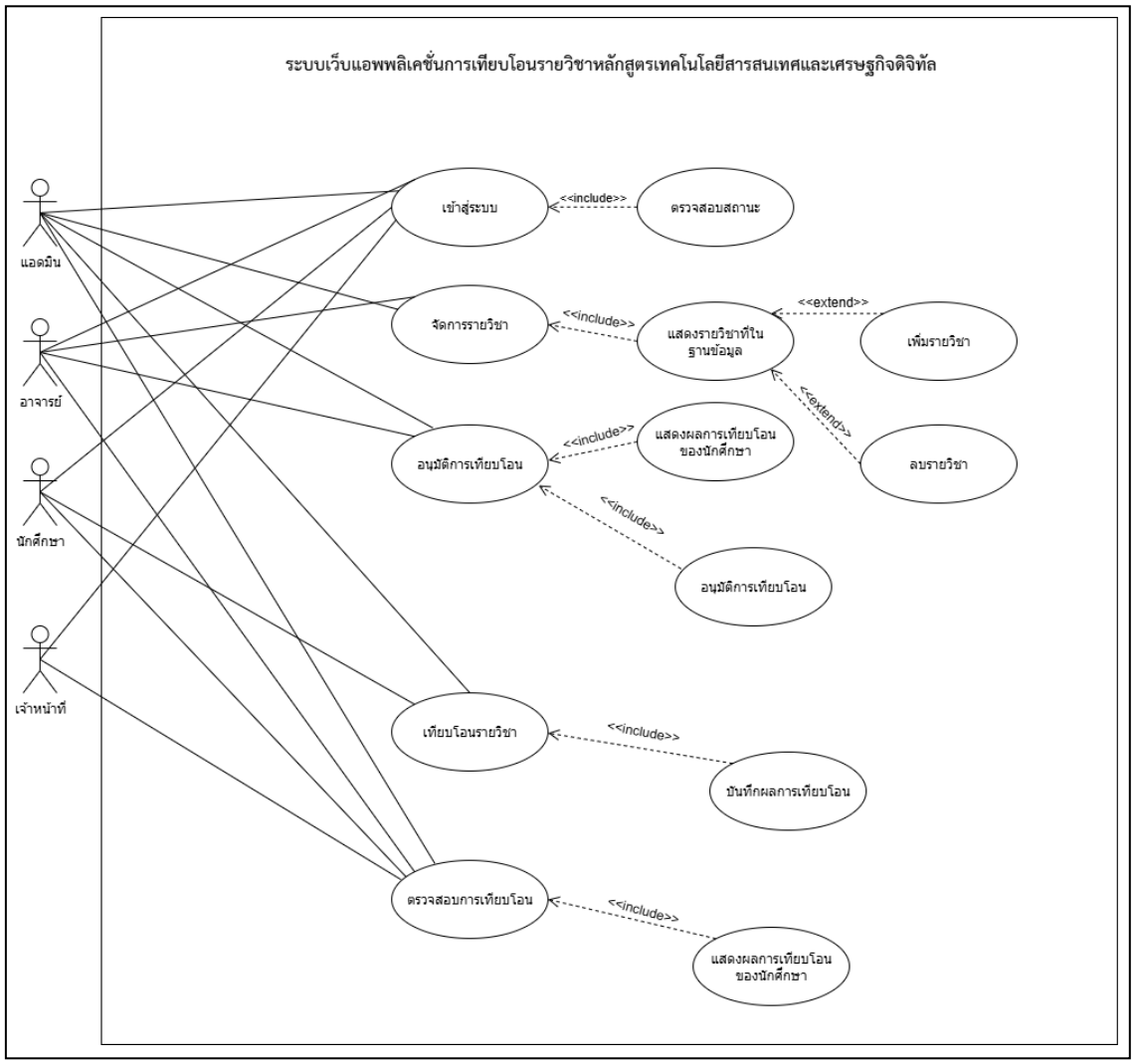
จากภาพที่ 4 จะแสดงการตรวจสอบการเทียบโอน เริ่มต้นจากผู้ใช้งานทำการเลือกรายชื่อนักศึกษาต้องการตรวจสอบ และทำการตรวจสอบเทียบโอน



ภาพที่ 5 Flow Chart แสดงการจัดการข้อมูลหลังบ้าน

จากภาพที่ 5 จะแสดงการจัดการข้อมูลหลังบ้าน เริ่มต้นจากผู้ใช้งานทำการเลือกหัวข้อที่ต้องการจัดการ ทำการจัดการข้อมูลและบันทึกผล

3.2 แผนภาพกรณีการใช้งาน (Use Case Diagram)

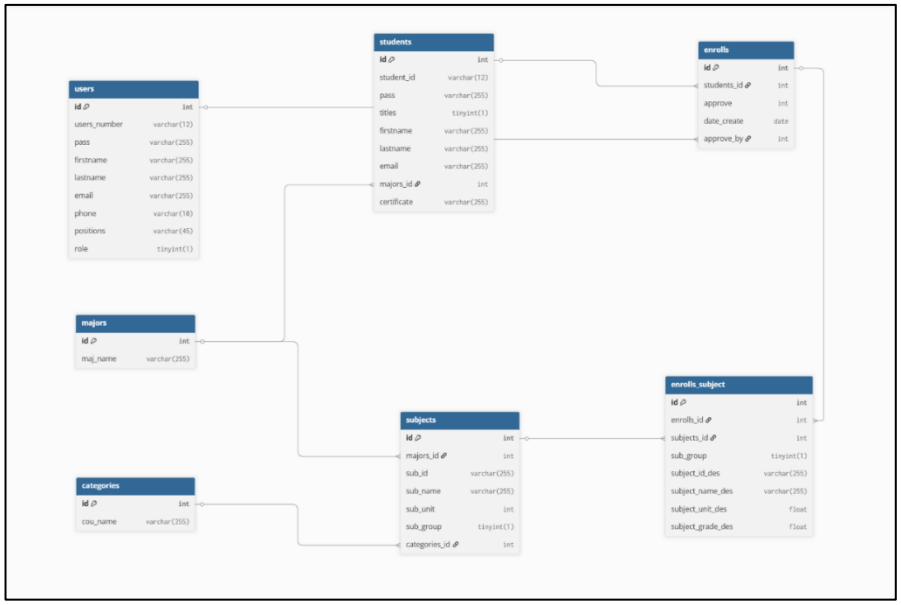


ภาพที่ 6 Use Case Diagram แสดงการทำงานของระบบเว็บแอปพลิเคชันการเทียบโอนรายวิชาหลักสูตรเทคโนโลยีสารสนเทศและเศรษฐกิจดิจิทัล

จากภาพที่ 6 แสดงการทำงานของระบบเว็บแอปพลิเคชันการเทียบโอนรายวิชา ในรูปแบบ Use Case Diagram ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของอาจารย์ นักศึกษาและเจ้าหน้าที่ กับฟังก์ชันการทำงาน ในการจำลองการโต้ตอบในระบบ

3.3 แผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างเอนทิตี้ (Entity Relationship Diagram: ER-Diagram)

โครงสร้างของฐานข้อมูลซึ่งเขียนออกมาในลักษณะของรูปภาพ ดังนี้



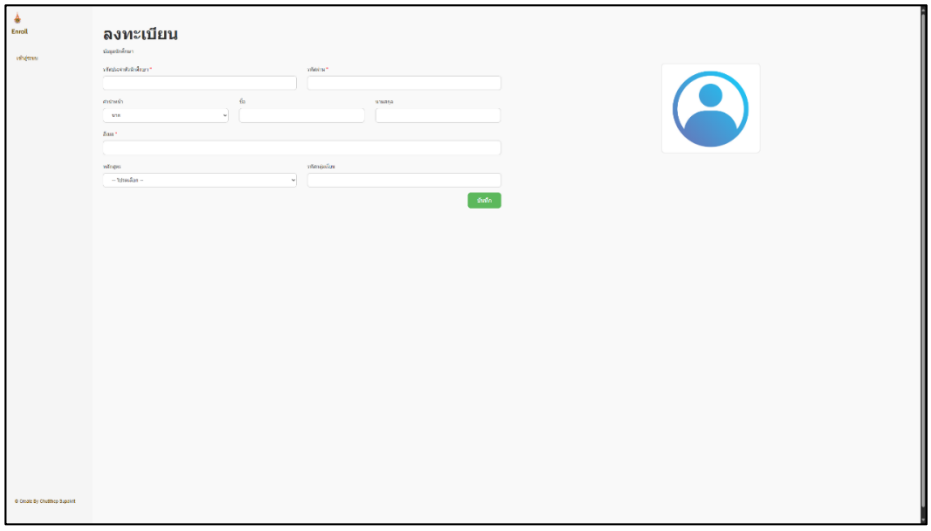
ภาพที่ 7 ER-Diagram ของระบบเว็บแอปพลิเคชันการเทียบโอนรายวิชาหลักสูตรเทคโนโลยีสารสนเทศและเศรษฐกิจดิจิทัล

จากภาพที่ 7 แสดงแผนภาพการจำลองโครงสร้างของฐานข้อมูล ซึ่งบอกความสัมพันธ์ของ Entity ได้แก่ Users, Students, Majors, Subjects, Categories, Enrolls และ Enrolls subject ในแต่ละ Entity ประกอบด้วย Attributes ซึ่งมีลักษณะหรือคุณสมบัติที่ใช้ในการอธิบาย Entity

4. ผลการวิจัย

4.1 เว็บแอปพลิเคชันการเทียบโอนรายวิชาหลักสูตรเทคโนโลยีสารสนเทศและเศรษฐกิจดิจิทัล โดยแต่ละส่วนมีรายละเอียดและลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป ดังนี้

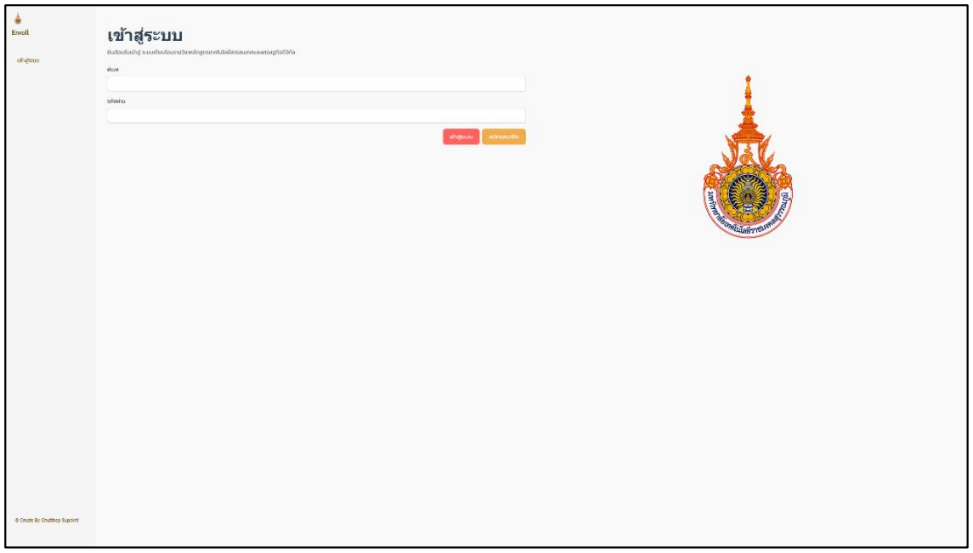
4.1.1 ส่วนของการสมัครเข้าใช้งานระบบเว็บแอปพลิเคชันการเทียบโอนรายวิชาหลักสูตรเทคโนโลยีสารสนเทศและเศรษฐกิจดิจิทัล ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 การลงทะเบียนเข้าใช้งานเว็บแอปพลิเคชั่นการเทียบโอนรายวิชาหลักสูตรเทคโนโลยีสารสนเทศและเศรษฐกิจดิจิทัล

จากภาพที่ 8 แสดงการกรอกข้อมูลการลงทะเบียนเพื่อเข้าใช้งานเว็บแอปพลิเคชั่นการเทียบโอนรายวิชาหลักสูตรเทคโนโลยีสารสนเทศและเศรษฐกิจดิจิทัล ซึ่งเป็นข้อมูลของนักศึกษา ได้แก่ รหัสประจำตัวนักศึกษา ชื่อและนามสกุลของนักศึกษา อีเมล์ของนักศึกษา หลักสูตรที่สังกัด และกลุ่มเรียนของนักศึกษา

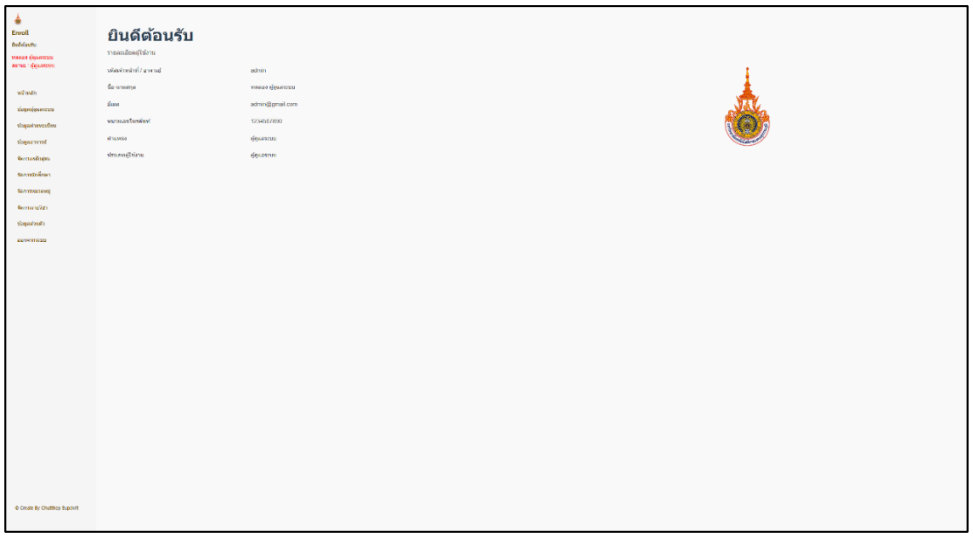
4.1.2 ส่วนของการเข้าสู่ระบบเพื่อเข้าใช้งานเว็บแอปพลิเคชั่นการเทียบโอนรายวิชาหลักสูตรเทคโนโลยีสารสนเทศและเศรษฐกิจดิจิทัล ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 การเข้าสู่ระบบเพื่อเข้าใช้งานเว็บแอปพลิเคชันการเทียบโอนรายวิชาหลักสูตรเทคโนโลยีสารสนเทศและเศรษฐกิจดิจิทัล

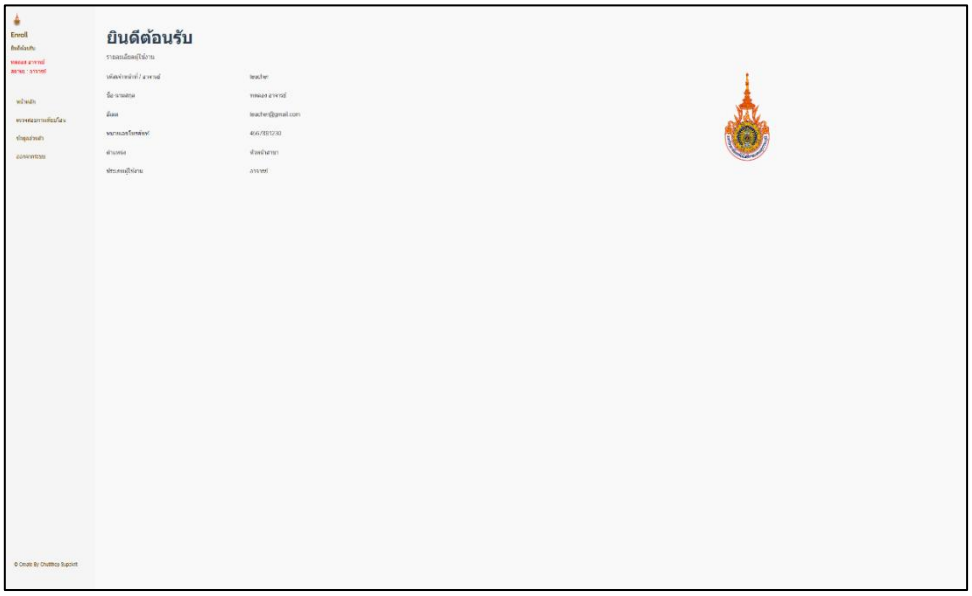
จากภาพที่ 9 แสดงวิธีการเข้าสู่ระบบเพื่อเข้าใช้งานเว็บแอปพลิเคชันการเทียบโอนรายวิชาหลักสูตรเทคโนโลยีสารสนเทศและเศรษฐกิจดิจิทัล ที่ได้ผ่านการลงทะเบียนเรียบร้อยแล้ว

4.1.3 ส่วนของหน้าแดชบอร์ดหลังจากเข้าสู่ระบบ เว็บแอปพลิเคชันการเทียบโอนรายวิชาหลักสูตรเทคโนโลยีสารสนเทศและเศรษฐกิจดิจิทัล



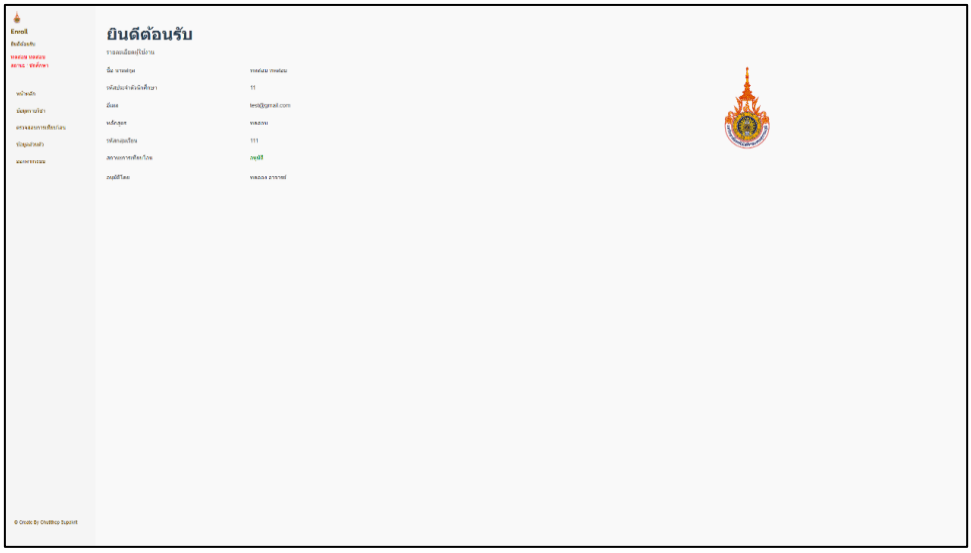
ภาพที่ 10 หน้าแดชบอร์ดของแอดมิน

จากภาพที่ 10 แสดงรายละเอียดของหน้าแดชบอร์ดโดยใช้สิทธิของแอดมินหลังจากการเข้าสู่ระบบ ซึ่งในหน้านี้แสดงข้อมูลฝ่ายทะเบียน ข้อมูลอาจารย์ ส่วนจัดการหลักสูตร ส่วนจัดการนักศึกษา ส่วนจัดการรายวิชา



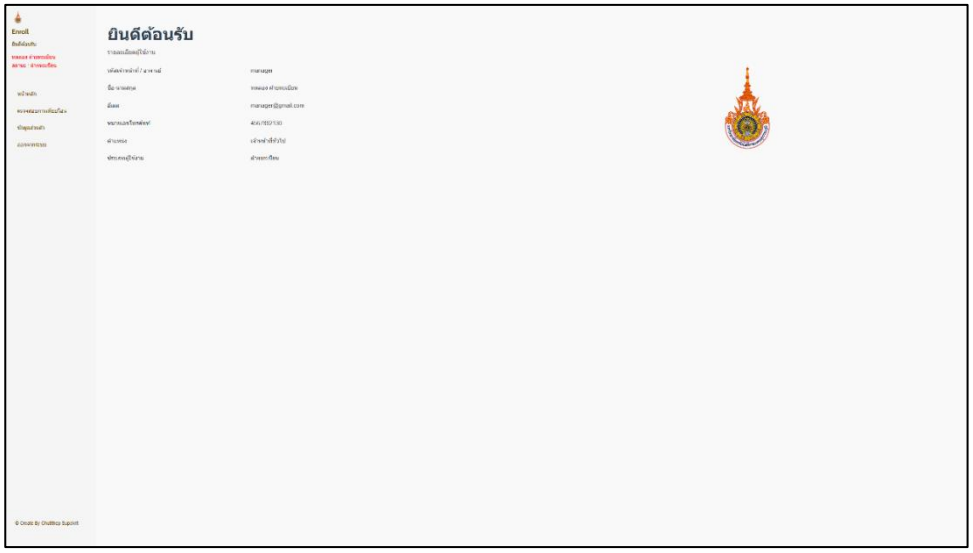
ภาพที่ 11 หน้าแดชบอร์ดของอาจารย์

จากภาพที่ 11 แสดงรายละเอียดของหน้าแดชบอร์ดโดยใช้สิทธิของอาจารย์หลังจากการเข้าสู่ระบบ ซึ่งในหน้านี้แสดงรหัสของอาจารย์ ชื่อและนามสกุลของอาจารย์ อีเมล์ของอาจารย์ ตำแหน่งของอาจารย์



ภาพที่ 12 หน้าแดชบอร์ดของนักศึกษา

จากภาพที่ 12 แสดงรายละเอียดของหน้าแดชบอร์ดโดยใช้สิทธิของนักศึกษาหลังจากการเข้าสู่ระบบ ซึ่งในหน้านี้แสดงรายละเอียดของนักศึกษา ได้แก่ รหัสประจำตัวนักศึกษา ชื่อและนามสกุลของนักศึกษา อีเมล์ของนักศึกษา หลักสูตรที่สังกัด กลุ่มเรียนของนักศึกษา และสถานะการเทียบโอน



ภาพที่ 13 หน้าแดชบอร์ดของฝ่ายทะเบียน

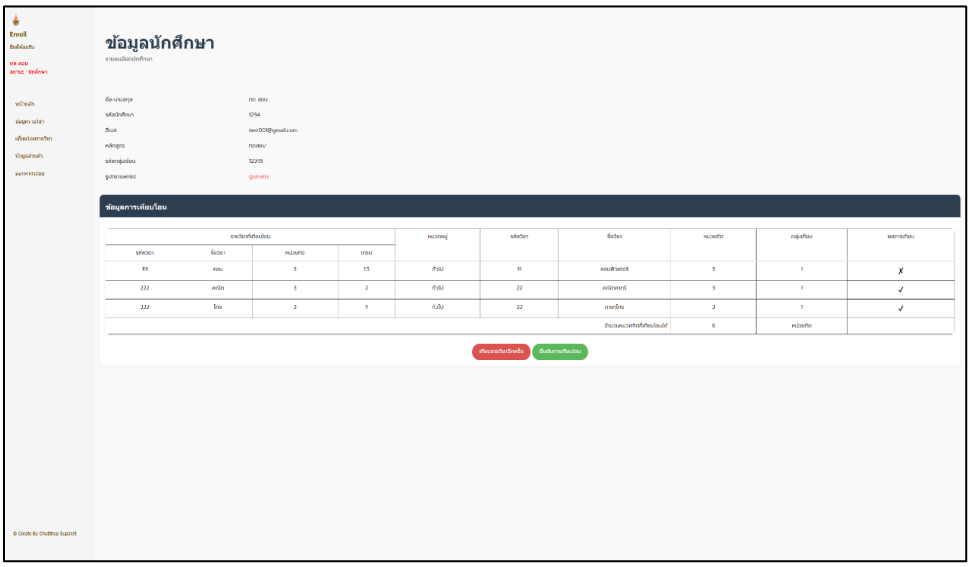
จากภาพที่ 13 แสดงรายละเอียดของหน้าแดชบอร์ดโดยใช้สิทธิของฝ่ายทะเบียนหลังจากการเข้าสู่ระบบ ซึ่งในหน้านี้แสดงรหัสของเจ้าหน้าที่ ชื่อและนามสกุลของเจ้าหน้าที่ อีเมล์ของเจ้าหน้าที่ ตำแหน่งงานของเจ้าหน้าที่

4.1.4 ส่วนของหน้าเทียบโอนรายวิชาของเว็บแอปพลิเคชั่นการเทียบโอนรายวิชาหลักสูตรเทคโนโลยีสารสนเทศและเศรษฐกิจดิจิทัล



ภาพที่ 14 หน้าเทียบโอนรายวิชา

จากภาพที่ 14 แสดงรายละเอียดของหน้าการเทียบโอนรายวิชาของเว็บแอปพลิเคชั่นการเทียบโอนรายวิชาหลักสูตรเทคโนโลยีสารสนเทศและเศรษฐกิจดิจิทัล ซึ่งประกอบด้วยรหัสประจำตัวนักศึกษา ชื่อและนามสกุลของนักศึกษา อีเมล์ของนักศึกษา หลักสูตรที่สังกัด กลุ่มเรียนของนักศึกษา การอัพโหลดทรานสคริป และข้อมูลรายวิชาที่ใช้ในการเทียบโอน



ภาพที่ 15 หน้าผลการเทียบโอน

จากภาพที่ 15 แสดงรายละเอียดของหน้าผลการเทียบโอนรายวิชาของเว็บแอปพลิเคชั่นการเทียบโอนรายวิชาหลักสูตรเทคโนโลยีสารสนเทศและเศรษฐกิจดิจิทัล ซึ่งประกอบด้วยรหัสประจำตัวนักศึกษา ชื่อและนามสกุลของนักศึกษา อีเมล์ของนักศึกษา หลักสูตรที่สังกัด กลุ่มเรียนของนักศึกษา การอัพโหลดทรานสคริป และข้อมูลรายละเอียดของรายวิชาที่ใช้ในการเทียบโอน



ภาพที่ 16 หน้าสรุปผลการเทียบโอน

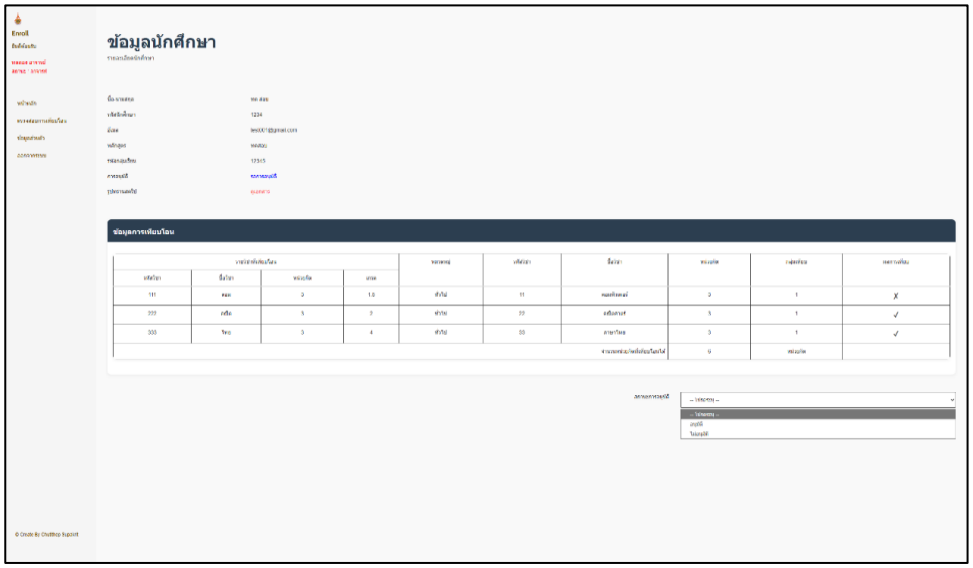
จากภาพที่ 16 แสดงรายละเอียดของหน้าสรุปผลการเทียบโอนรายวิชาของเว็บแอปพลิเคชั่นการเทียบโอนรายวิชาหลักสูตรเทคโนโลยีสารสนเทศและเศรษฐกิจดิจิทัล ซึ่งประกอบด้วยรหัสประจำตัวนักศึกษา ชื่อและนามสกุลของนักศึกษา อีเมล์ของนักศึกษา หลักสูตรที่สังกัด กลุ่มเรียนของนักศึกษา และข้อมูลรายละเอียดของจำนวนหน่วยกิตที่เทียบโอนได้

4.1.5 ส่วนของหน้าการอนุมัติการเทียบโอนของเว็บแอปพลิเคชั่นการเทียบโอนรายวิชาหลักสูตรเทคโนโลยีสารสนเทศและเศรษฐกิจดิจิทัล



ภาพที่ 17 หน้าตรวจสอบรายชื่อนักศึกษาที่ทำการเทียบโอนรายวิชา

จากภาพที่ 17 แสดงรายละเอียดของหน้าตรวจสอบรายชื่อนักศึกษาที่ทำการเทียบโอนรายวิชาของเว็บแอปพลิเคชั่นการเทียบโอนรายวิชาหลักสูตรเทคโนโลยีสารสนเทศและเศรษฐกิจดิจิทัล



ภาพที่ 18 หน้าแสดงผลการเทียบโอนของนักศึกษา

จากภาพที่ 18 แสดงรายละเอียดของหน้าแสดงผลการเทียบโอนของนักศึกษาที่ทำการเทียบโอนรายวิชาของเว็บแอปพลิเคชั่นการเทียบโอนรายวิชาหลักสูตรเทคโนโลยีสารสนเทศและเศรษฐกิจดิจิทัล ซึ่งแสดงสถานะการอนุมัติของอาจารย์

4.1.6 ส่วนของหน้าการตรวจสอบการเทียบโอนของเว็บแอปพลิเคชั่นการเทียบโอนรายวิชาหลักสูตรเทคโนโลยีสารสนเทศและเศรษฐกิจดิจิทัล



ภาพที่ 19 หน้าตรวจสอบรายชื่อนักศึกษาที่เทียบโอนและได้รับการอนุมัติ

จากภาพที่ 19 แสดงรายละเอียดของหน้าตรวจสอบรายชื่อนักศึกษาที่เทียบโอนและได้รับการอนุมัติ ซึ่งประกอบด้วย รหัสประจำตัวนักศึกษา ชื่อและนามสกุลของนักศึกษา อีเมล์ของนักศึกษา หลักสูตรที่สังกัด และการตรวจสอบข้อมูลที่ผ่านการอนุมัติเรียบร้อยแล้ว



ภาพที่ 20 หน้าแสดงผลการเทียบโอนของนักศึกษา

จากภาพที่ 20 แสดงรายละเอียดของหน้าแสดงผลการเทียบโอนของนักศึกษาซึ่งประกอบด้วยรหัสประจำตัวนักศึกษา ชื่อและนามสกุลของนักศึกษา อีเมล์ของนักศึกษา หลักสูตรที่สังกัด การตรวจสอบข้อมูลที่ผ่านการอนุมัติเรียบร้อยแล้ว และอนุมัติโดย ซึ่งเป็นการเสร็จสิ้นขั้นตอนการเทียบโอน

4.2 ผลการประเมิน

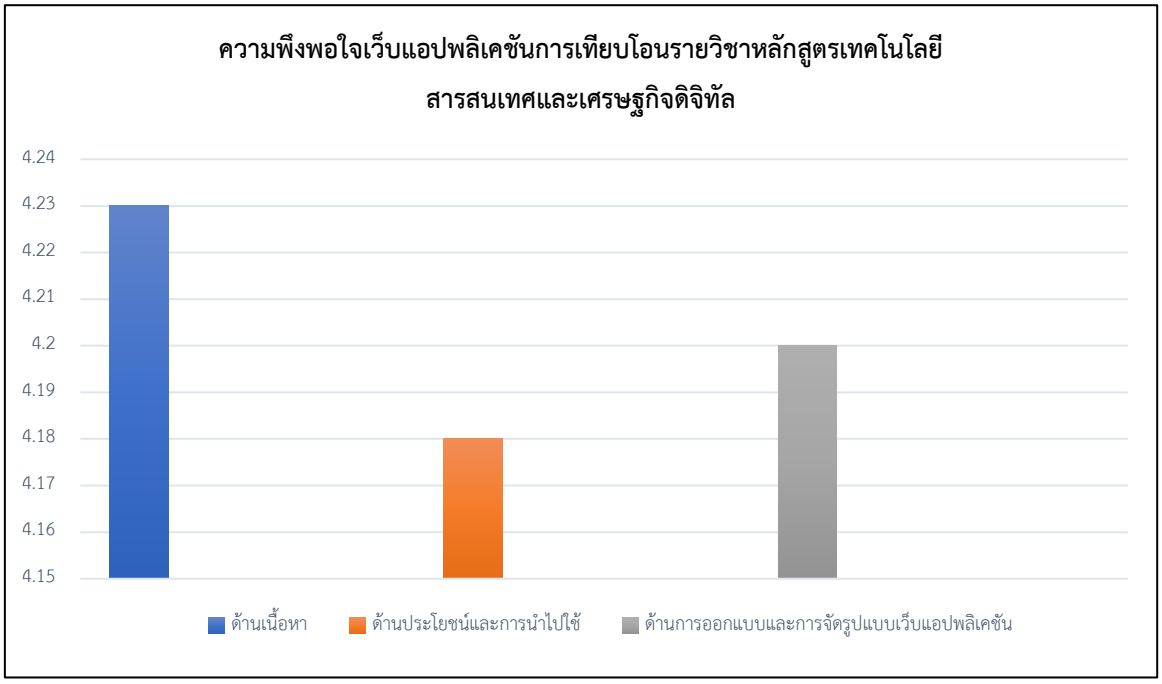
ผู้จัดได้ประเมินความพึงพอใจกับกลุ่มตัวอย่างผู้ใช้งาน 13 คน และผู้เชี่ยวชาญ 2 คน โดยมีรายละเอียดแบบสอบถามความพึงพอใจในด้านต่าง ๆ ดังหัวข้อต่อไปนี้

4.2.1 ด้านเนื้อหา

4.2.2 ด้านประโยชน์และการนำไปใช้

4.2.3 ด้านการออกแบบและการจัดรูปแบบเว็บแอปพลิเคชั่น

ผลการประเมินความพึงพอใจในการสร้างเว็บแอปพลิเคชันการเทียบโอนรายวิชาหลักสูตรเทคโนโลยีสารสนเทศและเศรษฐกิจดิจิทัลอยู่ในระดับมาก โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับมาก 4.20 ส่วนของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.04 เมื่อพิจารณาในแต่ละด้านพบว่าด้านที่มีความพึงพอใจมากที่สุดคือด้านเนื้อหา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.23 ส่วนของค่าเบี่ยงเบนมาตราฐานเท่ากับ 0.74 ด้านการออกแบบและการจัดรูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.2 ส่วนของค่าเบี่ยงเบนมาตราฐาน เท่ากับ 0.68 ด้านประโยชน์และการนำไปใช้ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.18 ส่วนของค่าเบี่ยงเบนมาตราฐาน เท่ากับ 0.65 ทั้งสามด้านอยู่ในระดับมาก



ภาพที่ 21 ข้อมูลความพึงพอใจเว็บแอปพลิเคชันการเทียบโอนรายวิชาหลักสูตรเทคโนโลยีสารสนเทศและเศรษฐกิจดิจิทัล

5. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน ควรหลีกเลี่ยงการใช้ alert หลังจากการบันทึกข้อมูล และเปลี่ยนมาใช้การโหลดข้อมูลเพื่อปรับปรุงประสบการณ์ผู้ใช้ นอกจากนี้การใช้ Skeleton Load จะช่วยป้องกันหน้าเว็บดูโล่งเกินไประหว่างการโหลดข้อมูล การรองรับหลายภาษาจะช่วยให้ผู้ใช้จากหลากหลายประเทศสามารถใช้งานได้สะดวกขึ้น ส่วนการใช้ NLP และ OCR ควรปรับแต่งให้เหมาะสมกับข้อมูลจริง เพื่อเพิ่มความเสถียรและความสะดวกในการใช้งาน

6. เอกสารอ้างอิง

สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา. (2563). *การศึกษาระบบการเทียบโอนและระบบธนาคารหน่วยกิตระดับการศึกษาขั้นพื้นฐาน*. 21 Century.

สุมิตตา จันทร์ขำ, กิตติพงษ์ ตั้งใจ, ธีรยุทธ คุณโคตร, รัชดา ภักดียิ่ง, และณัจภ์สราภร ศรีหาพันธ์. (2563). การพัฒนาระบบการจัดการเทียบโอนผลการเรียนของนักศึกษาระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. *Journal of Roi Kaensarn Academi, 5*(2), 23-32. https://so02.tci-thaijo.org/index.php/JRKSA/article/view/246835

อภิชัย พันธเสน, อนุชัย รามวรังกูร, และนลินรัตน์ รักกุศล. (2560). *การพัฒนาระบบคลังหน่วยกิตเพื่อการเทียบโอนความรู้ทักษะ ไปสู่การยกระดับฝีมือแรงงานตามมาตรฐานหรือการศึกษาในระดับที่สูงขึ้น* (รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์). สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม.

S. A. Rahman, W. Binti Hashim and A. Yusof. (2021). Designing a use case diagram for developing an electricity consumption (EC) system. *International Conference on Computer & Information Sciences (ICCOINS)*, Malaysia, pp. 282-285, https://doi.org/10.1109/ICCOINS49721.2021.9497156.

Borgert, M., Goossens, A., Dongelmans, D. A., de Vos, M., & van der Veer, S. N. (2017). A flowchart for building evidence-based care bundles in intensive care: Based on a systematic review. *International Journal for Quality in Health Care, 29*(2), 163-175. https://doi.org/10.1093/intqhc/mzx009

Kyeremeh, K. (2021). Overview of system development life cycle models. *Journal of Management and Science, 11*(1), 12-22. https://doi.org/10.26524/jms.11.3

สมบัติการหารลงตัวด้วย k ของผลบวกของจำนวนฟีโบนัชชีดัดแปลง เมื่อ $k = 2,3,4,5$

วาเรียม ช่วยจันทร์[1], ธีรเดช เกื้อวงศ์[1], กิตติกวิน สีสอาด[1] และสุทธิวัฒน์ ทองนาค[1*]

[1] หลักสูตรคณิตศาสตร์และการจัดการข้อมูล คณะวิทยาศาสตร์และนวัตกรรมดิจิทัล มหาวิทยาลัยทักษิณ

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้เราศึกษาสมบัติการหารลงตัวของผลบวกของจำนวนฟีโบนัชชีดัดแปลง V_n ที่กำหนดโดยความสัมพันธ์เวียนเกิด $V_n = V_{n-1} + 2V_{n-2}$ สำหรับ $n \in \mathbb{N}$ โดยมีค่าเริ่มต้นคือ $V_0 = 2$ และ $V_1 = 2$ โดยการหารจำนวนฟีโบนัชชีดัดแปลงด้วย $k = 2,3,4,5$ พบว่าเศษเหลือที่ได้จากการหารซ้ำกันเป็นชุด นำไปสู่การค้นพบสมบัติการหารลงตัวของผลบวกจำนวนฟีโบนัชชีดัดแปลงจำนวนสี่ข้อซึ่งแต่ละข้อสามารถแสดงการพิสูจน์ได้โดยใช้หลักอุปนัยเชิงคณิตศาสตร์แบบเข้ม

คำสำคัญ: จำนวนฟีโบนัชชีดัดแปลง หลักอุปนัยเชิงคณิตศาสตร์แบบเข้ม โมดุโล การหารลงตัว

** ผู้รับผิดชอบบทความ : tsutthiwat@tsu.ac.th*

***รับบทความ**: 14 กันยายน 2568* ***แก้ไขเสร็จ:** 24 ธันวาคม 2568* ***ตอบรับบทความ**: 10 มีนาคม 2569*

Divisibility by k of the Sum of Modified Fibonacci Numbers for $k = 2,3,4,5$

Wariam Chuayjan[1], Theeradach Kaewong[1], Kittikawin Sisaart[1] and Sutthiwat Thongnak[1*]

[1] Mathematics and Data Management Program, Faculty of Science and Digital Innovation, Thaksin University

Abstract

This work aims to investigate the divisibility properties of the sum of modified Fibonacci sequence V_n , defined by the recurrence relation $V_n = V_{n-1} + 2V_{n-2}$ for $n \in \mathbb{N}$, with initial values $V_0 = 2$ and $V_1 = 2$. By examining the sequence modulo $k = 2,3,4,5$, we observe that the remainders form repeating patterns, which lead to discover four divisibility properties of the sum of the modified Fibonacci numbers, which can be proven using strong mathematical induction.

Keywords: Modified Fibonacci Number, Strong Mathematical Induction, Modulo, Divisibility

** Corresponding author: tsutthiwat@tsu.ac.th*

***Received**: 14 September 2025* ***Revised:** 24 December 2025* ***Accepted**: 10 March 2026*

1. บทนำ

จำนวนฟีโบนัชชีเป็นลำดับจำนวนที่นักคณิตศาสตร์หลายคนรู้จักกันดีและมีการศึกษาอย่างกว้างขวาง นิยามของจำนวนฟีโบนัชชีในรูปความสัมพันธ์เวียนเกิดคือ $F_n = F_{n-1} + F_{n-2}$ เมื่อ $F_0 = 0$ และ $F_1 = 1$ โดย $n = 2,3,4, \ldots$ (Koshy, 2001) ในเวลาต่อมามีนักคณิตศาสตร์ให้นิยามของจำนวนฟีโบนัชชีทั่วไปในรูปความสัมพันธ์เวียนเกิดดังนี้

$$F_n = aF_{n-1} + bF_{n-2} \tag{1}$$

เมื่อ $F_0 = 0$ และ $F_1 = 1$ สำหรับ n เป็นจำนวนนับที่มากกว่าหนึ่ง (Singh et al., 2014) และมีนักคณิตศาสตร์ศึกษาจนมีทฤษฎีที่เกี่ยวข้องมากมาย เช่น Lang และ Lang (2013), Dhanya et al. (2021) ในปี 2021 มีนักคณิตศาสตร์ศึกษาสมบัติการหารลงตัวของจำนวนไตรโบนัชชี-ลูคัส โดยพิจารณาเศษจากการหารจำนวนไตรโบนัชชี-ลูคัส ด้วยจำนวนเต็มบวกซึ่งทำให้พบสมบัติการหารลงตัวหลายสมบัติ (มนตรี สามแปง และคณะ, 2021) ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้เลือกนิยามของจำนวนฟีโบนัชชีทั่วไปจาก (1) โดยจะกำหนด $a = 1$ และ $b = 2$ เรียกว่าจำนวนฟีโบนัชชีดัดแปลง (Modified Fibonacci Number) โดยให้แทนด้วยสัญลักษณ์ V_n เมื่อ $n \in \mathbb{N}$ และเขียนในรูปความสัมพันธ์เวียนเกิดได้เป็น $V_n = V_{n-1} + 2V_{n-2}$ เมื่อ $V_0 = 2$ และ $V_1 = 2$ เพื่อพิจารณาสมบัติการหารลงตัวและแสดงการพิสูจน์ทางคณิตศาสตร์

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อหาสมบัติการหารลงตัวของผลรวมจำนวนฟีโบนัชชีดัดแปลง

2.2 พิสูจน์สมบัติที่ได้จากข้อ 2.1

3. วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงทฤษฎีในสาขาคณิตศาสตร์ โดยเริ่มต้นจากการศึกษาวรรณกรรมและทฤษฎีทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับจำนวนฟีโบนัชชีดัดแปลง ความสัมพันธ์เวียนเกิด และขั้นตอนวิธีการหาร จากนั้นจึงกำหนดนิยามและสัญลักษณ์ที่จำเป็นอย่างชัดเจนและเป็นระบบโดยนิยามจำนวนฟีโบนัชชีดัดแปลงจากความสัมพันธ์เวียนเกิดดังต่อไปนี้ความรู้ที่จำเป็นในงานวิจัย

3.1 ความรู้เบื้องต้น

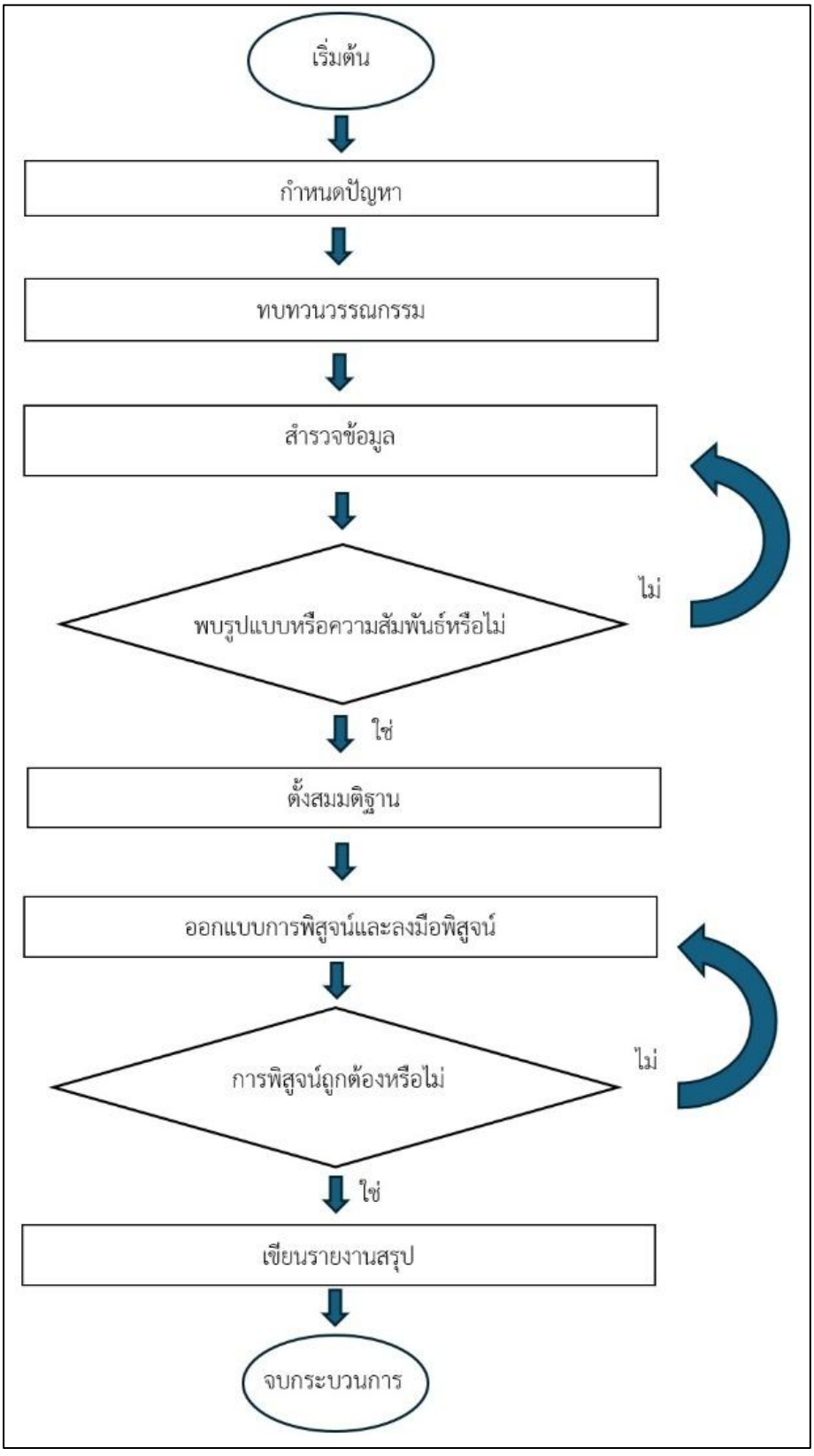
บทนิยาม จำนวนฟีโบนัชชีดัดแปลง กำหนดให้ V_n แทนจำนวนฟีโบนัชชีดัดแปลง โดย $n \in \mathbb{N}$ และ $n \geq 2$ ซึ่งกำหนดโดย

$$V_n = V_{n-1} + 2V_{n-2} \text{ เมื่อ } V_0 = 2 \text{ และ } V_1 = 2$$

ลำดับของจำนวนฟีโบนัชชีดัดแปลงเป็นดังนี้ $2,2,6,10,22,42, \ldots$

3.2 ขั้นตอนดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยนี้มีกระบวนการในแต่ละขั้นตอนเป็นไปตามภาพที่ 1 โดยเริ่มจากขั้นตอนแรกคือ การกำหนดปัญหาซึ่งผู้วิจัยต้องการศึกษาสมบัติการหารลงตัวของจำนวนฟีโบนัชชีดัดแปลง จากนั้นจึงทบทวนวรรณกรรมโดยจะค้นคว้าหาความรู้เกี่ยวกับขั้นตอนวิธีการหาร และวิธีการสมภาค ทำการสำรวจความเป็นไปได้โดยการนำจำนวนเต็ม ไปหารจำนวนฟีโบนัชชีดัดแปลงและพิจารณาเศษที่ได้จากการหาร สังเกตความสัมพันธ์ที่จะทำให้ได้สมบัติการหารลงตัวของผลบวกของจำนวนฟีโบนัชชีดัดแปลงจากนั้นจึงใช้เหตุผลเชิงตรรกะและผลลัพธ์ทางคณิตศาสตร์ที่มีอยู่เดิมตั้งสมมติฐานขึ้น และดำเนินการพิสูจน์ทฤษฎีเหล่านั้นอย่างเข้มงวด โดยใช้หลักอุปนัยเชิงคณิตศาสตร์ และท้ายที่สุดคือการนำผลที่ได้ไปเขียนรายงานผล



ภาพที่ 1 ขั้นตอนในการทำวิจัยเรื่อง สมบัติการหารลงตัวด้วย k ของผลบวกของจำนวนฟีโบนัชชีดัดแปลงเมื่อ $k = 2,3,4,5$

4. ผลการวิจัย

ในการวิจัยนี้เริ่มจากการนำจำนวน $k = 2,3,4,5$ ไปหารจำนวนฟีโบนัชชีดัดแปลง แสดงได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงเศษที่จากการหารจำนวนฟีโบนัชชีดัดแปลงด้วย $k = 2,3,4,5$

n	V_n	$k = 2$	$k = 3$	$k = 4$	$k = 5$
0	2	0	2	2	2
1	2	0	2	2	2
2	6	0	0	2	1
3	10	0	1	2	0
4	22	0	1	2	2
5	42	0	0	2	2
6	86	0	2	2	1
7	170	0	2	2	0
8	342	0	0	2	2
9	682	0	1	2	2
10	1,366	0	1	2	1
11	2,730	0	0	2	0
12	5,462	0	2	2	2
13	10,922	0	2	2	2
14	21,846	0	0	2	1
15	43,690	0	1	2	0
16	87,382	0	1	2	2
17	174,762	0	0	2	2
18	349,526	0	2	2	1
19	699,050	0	2	2	0
20	1,398,102	0	0	2	2

จากตารางที่ 1 พบว่า เมื่อนำจำนวนเต็มบวก k เมื่อ $2 \leq k \leq 5$ หารแต่ละพจน์ของจำนวนฟีโบนัชชีดัดแปลง แล้วจะมีเศษเหลือจากการหารซ้ำกันเป็นชุด ๆ ได้แก่

สำหรับการหารด้วย 2 จะได้ชุดเศษเหลือซ้ำกันชุดละ 1 พจน์ คือ (0)

สำหรับการหารด้วย 3 จะได้ชุดเศษเหลือซ้ำกันชุดละ 6 พจน์ คือ (2,2,0,1,1,0)

สำหรับการหารด้วย 4 จะได้ชุดเศษเหลือซ้ำกันชุดละ 1 พจน์ คือ (2)

สำหรับการหารด้วย 5 จะได้ชุดเศษเหลือซ้ำกันชุดละ 4 พจน์ คือ (2,2,1,0)

เมื่อนำจำนวนฟีโบนัชชีดัดแปลงที่หารด้วย k ค่าเดียวกันมาจัดเรียงเป็นแถวตามจำนวนพจน์ของชุดเศษเหลือที่ซ้ำกันและนำจำนวนฟีโบนัชชีดัดแปลงที่มีเศษเท่ากันและตรงกันในแต่ละชุดมาบวกกันทีละ k พจน์ จะได้ว่า k หารผลบวกนั้นลงตัว ยกตัวอย่างเช่น ในกรณี $k = 3$ จะได้ผลเป็นดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 จำนวนฟีโบนัชชีสามตัวติดกันที่มีเศษเท่ากันในแต่ละกลุ่ม เมื่อ $k = 3$

Modulo 3	พจน์ที่ตรงกันในแต่ละชุด		
2	$V_0 = 2$	$V_6 = 86$	$V_{12} = 5{,}462$
2	$V_1 = 2$	$V_7 = 170$	$V_{13} = 10{,}922$
0	$V_2 = 6$	$V_8 = 342$	$V_{14} = 21{,}846$
1	$V_3 = 10$	$V_9 = 682$	$V_{15} = 43{,}690$
1	$V_4 = 22$	$V_{10} = 1{,}366$	$V_{16} = 87{,}382$
0	$V_5 = 12$	$V_{11} = 2{,}730$	$V_{17} = 174{,}762$

จากตารางที่ 2 จะเห็นว่า $V_0 + V_6 + V_{12} = 2 + 86 + 5{,}462 = 5{,}550$ ซึ่ง $5{,}550 \equiv 0(mod 3)$ และ $V_1 + V_7 + V_{13} = 2 + 170 + 10{,}922 = 11{,}094$ ซึ่ง $11{,}094 \equiv 0(mod 3)$ เป็นต้น ในการศึกษาสำหรับ $k = 2{,}3{,}4{,}5$ จะเริ่มจากกรณีที่ $k = 2$ เนื่องจาก $V_0 = V_1 = 2$ และ เห็นได้ชัดว่า V_n เป็นจำนวนคู่เพราะเกิดจากผลบวกของจำนวนคู่ ทำให้สรุปได้ว่า $V_n \equiv 0(mod\ 2)$ ต่อไปจะพิจารณากรณีที่ $k = 3{,}4{,}5$ ดังต่อไปนี้

ทฤษฎีบทที่ 1 สำหรับ $n \in \mathbb{N} \cup \{0\}$ ถ้า V_n เป็นจำนวนฟีโบนัชชีดัดแปลง แล้ว

$$V_n \equiv 2(mod\ 4) \tag{2}$$

การพิสูจน์ จะเห็นได้ว่า $V_0 = V_1 = 2 \equiv 2(mod\ 4)$ ต่อไปจะพิสูจน์โดยการอุปนัยเชิงคณิตศาสตร์ กำหนดให้ $n \in \mathbb{N} \cup \{0\}$
กำหนดให้ $P(n)$ แทน "$V_n \equiv 2(mod\ 4)$"
ขั้นที่ 1 เนื่องจาก $V_2 = 6 \equiv 2(mod\ 4)$ ดังนั้น $P(2)$ เป็นจริง
ขั้นที่ 2 ให้ $P(2), P(3), \ldots, P(k)$ เป็นจริง สำหรับทุก $k \geq 2$ ดังนั้น $V_m \equiv 2(mod\ 4)$ สำหรับทุก m ที่ $2 \leq m \leq k$
พิจารณา $V_{k+1} = V_k + 2V_{k-1}$ เมื่อ $k = 2$ จะได้ $V_3 = V_2 + 2V_1 = 6 + 4 = 10 \equiv 2(mod\ 4)$
ดังนั้น $V_3 \equiv 2(mod\ 4)$ และถ้า $k \geq 3$ จะได้ $V_{k+1} \equiv (V_k + 2V_{k-1})(mod\ 4)$

$$\begin{aligned} &\equiv V_k(mod\ 4) + 2\big(V_{k-1}(mod\ 4)\big) \\ &\equiv 2(mod\ 4) + 4(mod\ 4) \\ &\equiv 2(mod\ 4) \end{aligned}$$

นั่นคือ $p(k+1)$ เป็นจริง

ทฤษฎีบทที่ 2 สำหรับ $n \in \mathbb{N} \cup \{0\}$ ถ้า V_n เป็นจำนวนฟีโบนัชชีดัดแปลง แล้ว

$$V_n + V_{n+6} + V_{n+12} \equiv 0(mod\ 3) \tag{3}$$

การพิสูจน์ กำหนดให้ $n \in \mathbb{N} \cup \{0\}$ กำหนดให้ $P(n)$ แทน "$V_n + V_{n+6} + V_{n+12} \equiv 0(mod\ 3)$"
ขั้นที่ 1 จาก $V_0 + V_6 + V_{12} = 2 + 86 + 5{,}462 = 5{,}550 = 3(1{,}850)$ จะได้ $V_0 + V_6 + V_{12} \equiv 0(mod\ 3)$ ดังนั้น $P(0)$ เป็นจริง
ขั้นที่ 2 ให้ $0 \leq m \leq k+1$ ถ้า $P(m)$ เป็นจริง กล่าวคือ $P(k)$ และ $P(k+1)$ เป็นจริง

จะได้ $V_k + V_{k+6} + V_{k+12} \equiv 0(mod\ 3)$ และ $V_{k+1} + V_{k+7} + V_{k+13} \equiv 0(mod\ 3)$ ตามลำดับ

จะต้องแสดงว่า $P(k+2)$ เป็นจริง ซึ่งก็คือ $V_{k+2} + V_{(k+2)+6} + V_{(k+2)+12} \equiv 0(mod\ 3)$

เริ่มพิจารณาจาก

$$\begin{aligned} V_{k+2} + V_{k+8} + V_{k+14} &= V_{k+1} + 2V_k + V_{k+7} + 2V_{k+6} + V_{k+13} + 2V_{k+12} \\ &= V_{k+1} + V_{k+7} + V_{k+13} + 2(V_k + V_{k+6} + V_{k+12}) \end{aligned}$$

ทำให้ $V_{k+2} + V_{(k+2)+6} + V_{(k+2)+12} \equiv 0(mod\ 3)$ ดังนั้น $P(k+2)$ เป็นจริง

ทฤษฎีบทที่ 3 สำหรับ $n \in \mathbb{N} \cup \{0\}$ ถ้า V_n เป็นจำนวนฟีโบนัชชีดัดแปลง แล้ว

$$V_n + V_{n+1} + V_{n+2} + V_{n+3} \equiv 0(mod\ 4) \tag{4}$$

การพิสูจน์ กำหนดให้ $n \in \mathbb{N} \cup \{0\}$ จากทฤษฎีบทที่ 1 จะได้ $V_{n+k} \equiv 2(mod\ 4)$ สำหรับทุก $k \in \{0,1,2,3\}$

ดังนั้น
$$\begin{aligned} V_n + V_{n+1} + V_{n+2} + V_{n+3} &\equiv 2(mod\ 4) + 2(mod\ 4) + 2(mod\ 4) + 2(mod\ 4) \\ &\equiv 8(mod\ 4) \\ &\equiv 0(mod\ 4) \end{aligned}$$

ทฤษฎีบทที่ 4 สำหรับ $n \in \mathbb{N} \cup \{0\}$ ถ้า V_n เป็นจำนวนฟีโบนัชชีดัดแปลง แล้ว

$$V_n + V_{n+4} + V_{n+8} + V_{n+12} + V_{n+16} \equiv 0(mod\ 5) \tag{5}$$

การพิสูจน์ กำหนดให้ $n \in \mathbb{N} \cup \{0\}$ ให้ $P(n)$ แทน "$V_n + V_{n+4} + V_{n+8} + V_{n+12} + V_{n+16} \equiv 0(mod\ 5)$"

ขั้นที่ 1 จะแสดงว่า $P(0)$ เป็นจริง จะเห็นว่า $V_0 + V_4 + V_8 + V_{12} + V_{16} = 93{,}210 \equiv 0(mod\ 5)$ ดังนั้น $P(0)$ เป็นจริง

ขั้นที่ 2 ให้ $0 \leq m \leq k+1$ ถ้า $P(m)$ เป็นจริง กล่าวคือ $P(k)$ และ $P(k+1)$ เป็นจริง

กล่าวคือ $V_k + V_{k+4} + V_{k+8} + V_{k+12} + V_{k+16} \equiv 0(mod\ 5)$ และ

$V_{k+1} + V_{k+5} + V_{k+9} + V_{k+13} + V_{k+17} \equiv 0(mod\ 5)$ ตามลำดับ จะต้องแสดงว่า $P(k+2)$ เป็นจริง

โดยเริ่มพิจารณาจาก

$V_{k+2} + V_{k+6} + V_{k+10} + V_{k+14} + V_{k+18} = V_{k+1} + V_{k+5} + V_{k+9} + V_{k+13} + V_{k+17} + 2(V_k + V_{k+4} + V_{k+8} + V_{k+12} + V_{k+16})$

จะได้ $V_{k+2} + V_{(k+2)+4} + V_{(k+2)+8} + V_{(k+2)+12} + V_{(k+2)+16} \equiv 0(mod\ 5)$ ดังนั้น $P(k+2)$ เป็นจริง

5. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ใช้ขั้นตอนวิธีการหารทำให้พบสมบัติการหารลงตัวด้วยของจำนวนฟีโบนัชชีดัดแปลง ซึ่งพบว่าเศษที่ได้จากการหารจะซ้ำกันเป็นชุด และเมื่อพิจารณาจากหลักการหารสามารถจัดพจน์เพื่อให้เกิดการหารลงตัวด้วย นำไปสู่สมบัติการหารลงตัวจากผลบวกจำนวนฟีโบนัชชีดัดแปลง ทำให้ได้ทฤษฎีบท ดังนี้

สำหรับ $n \in \mathbb{N} \cup \{0\}$ ถ้า V_n เป็นจำนวนฟีโบนัชชีดัดแปลงเมื่อ $V_0 = 2$ และ $V_1 = 2$ แล้ว

1. $V_n \equiv 2(mod\ 4)$
2. $V_n + V_{n+6} + V_{n+12} \equiv 0(mod\ 3)$
3. $V_n + V_{n+1} + V_{n+2} + V_{n+3} \equiv 0(mod\ 4)$
4. $V_n + V_n + V_{n+4} + V_{n+8} + V_{n+12} + V_{n+16} \equiv 0(mod\ 5)$

ซึ่งสามารถแสดงได้ว่าเป็นจริง โดยการพิสูจน์โดยใช้หลักอุปนัยเชิงคณิตศาสตร์แบบเข้ม

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะวิทยาศาสตร์และนวัตกรรมดิจิทัล มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอำนวยความสะดวกในการทำงานวิจัยครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

มนตรี สามแปง, ปวีณา ก้อนคำ, และจุฑามาส สุขแยง. (2564). สมบัติบางประการของลำดับไตรโบนักชี-ลูคัสที่เกี่ยวข้องกับโมดุโล. *รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติ ราชภัฏสุราษฎร์ธานีวิจัย ครั้งที่ 16*. (น. 417-424). มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

Cheng, L. L., & Lang, M. L. (2013). Fibonacci numbers and identities. *The Fibonacci Quarterly, 51*(4), 330-338. https://doi.org/10.1080/00150517.2013.12427932

Dhanya, P., Nagaraja, K. M., & Reddy, P. S. K. (2021). A note on D'Ocagne's identity on generalized Fibonacci and Lucas numbers. *Palestine Journal of Mathematics, 10*(2), 751-755. https://pjm.ppu.edu/paper/878-note-d%E2%80%99ocagne%E2%80%99s-identity-generalized-fibonacci-and-lucas-numbers

Koshy, T. (2001). *Fibonacci and Lucas numbers with applications*. Wiley-Interscience. https://doi.org/10.1002/9781118033067

Singh, B., Gupta, V. K., & Yashwant, K. (2014). Generalized Fibonacci sequences and its properties. *Palestine Journal of Mathematics, 3*(1), 141-147. https://pjm.ppu.edu/vol_3_1/15.pdf