

วารสาร

ศรีปทุม ปริทัศน์

ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ISSN: 2985 - 1734 (Print)

ISSN: 2985 - 1742 (Online)

SRIPATUM REVIEW



SRIPATUM REVIEW
OF SCIENCE
AND TECHNOLOGY

ปีที่ 15 มกราคม – ธันวาคม 2566

Vol.15 January - December 2023



วารสารศรีปทุมปริทัศน์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี SRIPATUM REVIEW OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

วารสารศรีปทุมปริทัศน์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เป็นวารสารทางวิชาการที่มีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่ความรู้ทางวิชาการแก่บุคคลทั่วไป ทั้งแวดวงวิชาการและสังคม ส่งเสริม และกระตุ้นให้เกิดการวิจัยและการพัฒนาองค์ความรู้ในสาขาวิชาต่าง ๆ ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยสาขาของบทความที่รับตีพิมพ์ประกอบด้วย (1) General Computer Science (2) General Energy (3) General Engineering (4) Architecture และ (5) General Environmental Science โดยจัดพิมพ์ออกเผยแพร่ปีละ 1 ฉบับ ในเดือนธันวาคมของทุกปี โดยจัดส่งให้ กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (อว.) สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ (องค์การมหาชน) สำนักงานรับรองมาตรฐานและประเมินคุณภาพการศึกษา (องค์การมหาชน) (สมศ.) สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา (สกศ.) หน่วยงานและสถาบันการศึกษาต่าง ๆ

กองบรรณาธิการวารสารศรีปทุมปริทัศน์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มีความยินดีรับบทความวิจัย (Research article) บทความทางวิชาการ (Academic article) บทความปริทัศน์ (Review article) บทความวิจารณ์หนังสือ (Book review) ที่ยังไม่เคยเผยแพร่ในวารสารฉบับอื่นมาก่อน ผู้สนใจสามารถดูรายละเอียดได้ที่ <https://www.tci-thaijo.org/index.php/spurst>

กองบรรณาธิการ วารสารศรีปทุมปริทัศน์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ศูนย์ส่งเสริมการวิจัยและการประกันคุณภาพการศึกษา มหาวิทยาลัยศรีปทุม

2410/2 ถนนพหลโยธิน แขวงเสนานิคม เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

โทรศัพท์ : 0-2579-1111 ต่อ 1331, 1252, 1155

โทรสาร : 0-2579-1111 ต่อ 2187

Email : research@spu.ac.th

- กองบรรณาธิการสงวนสิทธิ์ในการพิจารณาและตัดสินใจตีพิมพ์บทความในวารสาร
- บทความทุกเรื่องจะได้รับการตรวจสอบทางวิชาการโดยผู้ทรงคุณวุฒิ แต่ข้อความและเนื้อหาในบทความที่ตีพิมพ์เป็นความรับผิดชอบของผู้เขียนแต่เพียงผู้เดียว มิใช่ความคิดเห็นและความรับผิดชอบของมหาวิทยาลัยศรีปทุม
- การคัดลอกอ้างอิงต้องดำเนินการตามการปฏิบัติในหมู่นักวิชาการโดยทั่วไป และสอดคล้องกับกฎหมายที่เกี่ยวข้อง

บทบรรณาธิการ

วารสารศรีปทุมปริทัศน์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เป็นวารสารระดับชาติที่ออกปีละ 1 ฉบับ สำหรับฉบับนี้เป็นปีที่ 15 ประจำเดือนมกราคม-ธันวาคม 2566 ซึ่งปัจจุบันอยู่ในฐานข้อมูลของศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (Thai-Journal Citation Index Centre: TCI) กลุ่มที่ 1 โดยวารสารศรีปทุมปริทัศน์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เกิดมาจากปณิธานของมหาวิทยาลัยศรีปทุม คือ “ปัญญา เชี่ยวชาญ เปิกบาน คุณธรรม” และปรัชญาที่ว่า “การศึกษาสร้างคน คนสร้างชาติ” โดยมุ่งหวังว่าวารสารฉบับนี้จะเป็นแหล่งข้อมูลทางการวิจัยและทางวิชาการระดับชาติทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสำหรับคณาจารย์ นักวิจัย นักวิชาการ และนักศึกษา

สำหรับวารสารศรีปทุมปริทัศน์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเล่มนี้ ยังคงเข้มข้นไปด้วยเนื้อหาสาระทางวิชาการ กองบรรณาธิการได้ให้ความสำคัญในการพิจารณาและคัดเลือกบทความที่มีคุณภาพมาลงตีพิมพ์ โดยทุกบทความได้ผ่านการกลั่นกรองจากกองบรรณาธิการและผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกที่ตรงสาขา เพื่อตรวจสอบคุณภาพของบทความก่อนลงตีพิมพ์ โดยผู้ประเมินไม่ทราบชื่อผู้แต่งและผู้แต่งไม่ทราบชื่อผู้ประเมินบทความ (Double-blind peer review) เพื่อให้วารสารฉบับนี้มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับระดับชาติและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริง สำหรับวารสารฉบับนี้ ประกอบด้วย บทความวิจัยจำนวน 8 เรื่อง เช่น “การศึกษาลักษณะแปรผันรอบวันของทัศนวิสัยในประเทศไทยและความสัมพันธ์กับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา” “การพัฒนาตัวแบบพยากรณ์ของปริมาณเชื้อเพลิงเพิ่มพิเศษสำหรับเครื่องบินแบบแอร์บัส A320-200 ทำการบินลงสนาม ท่ออากาศยานสุวรรณภูมิ: กรณีศึกษาสายการบินไทยสมายล์” “การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการประมาณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานประชากรสำหรับข้อมูลที่มีการแจกแจงปกติและมีค่านอกเกณฑ์” เป็นต้น

กองบรรณาธิการวารสารศรีปทุมปริทัศน์ มีความมุ่งมั่นที่จะพัฒนาวารสารฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีให้มีคุณภาพสูงขึ้นจนถึงระดับนานาชาติในอนาคต ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกทุกท่านที่กรุณาเป็นผู้ประเมินบทความอย่างมีคุณภาพให้กับทางกองบรรณาธิการ และขอเชิญชวนคณาจารย์ นักวิจัย นักวิชาการ นิสิต และนักศึกษา เสนอบทความเข้ารับการพิจารณากลั่นกรองตีพิมพ์ เพื่อเผยแพร่สู่สาธารณะ อันจะนำไปสู่การนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป โดยท่านสามารถส่งบทความต้นฉบับได้ที่กองบรรณาธิการวารสารศรีปทุมปริทัศน์ (ดังรายละเอียดท้ายเล่ม) และหากท่านมีข้อคิดเห็นหรือข้อเสนอแนะประการใดที่จะนำไปสู่การพัฒนาและปรับปรุงวารสารให้มีคุณภาพยิ่งขึ้น กองบรรณาธิการยินดีรับข้อคิดเห็นหรือข้อเสนอแนะนั้นด้วยความขอบคุณยิ่ง

Phai-boon Panyakopa

(ศาสตราจารย์ ดร.ไพบูลย์ ปัญญาคะโป)

บรรณาธิการ

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเผยแพร่ความรู้ทางวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแก่อาจารย์ นักวิชาการ นักวิจัย นิสิต นักศึกษา และบุคคลทั่วไป ทั้งแวดวงวิชาการและสังคมทั่วไป
2. เพื่อส่งเสริมและกระตุ้นให้เกิดการวิจัยและการพัฒนาองค์ความรู้ในสาขาวิชาต่าง ๆ ทางด้าน วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยสาขาของบทความที่รับตีพิมพ์ ประกอบด้วย (1) General Computer Science (2) General Energy (3) General Engineering (4) Architecture และ (5) General Environmental Science

เจ้าของ

มหาวิทยาลัยศรีปทุม

บรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ไพฑูริย์ ปัญญาคะโป

บรรณาธิการผู้พิมพ์ผู้โฆษณา

ศาสตราจารย์ ดร.ไพฑูริย์ ปัญญาคะโป

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.นวลตล เหล่าศิริพจน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศาสตราจารย์ ดร.มลิวรรณ บุญเสนอ	มหาวิทยาลัยศิลปากร
รองศาสตราจารย์ ดร.กิริติ ชยะกุลศิริ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
รองศาสตราจารย์ ดร.อัศม์เดช วานิชชินชัย	มหาวิทยาลัยมหิดล
รองศาสตราจารย์ จันทน์ เพชรานนท์	มหาวิทยาลัยพะเยา
รองศาสตราจารย์ ดร.เทพฤทธิ์ บัณฑิตวัฒนวงศ์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ กรวยสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เด่นชัย วรเดชจำเริญ	มหาวิทยาลัยศรีปทุม

ฝ่ายจัดการและเลขานุการกองบรรณาธิการ

อาจารย์สุชาดา ไชยหงษ์

ฝ่ายประชาสัมพันธ์ จัดจำหน่าย และสมาชิก

นางสาวอรกัญญา สุขแก้ว นางสาวนลินี กาลสุวรรณ

ฝ่ายศิลปกรรมและจัดทำรูปเล่ม

นางฉวีวรรณ สภาพ นายสุรตนต์ ชื่นตา

ฝ่ายพิสูจน์อักษร

ว่าที่ร้อยตรี สมเกียรติ แสงอรุณเฉลิมสุข

กำหนดการเผยแพร่

ปีละ 1 ฉบับ ประจำเดือน มกราคม – ธันวาคม

สถานที่จัดพิมพ์

บริษัท สยามสปอร์ต ซินดิเคท จำกัด (มหาชน) โทร. 0 2508 8000

CONTENTS

SRIPATUM REVIEW OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

บทความวิจัย

- 11 การศึกษาลักษณะแปรผันรอบวันของทัศนวิสัยในประเทศไทยและความสัมพันธ์กับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา
: ลัดดา ทะสะโส, ภัคพงศ์ พจนารณ
- 26 การพัฒนาตัวแบบพยากรณ์ของปริมาณเชื้อเพลิงเพิ่มพิเศษสำหรับเครื่องบินแบบแอร์บัส A320-200 ทำการบินลงสนาม ณ ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ : กรณีศึกษาสายการบินไทยสมายล์
: บุลเสฏฐ์ มณีไชยพล, วรพล วัฒนานนท์
- 41 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการประมาณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานประชากรสำหรับข้อมูลที่มีการแจกแจงปกติและมีค่านอกเกณฑ์
: นิธิภัทร กมลสุข
- 55 การประยุกต์ใช้วิธีการวางแผนงานที่มีลักษณะซ้ำกันร่วมกับการแลกเปลี่ยนระหว่างเวลากับต้นทุนสำหรับโครงการก่อสร้างถนน
: ธนิตเชษฐ์ ดวงโสม, ไพจิตร ผาวัน
- 71 การจำแนกชนิดอัญมณีเบื้องต้นผ่านโมบายแอปพลิเคชันด้วยกระบวนการเรียนรู้เชิงลึก
: ณัฐวดี หงษ์บุญมี, อนุชา ทำดีแท้
- 86 การพัฒนาระบบเฝ้าระวังช้างป่าบุกรุกในพื้นที่เกษตรกรรมเพื่อลดความขัดแย้งระหว่างคนและช้างด้วยเทคโนโลยีโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน
: วสุพล เผือกนำผล, วิชาญ ทุมทอง, ปวิศม ทองจริง
- 101 การประยุกต์ดัชนีความแตกต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์จากอากาศยานไร้คนขับเพื่อลดต้นทุนการใช้ปุ๋ยในการเพาะปลูกข้าวเจ้าพันธุ์ กข33
: เกียรติกุลไชย จิตต์เอื้อ, เกรียงไกร ทานา, ดี จันทร์ศุภฤกษ์, พัฒน์ชิตา เวชสาร, ยศวริศ พันธุ์เสนีย์
- 115 การสร้างแบบจำลองการวัดประสิทธิภาพการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกิจกรรมคลังสินค้า
: ชุตติเดช มั่นคงธรรม, ชณิชา หมอยาดี

จริยธรรมการตีพิมพ์ผลงานในวารสารศรีปทุมปริทัศน์

ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

1. บทบาทของบรรณาธิการ (Editor)

1.1 บรรณาธิการมีบทบาทหน้าที่ในการพิจารณาคุณภาพของบทความให้สอดคล้องกับจุดเน้นและขอบเขต (Focus and Scope) ของวารสาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเด็นของการลอกเลียนวรรณกรรม (Plagiarism) ก่อนตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสาร

1.2 คัดเลือกบทความที่ผ่านการพิจารณาคุณภาพจากผู้ทรงคุณวุฒิ และปรับแก้จากผู้เขียนบทความจนครบถ้วนสมบูรณ์ตามผลการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิแล้ว

1.3 พิจารณาบทความที่จะตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสาร โดยบทความต้องมีความครบถ้วนตามองค์ประกอบที่ระบุไว้ในคำแนะนำสำหรับผู้เขียน (Author Guidelines) กรณีเป็นบทความวิจัยต้องมีวิธีการวิจัยที่ถูกต้อง มีผลการวิจัยที่ชัดเจน น่าเชื่อถือ มีข้อค้นพบ และข้อเสนอแนะที่สอดคล้องกับวิธีการวิจัยและผลการวิจัย

1.4 ทำความเข้าใจกับผู้เขียนถึงประเด็นที่ไม่ชัดเจนในบทความ เช่น ข้อค้นพบที่ไม่สอดคล้องกับผลการวิจัย ความผิดพลาดของตัวเลข หรือภาพประกอบไม่ชัดเจน และสื่อสารไปยังผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความที่ได้รับทราบ

1.5 ปฏิเสธการรับตีพิมพ์เผยแพร่บทความที่เคยมีการเผยแพร่ไปแล้วก่อนหน้านี้ บทความที่ไม่มีการอ้างอิงแหล่งข้อมูล หรือแหล่งข้อมูลไม่อนุญาตให้นำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ เผยแพร่ซ้ำ หรือมีการละเมิดลิขสิทธิ์ รวมทั้งบทความที่ขาดจริยธรรม ใช้ภาษาที่ไม่ถูกต้องเหมาะสม แสดงออกถึงความรุนแรง และความไม่เสมอภาค

1.6 ไม่มีส่วนได้ส่วนเสีย ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อนกับผู้เขียน และผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

1.7 ไม่นำข้อมูลของผู้เขียน และผู้ประเมินบทความไปเผยแพร่ต่อในทางใดทางหนึ่ง

1.8 ไม่นำข้อมูลบางส่วนหรือทั้งหมดในบทความมาไปเป็นส่วนหนึ่งของผลงานตนเอง

2. บทบาทของผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ (Reviewer)

2.1 ทราบถึงกระบวนการคัดเลือกผู้ทรงคุณวุฒิตามนโยบายของวารสาร รับทราบนโยบายของวารสาร และกระบวนการพิจารณาบทความของวารสาร ทั้งวิธีการพิจารณา ระยะเวลา การรายงานผลการพิจารณา และการนำเสนอผลการพิจารณาเป็นอย่างดี

2.2 รับพิจารณาบทความเฉพาะสาขาที่มีความเชี่ยวชาญ

2.3 พิจารณาบทความโดยไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อนกับผู้เขียนบทความ

2.4 หากพบว่าบทความที่กำลังพิจารณาอยู่เป็นบทความที่มีการลอกเลียนวรรณกรรมหรือละเมิดลิขสิทธิ์ ต้องแจ้งให้บรรณาธิการทราบทันที

2.5 ให้ความคิดเห็นที่เป็นประโยชน์เพื่อช่วยเหลือผู้เขียนบทความ ให้สามารถเขียนบทความได้อย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ โดยปราศจากอคติทางด้านเชื้อชาติ ศาสนา เพศ และความเชื่อทางส่วนบุคคล

2.6 ประสานงานกับบรรณาธิการเพื่อขอข้อมูลเพิ่มเติม เมื่อพบปัญหาในระหว่างการพิจารณาคุณภาพบทความ โดยไม่สืบทายาทช่องทางการติดต่อกับผู้เขียนด้วยตนเอง

2.7 ไม่ปรับแก้บทความตามแนวทางการเขียนของตนเองหากบทความนั้นมีการใช้ภาษาที่เหมาะสมและชัดเจนอยู่แล้ว อาจดำเนินการเพียงให้ความคิดเห็นเท่าที่สำคัญและจำเป็นเพื่อให้ผู้เขียนบทความปรับแก้บทความให้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น

2.8 ไม่นำข้อมูลบางส่วนหรือทั้งหมดในบทความไปเป็นส่วนหนึ่งของผลงานตนเอง

3. บทบาทของผู้เขียน (Author)

3.1 ผู้เขียนได้รับทราบนโยบายและข้อกำหนดของวารสารเป็นอย่างดี รวมทั้งศึกษารายละเอียดคำแนะนำสำหรับผู้เขียน (Author Guidelines) อย่างดีแล้ว

3.2 ทำหน้าที่เป็นผู้เขียนบทความ หรือผู้เขียนร่วมอย่างแท้จริง

3.3 ทราบถึงการไม่ละเมิดทรัพย์สินทางปัญญา การลอกเลียนวรรณกรรม และผลประโยชน์ทับซ้อน และปฏิบัติตามอย่างเคร่งครัด

3.4 บทความที่ผู้เขียนส่งมายังวารสาร ไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่ หรือเป็นส่วนหนึ่งของบทความที่เคยตีพิมพ์เผยแพร่มาก่อนแล้ว

3.5 ดำเนินการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการอ้างอิงเอกสารตามที่วารสารกำหนด

3.6 ผู้เขียนต้องดำเนินการปรับปรุงแก้ไขบทความตามความเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิให้แล้วเสร็จตามระยะเวลาที่กำหนด

3.7 ผู้เขียนต้องมีความซื่อสัตย์ในการรายงานผลการวิจัย โดยไม่สรุปและอภิปรายผลการวิจัยตามความคิดเห็นและความรู้สึกของตนเอง

4. จริยธรรมการวิจัยในคนหรือสัตว์ (ถ้ามี)

หากผลงานมีการใช้ข้อมูลจากการทำวิจัยในคนหรือสัตว์ ผู้เขียนต้องแสดงให้เห็นถึงการได้รับการรับรองจริยธรรมการวิจัยในคนและสัตว์ในบทความให้ชัดเจน

ผู้ทรงคุณวุฒิกลั่นกรองบทความ

Reviewers

ศาสตราจารย์ ดร.โกสุม จันทร์ศิริ
ศาสตราจารย์ ดร.จงจิตร หิรัญลาภ
ศาสตราจารย์ ดร.ชิตชนก เหลือสินทรัพย์
ศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ยุพาพิน

ศาสตราจารย์ ดร.ไพบูลย์ ปัญญาคะโป
ศาสตราจารย์ ดร.สันทัต ศิริอนันต์ไพบูลย์
ศาสตราจารย์ ดร.สุทัศน์ ยกส้าน
รองศาสตราจารย์ ดร.กิตติภูมิ รอดสิน
รองศาสตราจารย์ ดร.มัลลิกา ปัญญาคะโป
รองศาสตราจารย์ ดร.กมล บุชบา
รองศาสตราจารย์ ดร.กมลวัลย์ ลือประเสริฐ
รองศาสตราจารย์ ดร.กิตติชัย ธนทรัพย์สิน
รองศาสตราจารย์ ดร.ชนิษฐา ชัยรัตนาวรรณ
รองศาสตราจารย์ ดร.จักรพงษ์ พงษ์เพ็ง

รองศาสตราจารย์ ดร.จารุวัตร เจริญสุข

รองศาสตราจารย์ ดร.เจริญชัย โขมพัตรภรณ์
รองศาสตราจารย์ ดร.ชิต เหล่าวัฒนา
รองศาสตราจารย์ ดร.ชุมพล อันตรเสน
รองศาสตราจารย์ ดร.ฐิติวดี ชัยวัฒน์
รองศาสตราจารย์ ดร.เทพฤทธิ์ บัณฑิตวัฒนาวงศ์
รองศาสตราจารย์ ดร.เทอดศักดิ์ รองวิริยะพานิช
รองศาสตราจารย์ ดร.ธัญญา วสุศรี
รองศาสตราจารย์ ดร.ธนาคม สุนทรชัยนาคแสง
รองศาสตราจารย์ ดร.ธรรมศักดิ์ รุจิระยรรยง
รองศาสตราจารย์ ดร.ธิดาเดียว มยุรีสวรรค์
รองศาสตราจารย์ ดร.นวลวรรณ สุนทรภิชช์
รองศาสตราจารย์ ดร.นิพนธ์ เจริญกิจการ
รองศาสตราจารย์ ดร.บดินทร์ รัชมีเทศ
รองศาสตราจารย์ ดร.บรรยง โตประเสริฐพงศ์
รองศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา กอเจริญ
รองศาสตราจารย์ ดร.ปิติ สุนทรสุขกุล
รองศาสตราจารย์ ดร.ปิยะ ไควนทวีวัฒน์
รองศาสตราจารย์ ดร.ปิยะ โชติกไกร
รองศาสตราจารย์ ดร.พรฤดี เนติโสภาคกุล

รองศาสตราจารย์ ดร.พัฒนา อนุรักษพงษ์ธร
รองศาสตราจารย์ ดร.พานิช วุฒิพฤกษ์
รองศาสตราจารย์ ดร.พิรุทธิ์ ชาญเศรษฐ์กุล
รองศาสตราจารย์ ดร.พูลพงศ์ สุขสว่าง
รองศาสตราจารย์ ดร.ภคพงศ์ พจนารถ
รองศาสตราจารย์ ดร.มงคล กงศ์หิรัญ
รองศาสตราจารย์ ดร.มณิศรา พิริยวิรุฒม์
รองศาสตราจารย์ ดร.ยุทธชัย บรรเทงจิตร
รองศาสตราจารย์ ดร.ยุวณูช กลาดี

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยศิลปากร
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยรังสิต
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีจิตรลดา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยบูรพา
สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยนครพนม

รองศาสตราจารย์ ดร.รัฐพล อันแผ้ว
รองศาสตราจารย์ ดร.รุ่งรัศมี บุญดาว
รองศาสตราจารย์ ดร.เรืองรอง สุธีสถิระ
รองศาสตราจารย์ ดร.วรา วราวิทย์

รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย ธิจิรวนิช
รองศาสตราจารย์ ดร.วารุณี เปรมานนท์
รองศาสตราจารย์ ดร.วิเชียร ชุตินาสกุล
รองศาสตราจารย์ ดร.วีระศักดิ์ ลิขิตเรืองศิลป์
รองศาสตราจารย์ ดร.วีระ บุญจริง

รองศาสตราจารย์ ดร.ศิวาพร ลงยันต์
รองศาสตราจารย์ ดร.ศุภกฤต มาลัยกฤษณะขลิ
รองศาสตราจารย์ ดร.สกนธ์ คล่องบุญจิต

รองศาสตราจารย์ ดร.สนธิ์พีร์ เอมมณี
รองศาสตราจารย์ ดร.สมเจตน์ พัทธพันธ์
รองศาสตราจารย์ ดร.สมโพธิ วิวิธเกตุวงศ์
รองศาสตราจารย์ ดร.สร้อยดาว วินิจนันท์
รองศาสตราจารย์ ดร.สายันต์ ศิริมนตรี
รองศาสตราจารย์ ดร.สุทัศน์ สีสาทวิวัฒน์
รองศาสตราจารย์ ดร.สุธาริน สถาปัตตานนท์
รองศาสตราจารย์ ดร.สุภารัตน์ นิวิศพงศ์

รองศาสตราจารย์ ดร.สุวิมล สัจจาณิษฐ์
รองศาสตราจารย์ ดร.แหลมทอง เหล่าคงถาวร

รองศาสตราจารย์ ดร.อนงค์นาฏ ศรีวิหค
รองศาสตราจารย์ ดร.อนันต์ ผลเพิ่ม
รองศาสตราจารย์ ดร.อนันต์ มุ่งวัฒนา
รองศาสตราจารย์ ดร.อมร พิमानมาศ
รองศาสตราจารย์ ดร.อรรถกร เก่งพล

รองศาสตราจารย์ ดร.อลิสรา ทรงศรีวิทยา
รองศาสตราจารย์ ดร.อาริต ธรรมโน

รองศาสตราจารย์ ดร.อาริต ธรรมโน

รองศาสตราจารย์ ดร.อัศม์เดช วานิชชินชัย
รองศาสตราจารย์ น.อ.ดร.เกียรติกุลไชย จิตต์เอื้อ
รองศาสตราจารย์ เรือเอก ดร.สราวุธ ลักษณะโต
รองศาสตราจารย์ ดร.เกษมสันต์ มโนมัยพิบูลย์
รองศาสตราจารย์ ชาลี ตระกูลการ

รองศาสตราจารย์ ยืน ภู่วรรณ
รองศาสตราจารย์ ศิริชัย พงษ์วิชัย
รองศาสตราจารย์ สถาพร ขาดาคม

มหาวิทยาลัยศิลปากร
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
พระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยสยาม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
พระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
พระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง
มหาวิทยาลัยมหิดล
โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช
มหาวิทยาลัยบูรพา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
พระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
พระนครเหนือ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กันยารัตน์ ศรีวิสุทธิกุล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติภูมิ รัตนจันทร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คณิศ พันธ์สวาสดี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.งามนิจ ชื่นบุญงาม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชลธิศ เอี่ยมวรุดมิกุล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยมงคล ลิ้มเพียรชอบ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุมพล ยวงใย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพร ยวงเงิน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เด่นชัย วรเดชจำเริญ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนา สุขวาริ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรพจน์ เวศพันธ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นงลักษณ์ บุญรัตนกิจ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภวรรณ รัตสุข

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นำพล มหายศนันท์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิพัทธ์ จงสวัสดิ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญอ้อม โฉมทิ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เบญจภรณ์ ประภักดิ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประณต บุญไชยอภิสิทธิ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประภาพรณ เกษราพงศ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงษ์เทพ หาญพัฒน์กิจ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงษ์ศักดิ์ กิรติวินทร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพจิตร ผาวัน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาสพิรุฬห์ วัชรศรีสำเร็จ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนต์ศักดิ์ พิมสาร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนูกิจ พานิชกุล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันฐณพงษ์ คงแก้ว

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรลักษณ์ วงศ์โดยหวัง ศิริเจริญ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัชรพล สุโหตุ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัฒนชัย สมิทธาการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศศิพร อุษณวสิน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เศรษฐชัย ชัยสนิทด

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ กรวยสวัสดิ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรศักดิ์ ธนชุตีวัต

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพักตรา สุทธสุภา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพัฒตรา ศรีญาณลักษณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภชัย วงศ์บุญยัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาสพงษ์ ภูทำนอง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรกิจ ท่วมเพิ่มทรัพย์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรศักดิ์ มั่งสิงห์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรศิษฐ์ ไรจนันต์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.หทัยเทพ วงศ์สุวรรณ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนรรฆ ชันชะวนะ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
พระนครเหนือ

มหาวิทยาลัยศิลปากร

มหาวิทยาลัยมหิดล

มหาวิทยาลัยศรีปทุม

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

มหาวิทยาลัยศรีปทุม

มหาวิทยาลัยศรีปทุม

มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

มหาวิทยาลัยศิลปากร

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยมหิดล

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
พระนครเหนือ

มหาวิทยาลัยศรีปทุม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร

ลาดกระบัง

สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

มหาวิทยาลัยศิลปากร

มหาวิทยาลัยนเรศวร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยศรีปทุม

มหาวิทยาลัยศรีปทุม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

มหาวิทยาลัยศิลปากร

มหาวิทยาลัยศรีปทุม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

พระนครเหนือ

มหาวิทยาลัยศรีปทุม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนันต์ พิณโสภณ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โอฬาริก สุรินตะ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์จักรินทร์ กลั่นเงิน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์เชียง เกาซิด

ผู้ช่วยศาสตราจารย์เพชร นันทิวัฒนา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์วัชร เครือรัฐติกา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิชัย บุญวาต

ผู้ช่วยศาสตราจารย์อำนาจ วังจัน

พันเอก ดร.พิศุทธิ์ ดารารัตน์

พันโท ดร.ต้องการ แก้วเฉลิมทอง

ดร.จักรพันธ์ อร่ามพงษ์พันธ์

ดร.จันทร์ศิริ สิงห์เถื่อน

ดร.ชาญณรงค์ บาลมงคล

ดร.ชาลี วรกุลพิพัฒน์

ดร.ชูพันธุ์ ชมภูจันทร์

ดร.ธัญภัสสร ทองเย็น

ดร.ประกอบ ขาคีภูเกตุ

ดร.ประภาพร รัตนธารัง

ดร.พระพิพัฒน์ ภาสบุตร

ดร.พีรเดช ณ น่าน

ดร.มงคล อัสวดีลภพ

ดร.วรพงษ์ สิวพัฒนกิจ

ดร.สมรักษ์ เพชรราตรี

ดร.สิรินธร ลิ้มปนาท

ดร.สุคนทิพย์ สุภาจันทร์

ดร.อภิบาล พลกษานุบาล

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต

สถาบันเทคโนโลยีจิตรลดา

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยศิลปากร

มหาวิทยาลัยศรีปทุม

กรมวิทยาศาสตร์ทหารบก

โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์
แห่งชาติ สวทช.

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

กสท.โทรคมนาคม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กสท.โทรคมนาคม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

พระนครเหนือ

การศึกษาลักษณะแปรผันรอบวันของทัศนวิสัยในประเทศไทยและความสัมพันธ์กับ ปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา

ลัดดา ทะสะโล^{1,*}, ภัคพงศ์ พจนารถ²

^{1,2} คณะบริหารการพัฒนาสิ่งแวดล้อม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

Received: 7 June 2022

Revised: 29 September 2022

Accepted: 6 October 2022

บทคัดย่อ

ทัศนวิสัยในการมองเห็นนับเป็นปัจจัยที่สำคัญในชีวิตประจำวัน และถือเป็นพารามิเตอร์มาตรฐานทางอุตุนิยมวิทยา ดังนั้นในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาลักษณะแปรผันรอบวัน (Diurnal Variation) ของทัศนวิสัยในประเทศไทยและความสัมพันธ์รอบวัน (Diurnal Correlation) ของทัศนวิสัยกับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา และมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะแปรผันรอบวันของทัศนวิสัย และปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา รวมทั้งศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา ที่มีผลต่อทัศนวิสัยในประเทศไทย โดยศึกษาจากข้อมูลหอดูดาวประกอบด้วยข้อมูลทัศนวิสัย ข้อมูลเมฆ ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ และข้อมูลปริมาณน้ำฝน ราย 3 ชั่วโมง ระยะเวลา 10 ปี (พ.ศ. 2552 – 2561) จำนวน 43 สถานี (ตัวแทนจากทุกภูมิภาคในประเทศไทย) และวิเคราะห์ข้อมูลหาความสัมพันธ์โดยใช้การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์จากค่า Rescaling (min-max normalization) ของทัศนวิสัยกับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา พบว่าลักษณะแปรผันรอบวันของทัศนวิสัยในประเทศไทยและความสัมพันธ์รอบวันของทัศนวิสัยกับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา มีลักษณะและความสัมพันธ์ของการแปรผันในรอบวันที่สอดคล้องกัน พบว่าความชื้นสัมพัทธ์มีความสัมพันธ์กับทัศนวิสัยในรอบวันมากที่สุด มากกว่าร้อยละ 90 ยกเว้นภาคใต้ฝั่งตะวันตกที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคิดเป็นร้อยละ 66.65 และส่งผลทำให้ทัศนวิสัยในการมองเห็นต่ำลง เมื่อเทียบกับปริมาณเมฆ และปริมาณน้ำฝน เนื่องจากในรอบวัน 24 ชั่วโมง ความชื้นสัมพัทธ์นั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดรอบวัน โดยปัจจัยที่มีผลต่อความชื้นสัมพัทธ์ในรอบวัน ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ การเปลี่ยนแปลงของความกดอากาศประจำวัน ลักษณะทางกายภาพพื้นที่ที่ตรวจวัด และเวลาในการตรวจวัด

คำสำคัญ: ทัศนวิสัย ความชื้นสัมพัทธ์ ปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา

* ผู้ประสานงานหลัก; อีเมล: ladda.tas@stu.nida.ac.th

Diurnal Variation of Visibility with its related Meteorological Factors in Thailand

Ladda Tasaso^{1,*}, Pakpong Pochanart²

^{1,2}Graduate School of Environmental Development Administration,
National Institute of Development Administration

Received: 7 June 2022

Revised: 29 September 2022

Accepted: 6 October 2022

Abstract

Visibility is an important factor in our daily life and visibility is considered a standard meteorological parameter. The objective was to study diurnal variation of visibility in Thailand and its related meteorological factors. A research study of secondary data consisting of visibility data, cloud data, relative humidity data and rainfall data for a weather 3 hours for 10 years (2009 - 2018) of 43 stations (from all regions in Thailand). To study the diurnal variation and analyze the correlation by using the rescaling (min-max normalization) analysis of visibility and meteorological factors. The results revealed that the diurnal variation and diurnal correlation of visibility and meteorological factors were consistent. Relative humidity has the greatest impact on changes in visibility diurnal variation. Relative humidity greater than 90 percent, except for the Southern (West Coast) is 66.65 percent and this results in low visibility because of the 24-hour variations of the relative humidity and light scattering of aerosols depends on ambient relative humidity since hygroscopic particles absorb significant water at high relative humidity. The factor affecting relative humidity and cloud was air temperature, diurnal variation of pressure, physical characteristics of measurement area and measurement time.

Keywords: Visibility, Relative Humidity, Meteorological Factors

* Corresponding Author; E-mail: ladda.tas@stu.nida.ac.th

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ทัศนวิสัยในการมองเห็นนับเป็นปัจจัยที่สำคัญในชีวิตประจำวันโดยเฉพาะในอุตสาหกรรมการบินและการจราจร นอกจากนี้ทัศนวิสัยยังมีความสำคัญในด้านสุนทรียภาพ จิตวิทยา การท่องเที่ยว และรวมถึงการคงไว้ของภูมิทัศน์และทิวทัศน์ (Sabetghadam, et al., 2012) ทัศนวิสัยจะถูกวัดอย่างสม่ำเสมอที่สถานีอุตุนิยมวิทยาทั่วโลกและถือเป็นพารามิเตอร์มาตรฐานทางอุตุนิยมวิทยา ในกรณีที่มีสภาพอากาศไม่แน่นอน เช่น หมอกและฝน ทัศนวิสัยจะเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพของคุณภาพอากาศ เนื่องจากสามารถรับรู้การลดลงของทัศนวิสัยได้ง่ายแม้ด้วยตาเปล่า (Bäumer et al., 2008) โดยทั่วไปการมองเห็นที่ดีเป็นคุณสมบัติที่ต้องการในการหาที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ และไม่ควรถูกละเลยความสำคัญ เนื่องจากทัศนวิสัยที่ลดลงเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพอากาศที่ไม่ดี นอกจากนี้การเสื่อมสภาพในการมองเห็นอาจเป็นอันตรายต่อความปลอดภัยของมนุษย์ ตัวอย่างเช่น ทัศนวิสัยต่ำอาจนำไปสู่อุบัติเหตุบนท้องถนน ทางรถไฟ ทางทะเลและทางอากาศ และทำให้เกิดความกังวลต่อความปลอดภัยสาธารณะ รวมทั้งสามารถส่งผลกระทบต่อ การขนส่งสินค้าและผู้คน ไม่ว่าจะเป็นทางรถไฟ ถนน ทะเล หรือทางอากาศ เช่นเดียวกับการท่องเที่ยวก็มักขึ้นอยู่กับ ทัศนวิสัยที่ดี เพื่อชื่นชมจุดที่น่าสนใจ ตัวอย่างเช่น การศึกษาที่แกรนด์แคนยอนพาร์คในสหรัฐอเมริกาแสดงให้เห็นว่า ความถี่ของผู้มาเยือนในอุทยานลดลงเมื่อทัศนวิสัยลดลง (Singh, Bloss and Pope, 2017)

สาเหตุของการเปลี่ยนแปลงของทัศนวิสัยนั้นอาจเกิดจากการกระเจิงของแสง และการดูดซับอนุภาคและก๊าซ ในบรรยากาศ ที่สามารถกำเนิดจากแหล่งธรรมชาติหรือมนุษย์ ซึ่งจากการศึกษาที่เมืองเตหะราน ประเทศอิหร่าน พบว่าปัญหาทัศนวิสัยที่ลดลงนั้นเกิดในพื้นที่เมืองมากกว่าพื้นที่ที่มีประชากรเบาบางและพื้นที่ที่มีมลภาวะน้อยกว่า และแนวโน้มที่ทัศนวิสัยลดลงจะสังเกตได้ในช่วงฤดูหนาวตามด้วยฤดูใบไม้ผลิฤดูใบไม้ร่วงและฤดูร้อน โดยแนวโน้ม การลดการมองเห็นเกิดขึ้นสำหรับทุกสถานี (Sabetghadam et al., 2012) ในสถานการณ์ปัจจุบัน ปัญหาทางสภาวะแวดล้อมที่รุนแรงขึ้นเรื่อย ๆ อันมีสาเหตุมาจากการดำเนินการทางอุตสาหกรรมที่เพิ่มขึ้นอย่างมาก เพื่อให้เพียงพอ กับความต้องการของประชากรที่ทวีจำนวนขึ้นอย่างมหาศาล ทำให้เกิดมลพิษทางอากาศ และก๊าซเรือนกระจกปลดปล่อย ออกสู่บรรยากาศ จนเป็นเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศที่ยังส่งผลกระทบต่อผลกระทบจากมลพิษบางกลุ่ม ยิ่งขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้หนึ่งในปัญหามลพิษทางอากาศในปัจจุบันที่โลกกำลังเผชิญอยู่ก็คือ ปัญหาฝุ่นละอองจาก อุตสาหกรรม การคมนาคม เกษตรกรรม และปัญหามลพิษจากภัยธรรมชาติ ซึ่งปัญหาเหล่านี้เป็นปัญหาที่พบได้อย่าง ชัดเจน (Chotipong, 2018) ส่งผลกระทบต่อการมองเห็นหรือทัศนวิสัย กลายเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อม เมื่อมองจาก แนวคิดและหลักปฏิบัติในการบริหารจัดการความเสี่ยงจากภัยพิบัติ ทัศนวิสัยนั้นส่งผลกระทบต่อการจราจรและ การคมนาคมทุกรูปแบบ ทั้งทางบก ทางน้ำ และทางอากาศ (Department of Disaster Prevention and Mitigation, 2014) รวมทั้งเหตุการณ์ทัศนวิสัยต่ำอาจนำไปสู่การลดกำลังการผลิต ความล่าช้า และการสูญเสียทาง เศรษฐกิจได้อีกด้วย (Kneringer et al., 2019)

จากสถานการณ์ปัญหาทัศนวิสัยในประเทศไทย ทั้งในเรื่องของฝุ่นละอองที่เป็นมลพิษทางอากาศที่เป็นปัญหา หลักในกรุงเทพมหานครและชุมชนขนาดใหญ่ ปัญหาหมอกควันจากไฟป่าในภาคเหนือที่ลอยปกคลุมในระดับต่ำ (Khaosod Online, 2017) ปัญหาหมอกควันที่เกิดขึ้นเป็นประจำในพื้นที่ภาคใต้จากการเผาไหม้บนเกาะสุมาตราใน ประเทศอินโดนีเซีย (Matichon Online, 2019) ส่งผลกระทบต่อการคมนาคมและสุขภาพของประชาชน อีกทั้ง ทัศนวิสัยต่ำยังส่งผลเสียต่อการปฏิบัติการบิน โดยเฉพาะสนามบินและเครื่องบินขนาดเล็กจะได้รับผลกระทบอย่างมาก โดยทัศนวิสัยนั้นสามารถลดลงเหลือน้อยกว่า 1 กิโลเมตรด้วยเหตุผลทางกายภาพหลายประการ เช่น หมอก หรือฝน

หรือหิมะโปรยปราย (Hyvärinen et al., 2007) สำหรับผู้พยากรณ์ที่มีประสบการณ์สามารถรู้ได้ว่าสภาพอากาศประเภทใดที่เกี่ยวข้องกับเหตุการณ์เหล่านี้มากที่สุด ซึ่งจากข้อมูลย้อนหลังทางอุตุนิยมวิทยานั้นมีความสำคัญ อย่างไรก็ตามหากนักพยากรณ์ไม่สามารถพึ่งพาประสบการณ์ส่วนตัวเพียงอย่างเดียวได้ อย่างน้อยที่สุดผู้พยากรณ์ต้องศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น การกระจายทิศทางลมและหมอกในแต่ละเดือน โดยการแจกแจงแบบดั้งเดิมในการประมาณค่าปัจจัยของสภาพอากาศที่ทัศนวิสัยต่ำ และควรตรวจสอบวิธีการทางสถิติขั้นสูงเพิ่มเติม (Hyvärinen et al., 2007)

ข้อมูลจากงานวิจัยที่เมืองหนานจิง ประเทศจีน ในช่วงปี พ.ศ. 2547 ทัศนวิสัยจากดัชนีมลภาวะทางอากาศ (API) และพารามิเตอร์ทางอุตุนิยมวิทยา ได้รับการวิเคราะห์โดยใช้วิธีการทางสถิติเพื่อศึกษาลักษณะของการมองเห็นและปัจจัยที่มีผลกระทบที่เกี่ยวข้อง ค่าเฉลี่ยของการมองเห็นในระหว่างปีที่ศึกษา คือ 8.8 กม. โดย 57.9% ของค่าเฉลี่ยรายวันน้อยกว่า 10 กม. การมองเห็นโดยเฉลี่ยต่อปีแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงรายวันที่สำคัญโดยมีทัศนวิสัยที่น้อยถึง 6.6 กม. ที่ 07.00 น. ตามเวลาท้องถิ่น และสูงสุด 10.7 กม. ที่ 16.00 น. โดยพบว่าความผันแปรของฤดูกาลส่งผลกับค่าทัศนวิสัย (Deng et al., 2011)

ดังนั้นการศึกษานี้ ผู้ศึกษาจึงสนใจศึกษาลักษณะแปรผันรอบวันของทัศนวิสัยในประเทศไทยและความสัมพันธ์รอบวันของทัศนวิสัยกับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา เนื่องจากลักษณะแปรผันรอบวันของทัศนวิสัย ถือว่ามีความสำคัญในชีวิตประจำวันโดยเฉพาะในอุตสาหกรรมการบิน การจราจร และคมนาคมทุกชนิด ซึ่งในแต่ละวัน แต่ละโอกาสนั้น ทัศนวิสัยในการมองเห็นอาจจะแตกต่างกันไปด้วยหลายเหตุผลทั้งเกิดจาก ฝุ่นควัน หมอก ฝนตก มลพิษหรือปัจจัยอื่น ๆ ทางอุตุนิยมวิทยา โดยเฉพาะในทางการบินทัศนวิสัยมีความสำคัญเป็นอย่างมากในการนำเครื่องบินวิ่งขึ้นและลงจอด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่มีสภาพอากาศไม่แน่นอน สภาพอากาศเลวร้าย ทัศนวิสัยจะเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพของคุณภาพอากาศได้เป็นอย่างดี เนื่องจากสามารถรับรู้การลดลงของทัศนวิสัยได้ง่ายแม้ด้วยตาเปล่า ทั้งนี้ การศึกษาลักษณะแปรผันรอบวันของทัศนวิสัย ยังสามารถใช้ประกอบการวางแผนการคมนาคม และการประเมินคุณภาพอากาศเบื้องต้นในรอบวัน ให้สามารถวางแผนเบื้องต้น หรือรับมือกับสภาพอากาศในรอบวันได้อีกด้วย โดยศึกษาจากปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาที่คาดว่าจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทัศนวิสัย ได้แก่ ปริมาณเมฆ ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณน้ำฝน ในระยะเวลา 10 ปี (พ.ศ. 2552 – พ.ศ. 2561) จำนวน 43 สถานี (ตัวแทนจากทุกภูมิภาคในประเทศไทย)

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาลักษณะการแปรผันรอบวัน และความสัมพันธ์รอบวันของทัศนวิสัยกับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ ปริมาณเมฆ ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณน้ำฝน ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของทัศนวิสัยในประเทศไทย

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทัศนวิสัยได้รับผลกระทบจากปฏิกิริยาทางกายภาพของแสงกับอนุภาคและก๊าซในชั้นบรรยากาศ อย่างไรก็ตามการมองเห็นนั้นเกี่ยวข้องกับแสงที่ถูกดูดซับและกระจัดกระจายไปตามชั้นบรรยากาศ ทัศนวิสัยเป็นกระบวนการของการรับรู้สภาพแวดล้อมผ่านการใช้ระบบตาและสมอง (Malm, 2016)

Kneringer et al. (2019) พบว่า สภาวะทัศนวิสัยต่ำที่สนามบินส่งผลกระทบต่อการบินทางอากาศเกี่ยวกับความปลอดภัยการบิน และประสิทธิภาพทางเศรษฐกิจของสนามบินและสายการบิน ดังนั้นการคาดการณ์การมองเห็นต่ำที่เชื่อถือได้จึงมีความจำเป็นสำหรับการวางแผนยุทธวิธีของการบิน ซึ่งสาเหตุหลักที่สำคัญสองประการที่ทำให้เกิดสภาวะทัศนวิสัยต่ำ คือปรากฏการณ์สภาพอากาศ ได้แก่ หมอกและพายุเมฆที่ต่ำ (ซึ่งดูจากความสูงของฐานเมฆ) การขยายตัวและการกระจายของหมอกโดยทั่วไปขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความชื้น และศูนย์กลางของการควบแน่นในมวลอากาศ ซึ่งอย่างไรก็ตามแม้จะมีการทดลองภาคสนามต่าง ๆ ผลกระทบโดยรวมของกระบวนการทางกายภาพบางอย่างก็ยังไม่ทราบถึงความซับซ้อนของกระบวนการที่ทำให้ทัศนวิสัยต่ำทำให้การคาดการณ์เป็นไปได้ยาก

Huo and Lu (2009) กล่าวไว้ว่า ทัศนวิสัย คือระยะทางสูงสุดที่ผู้สังเกตการณ์สามารถมองเห็นรูปร่างของวัตถุเทียบกับเส้นขอบฟ้า ซึ่งทัศนวิสัยส่วนใหญ่ลดลงจากการมีอนุภาคของละอองลอย (ฝุ่นควันและหมอกควัน) และปรากฏการณ์ของน้ำในอากาศ (Hydrometeors) (หยดน้ำขนาดใหญ่หรือผลึกน้ำ $>5 \mu\text{m}$) ที่เกิดขึ้น เช่น ฝน หมอก เมฆ และหิมะ ซึ่งเห็นได้ชัดว่าละอองลอยในบรรยากาศมากขึ้นจะทำให้ทัศนวิสัยลดลง

วิธีดำเนินการวิจัย

การรวบรวมและการเตรียมข้อมูล

การศึกษาลักษณะแปรผันรอบวันของทัศนวิสัยในประเทศไทยและความสัมพันธ์รอบวันกับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา ศึกษาจากข้อมูลหัตถ์ภูมิจากกรมอุตุนิยมวิทยาที่ได้เก็บรวบรวมไว้ โดยขอบเขตข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์เป็นข้อมูลหัตถ์ภูมิราย 3 ชั่วโมง ระยะเวลา 10 ปี (พ.ศ.2552 – 2561) เลือจากสถานีศูนย์ สถานีใหญ่ในภูมิภาคให้ครอบคลุมในแต่ละภูมิภาค (โดยที่สถานีตัวแทนนั้นเป็นสถานีที่มีข้อมูลครบถ้วนครอบคลุมระยะเวลาที่ศึกษาวิจัย) จำนวน 43 สถานี (ตัวแทนจากทุกภูมิภาคในประเทศไทย) ที่ครอบคลุมทั้งประเทศ จากสถานีทั้งหมดจำนวน 123 สถานี ซึ่งแบ่งเป็น 5 ภูมิภาค (การแบ่งภาคของประเทศไทยในทางอุตุนิยมวิทยา พิจารณาจากรูปแบบภูมิอากาศ) ได้แก่ ภาคเหนือ จำนวน 11 สถานี ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จำนวน 9 สถานี ภาคกลาง จำนวน 8 สถานี ภาคตะวันออก จำนวน 5 สถานี และภาคใต้ (ภาคใต้ฝั่งตะวันออกและภาคใต้ฝั่งตะวันตก) จำนวน 10 สถานี ศึกษาจากข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ (1) ข้อมูลทัศนวิสัย (การตรวจวัดทัศนวิสัย ผู้ตรวจจะอาศัยเป้าหมายที่สำคัญในการมองเห็นในแนวระดับ (แนวราบ) โดยสังเกตจากอาคารสิ่งก่อสร้าง สภาพภูมิประเทศตามธรรมชาติ เมื่อที่หมายนั้น ๆ มัวลงหรือจางไปจากที่เคยสังเกตเห็นในอากาศที่แจ่มใสแล้วถือว่าเห็นไม่ชัด ซึ่งเป้าหมายที่สังเกตนั้นได้ทำการวัดระยะทางด้วยกล้องวัดระยะทางไว้แล้ว ทำให้ทราบระยะทางที่แน่นอน มีหน่วยวัดเป็น เมตร หรือ กิโลเมตร) (2) ข้อมูลเมฆ (การตรวจวัดเมฆ ทำการตรวจวัดด้วยสายตา ผู้ตรวจจะหันหน้าไปทางทิศใดทิศหนึ่ง แล้วตรวจดูชนิดและความสูงของเมฆ ชั้นของเมฆ จำนวนของเมฆ โดยแบ่งท้องฟ้าด้านที่สังเกตออกเป็น 5 ส่วน หลังจากนั้นหันหลังกลับตรวจดูเมฆตามแบบเดิม แล้วแบ่งท้องฟ้าด้านที่สังเกตออกเป็น 5 ส่วน ดังนั้น จากการตรวจชนิดและจำนวนของเมฆ ทั้งท้องฟ้าจะได้ 10 ส่วน) (3) ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ (การวัดความชื้นสัมพัทธ์ คือการวัดอัตราส่วนร้อยละของปริมาณไอน้ำที่มี

อยู่จริงต่อมวลของไอน้ำในตัว แสดงหน่วยการวัดเป็น % โดยคำนวณหาความชื้นสัมพัทธ์ได้จากการตรวจวัดความชื้นของบรรยากาศ โดยใช้เครื่องมือ Psychrometer) และ (4) ข้อมูลปริมาณน้ำฝน (การวัดปริมาณน้ำฝน มีหน่วยวัดเป็นมิลลิเมตร โดยมีเครื่องวัดแบบดิจิตอล Tipping rain gauge มีเซ็นเซอร์วัดน้ำฝนที่เก็บ และวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณน้ำฝน)

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. วิเคราะห์ลักษณะแปรผันรอบวันของทัศนวิสัยในประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลเฉลี่ย 10 ปี จากข้อมูลทัศนวิสัยราย 3 ชั่วโมง ของ 43 สถานี เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงรอบวัน (Diurnal Variation) ใน 24 ชั่วโมง โดยวิเคราะห์ข้อมูลจากข้อมูลทัศนวิสัยในแต่ละสถานี ทำการวิเคราะห์จากค่าสถิติเบื้องต้นของข้อมูล โดยใช้โปรแกรมสเปรดชีตและแสดงผลออก เพื่อนำไปวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงในลำดับต่อไป

2. วิเคราะห์ความสัมพันธ์รอบวันของทัศนวิสัยกับปัจจัยอื่น ๆ ทางอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ ข้อมูลเมฆ ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ และข้อมูลปริมาณน้ำฝน วิเคราะห์โดยใช้ค่าสถิติเบื้องต้นของข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสเปรดชีตประมวลผลและแสดงผลเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยที่ศึกษา แล้วนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์รอบวันระหว่างปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาที่ศึกษากับทัศนวิสัยในแต่ละสถานี ในช่วงระยะเวลา 10 ปี

3. วิเคราะห์ข้อมูลความสัมพันธ์รอบวันโดยใช้การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์จากค่า Rescaling (min-max normalization) ของทัศนวิสัยกับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ ปริมาณเมฆ ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณน้ำฝนของทั้ง 43 สถานี ซึ่งค่า Rescaling (min-max normalization) คือ การทำข้อมูลให้อยู่ในรูปคะแนนปกติมาตรฐานน้อยที่สุด - มากที่สุด เป็นการแปลงข้อมูลที่เป็นตัวเลข (Numerical Data) ให้มีค่าอยู่ในช่วงที่เป็นมาตรฐานเดียวกันคือ 0 ถึง 1

$$x' = [x - \min(x)] / [\max(x) - \min(x)] \quad (1)$$

โดยที่ x' คือ ค่า normalization ของตัวแปร x

$\max(x)$ คือ ค่าสูงสุดของตัวแปร x

$\min(x)$ คือ ค่าต่ำสุดของตัวแปร x

ผลการวิจัย

1. ลักษณะการแปรผันรอบวัน (Diurnal Variation) ของทัศนวิสัยในประเทศไทยในแต่ละภาคนั้นมีค่าเฉลี่ยสูงสุดในช่วงเวลาที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน โดยพบว่าในแต่ละภาคมีค่าทัศนวิสัยเฉลี่ยสูงสุดในช่วงบ่าย เวลา 13.00 น. ยกเว้นภาคเหนือ ที่มีค่าทัศนวิสัยเฉลี่ยสูงสุดในช่วงบ่ายเวลา 16.00 น. เช่นเดียวกันกับค่าเฉลี่ยของทัศนวิสัยในแต่ละภาคที่มีค่าต่ำสุดในช่วงเวลาที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน โดยมีค่าทัศนวิสัยเฉลี่ยต่ำสุดในช่วงเช้า เวลา 07.00 น. ยกเว้นภาคตะวันออก ที่มีค่าทัศนวิสัยเฉลี่ยต่ำสุดเวลา 04.00 น. (ตารางที่ 1) ซึ่งเมื่อแบ่งตามลักษณะแล้วพบว่าทัศนวิสัยในประเทศไทย แบ่งได้ 3 ลักษณะ คือ

(1) ทัศนวิสัยต่ำสุดในช่วง 07.00 น. และเพิ่มสูงขึ้นในช่วง 13.00-16.00 น. เป็นลักษณะที่พบเป็นส่วนใหญ่ของประเทศ ซึ่งพบในทุกภาคของประเทศไทย ส่วนมากพบบริเวณภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคตะวันออก (ภาพที่ 1ก (a))

(2) ทศนวิสัยต่ำสุดในช่วง 07.00 น. และเพิ่มขึ้นเล็กน้อย/คงที่ ในช่วงเวลาอื่น ๆ พบที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ตอนล่าง (ยกเว้นสถานีบุรีรัมย์ จ.บุรีรัมย์) ภาคกลาง (เฉพาะกรุงเทพฯ และปริมณฑล) และบางสถานีในภาคใต้ฝั่ง ตะวันออก (ภาพที่ 1ก (b))

(3) ทศนวิสัยมีการเปลี่ยนแปลงน้อย/คงที่ เป็นลักษณะที่พบน้อยที่สุด ซึ่งพบเพียง 6 สถานี ได้แก่ ภาคเหนือ พบ 1 สถานี (สถานีเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่) ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พบ 1 สถานี (สถานีอุดรธานี จ.อุดรธานี) ภาคใต้ฝั่งตะวันออก พบ 2 สถานี (สถานีเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี และสถานีประจวบคีรีขันธ์ จ.ประจวบคีรีขันธ์) และ ภาคใต้ฝั่งตะวันตก พบ 2 สถานี (สถานีตะกั่วป่า จ.พังงา และสถานีสตูล จ.สตูล) (ภาพที่ 1ก (c))

2. ลักษณะการแปรผันรอบวันของปริมาณเมฆในประเทศไทยในแต่ละภาค พบค่าสูงสุดแบ่งได้เป็น 2 ช่วงเวลา ได้แก่ ช่วงเช้า เวลา 07.00 น. - 09.00 น. ในภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคกลาง และช่วง บ่ายถึงค่ำ เวลา 16.00 น. - 21.00 น. ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคใต้ฝั่งตะวันตก และภาคใต้ฝั่งตะวันออก โดยที่ในทุกภาค พบค่าต่ำสุดในช่วง 01.00 น. - 06.00 น. (ตารางที่ 1) ซึ่งเมื่อแบ่งตามลักษณะแล้วพบว่าปริมาณเมฆในประเทศไทย แบ่งได้ 2 ลักษณะ คือ

(1) ปริมาณเมฆไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลง/คงที่ พบที่ภาคกลาง (เฉพาะกรุงเทพฯ และปริมณฑล) ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 1 สถานี ได้แก่ สถานีอุบลราชธานี (ศูนย์ฯ) จ.อุบลราชธานี และภาคใต้ 2 สถานี ได้แก่ สถานีเพชรบุรี จ.เพชรบุรี และสถานีตะกั่วป่า จ.พังงา และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 2 สถานี ได้แก่ สถานีสาดหิน จ.ชลบุรี และ สถานีจันทบุรี จ.จันทบุรี (ภาพที่ 1ข (a))

(2) ปริมาณเมฆเยอะในช่วงเวลา 07.00 น. และช่วงเวลา 19.00 น. เป็นลักษณะที่พบในทุกภาค และพบ เป็นส่วนใหญ่ของประเทศ โดยเฉพาะในภาคเหนือที่พบทุกสถานี (ภาพที่ 1ข (b))

3. ลักษณะการแปรผันรอบวันของความชื้นสัมพัทธ์ในประเทศไทยในแต่ละภาค พบว่าในทุกภาคมี ค่าเฉลี่ยของความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงสุดในช่วงเช้า ในช่วงเวลา 07.00 น. - 09.00 น. และมีค่าเฉลี่ยต่ำสุดในช่วงบ่าย เวลา 16.00 น. - 18.00 น. ซึ่งเมื่อแบ่งตามลักษณะแล้วพบว่าในทุกภาคที่ศึกษามีลักษณะของความชื้นสัมพัทธ์แบบรายวัน ในรูปแบบเดียวกัน คือ มีความชื้นสัมพัทธ์รายวันสูงสุดในเวลา 07.00 น. และต่ำสุดในเวลา 16.00 น. (ตารางที่ 1) (ภาพที่ 1ค (a))

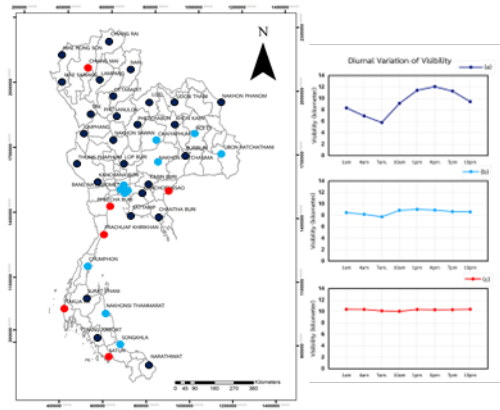
4. ลักษณะการแปรผันรอบวันของปริมาณฝนในประเทศไทยในแต่ละภาค พบว่าในทุกภาคมีค่าเฉลี่ย ของปริมาณฝนรวมที่สูงสุดในช่วงเวลา 16.00 น. - 21.00 น. ซึ่งในแต่ละภาคพบว่ามีค่าเฉลี่ยต่ำสุดในช่วงเวลาที่ แตกต่างกัน โดยที่ภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พบค่าเฉลี่ยต่ำสุดในช่วงเวลา 13.00 น. - 15.00 น. ภาค กลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคใต้ฝั่งตะวันออก พบค่าเฉลี่ยต่ำสุดในช่วงเวลา 10.00 น. - 12.00 น. มีเพียงภาคใต้ฝั่ง ตะวันตก พบค่าเฉลี่ยต่ำสุดในช่วงเวลา 01.00 น. - 03.00 น. (ตารางที่ 1) ซึ่งเมื่อแบ่งตามลักษณะแล้วพบว่าปริมาณ น้ำฝนสามารถแบ่งลักษณะออกเป็น 3 แบบ คือ

(1) มีปริมาณฝนสูงสุดช่วงเวลา 19.00 น. และมีปริมาณฝนต่ำสุดช่วงเวลา 10.00 - 13.00 น. เป็น ลักษณะที่พบเป็นส่วนใหญ่ที่บริเวณภาคเหนือตอนกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง ภาคกลาง และภาคใต้ฝั่ง ตะวันออก 1 สถานี ได้แก่ สถานีนาหว้า จังหวัดนครราชสีมา (ภาพที่ 1ง (a))

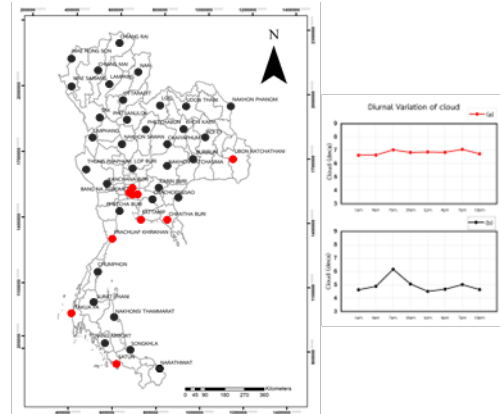
(2) มีปริมาณฝนสูงสุดช่วงเวลา 16.00 - 19.00 น. และเปลี่ยนแปลงน้อย/คงที่ในช่วงเวลาอื่นๆ เป็น ลักษณะที่พบเป็นส่วนใหญ่บริเวณภาคใต้ ซึ่งพบในสถานีที่ศึกษาในภาคใต้ ยกเว้นแค่เพียง 1 สถานี ได้แก่ สถานี

นราธิวาส จังหวัดนราธิวาส และพบได้อีกที่สถานีทางฝั่งตะวันตกของประเทศ รวมทั้งบางสถานีในภาคตะวันออก (ภาพที่ 1ง (b))

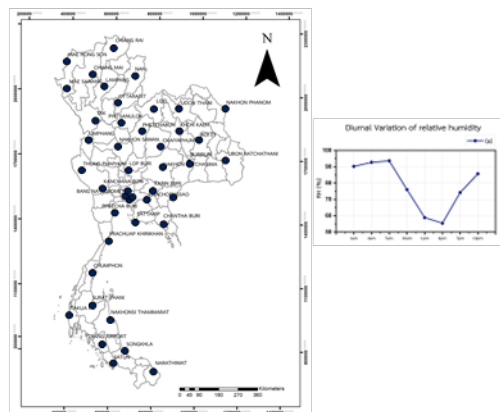
(3) มีปริมาณฝนสูงสุดช่วงเวลา 04.00 – 07.00 น. และต่ำสุดในช่วงเวลา 13.00 น. เป็นลักษณะที่พบได้น้อยที่สุด พบที่สถานีตอนบนของประเทศ บริเวณทางตะวันออกเฉียงเหนือของภาคเหนือ และสถานีทางตอนบนภาคตะวันออกเฉียงเหนือ รวมทั้งพบที่สถานีที่ติดชายฝั่งทะเลบริเวณภาคตะวันออก (ภาพที่ 1ง (c))



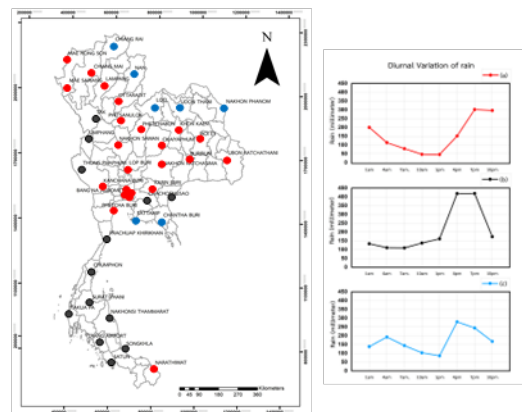
(ก) ลักษณะการแปรผันรอบวันของทัศนวิสัย



(ข) ลักษณะการแปรผันรอบวันของปริมาณเมฆ



(ค) ลักษณะการแปรผันรอบวันของความชื้นสัมพัทธ์



(ง) ลักษณะการแปรผันรอบวันของปริมาณฝน

ภาพที่ 1 แผนที่สถานีอุตุนิยมวิทยาและกราฟแสดงลักษณะการแปรผันรอบวันของ (ก) ลักษณะการแปรผันรอบวันของทัศนวิสัย (ข) ลักษณะการแปรผันรอบวันของปริมาณเมฆ (ค) ลักษณะการแปรผันรอบวันของความชื้นสัมพัทธ์ และ(ง) ลักษณะการแปรผันรอบวันของปริมาณฝน ในแต่ละสถานีอุตุนิยมวิทยา จากค่าเฉลี่ยราย 3 ชั่วโมง ระยะเวลา 10 ปี (พ.ศ.2552 – 2561) จำนวน 43 สถานี

ตารางที่ 1 ลักษณะการแปรผันรอบวันของทัศนวิสัย ปริมาณเมฆ ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณน้ำฝน จากค่าเฉลี่ยราย 3 ชั่วโมง ระยะเวลา 10 ปี (พ.ศ. 2552 – พ.ศ. 2561)

สถานี	ลักษณะการแปรผันรอบวันจากค่าเฉลี่ยราย 3 ชั่วโมง ระยะเวลา 10 ปี (พ.ศ. 2552 – พ.ศ. 2561)							
	01.00	04.00	07.00	10.00	13.00	16.00	19.00	22.00
ทัศนวิสัยรายวัน (กิโลเมตร)								
ภาคเหนือ	8.0	7.4	7.1	9.1	10.0	10.1	9.5	8.7
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	8.9	8.6	8.2	9.7	10.3	10.2	9.5	9.1
ภาคกลาง	8.0	7.9	7.5	8.8	9.3	9.2	8.6	8.3
ภาคตะวันออก	7.1	6.9	7.4	9.1	9.6	9.3	8.1	7.4
ภาคใต้ฝั่งตะวันออก	8.7	8.5	8.4	9.6	9.9	9.7	9.2	9.0
ภาคใต้ฝั่งตะวันตก	9.7	9.3	8.4	10.0	10.4	10.3	9.9	9.8
ปริมาณเมฆรายวัน (เดคะ)								
ภาคเหนือ	4.6	4.8	5.9	5.1	5.0	5.2	5.3	4.7
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	5.4	5.3	6.4	5.7	6.1	6.1	6.1	5.5
ภาคกลาง	5.9	5.8	6.8	6.2	6.4	6.4	6.5	6.1
ภาคตะวันออก	6.0	5.8	6.8	6.7	7.0	7.1	7.0	6.3
ภาคใต้ฝั่งตะวันออก	6.5	6.4	7.0	6.6	6.7	6.9	7.1	6.6
ภาคใต้ฝั่งตะวันตก	6.4	6.3	6.9	6.7	7.2	7.6	7.5	6.8
ความชื้นสัมพัทธ์รายวัน (%)								
ภาคเหนือ	85.3	88.4	90.2	71.0	56.2	54.2	69.5	80.2
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	82.3	85.9	86.9	66.6	55.6	55.2	68.7	77.3
ภาคกลาง	82.0	84.8	85.8	67.2	56.5	56.7	70.2	78.0
ภาคตะวันออก	88.0	90.0	90.3	70.1	61.0	62.8	76.9	84.4
ภาคใต้ฝั่งตะวันออก	87.5	89.5	90.2	72.8	66.2	69.6	79.0	84.3
ภาคใต้ฝั่งตะวันตก	90.4	92.2	93.0	72.3	65.2	69.2	80.5	87.3
ปริมาณฝนรวมรายวัน (มิลลิเมตร)								
ภาคเหนือ	181.9	165.1	141.7	89.9	80.1	188.0	248.5	225.4
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	223.4	196.5	166.0	103.8	86.4	200.9	256.9	232.0
ภาคกลาง	198.5	161.4	127.2	74.7	98.3	200.6	327.4	290.7
ภาคตะวันออก	233.1	223.5	183.3	120.4	190.1	340.5	274.7	237.6
ภาคใต้ฝั่งตะวันออก	211.5	219.3	212.4	194.8	218.4	368.8	368.9	243.8
ภาคใต้ฝั่งตะวันตก	229.1	290.8	308.7	284.4	368.6	684.7	557.5	325.9

หมายเหตุ: สีเหลือง = ค่าเฉลี่ยรายวัน (Diurnal) สูงสุดในแต่ละสถานี สีแดง = ค่าเฉลี่ยรายวัน (Diurnal) ต่ำสุดในแต่ละสถานี

ในขณะที่ความสัมพันธ์ลักษณะการแปรผันรอบวันของทัศนวิสัยกับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ ปริมาณเมฆ ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณน้ำฝน ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบจับคู่ความสัมพันธ์โดยหาความสัมพันธ์จากค่า Rescaling (min-max normalization) ของทัศนวิสัยกับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา พบว่า

ภาคเหนือ ความสัมพันธ์ของทัศนวิสัยกับความชื้นสัมพัทธ์ มีความสัมพันธ์ในทิศทางที่แปรผกผันกับทัศนวิสัย มีระดับความสัมพันธ์ที่ 0.012 และ 0.9311 ตามลำดับ ในขณะที่ความสัมพันธ์ของทัศนวิสัยกับปริมาณน้ำฝนนั้นมีความสัมพันธ์ค่อนข้างไม่ชัดเจนหรือมีความสัมพันธ์ค่อนข้างน้อย (ภาพที่ 2) เมื่อพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (Coefficient of Determination) หรือ ค่า R-Squared (R^2) พบว่า ความชื้นสัมพัทธ์มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทัศนวิสัยมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 93.11 สำหรับในส่วนของปริมาณเมฆ และปริมาณน้ำฝนนั้น พบว่ามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทัศนวิสัยน้อยมากหรือไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงต่อทัศนวิสัย ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงเพียงร้อยละ 1.2 และ 0.1 ตามลำดับ (ตารางที่ 2)

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พบว่า ความสัมพันธ์ของทัศนวิสัยกับปริมาณเมฆ มีความสัมพันธ์ในทิศทางที่แปรผันตรงกับทัศนวิสัย มีระดับความสัมพันธ์ที่ 0.0558 ในส่วนของความสัมพันธ์ของทัศนวิสัยกับความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณน้ำฝนนั้น มีความสัมพันธ์ในทิศทางที่แปรผกผันกับทัศนวิสัย มีระดับความสัมพันธ์ที่ 0.968 และ 0.1287 ตามลำดับ (ภาพที่ 2) เมื่อพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (Coefficient of Determination) หรือ ค่า R-Squared (R^2) พบว่า ความชื้นสัมพัทธ์มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทัศนวิสัยมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 96.8 สำหรับในส่วนของปริมาณเมฆ และปริมาณน้ำฝนนั้น พบว่ามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทัศนวิสัยน้อย ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงเพียงร้อยละ 5.58 และ 12.87 ตามลำดับ (ตารางที่ 2)

ภาคกลาง พบว่า ความสัมพันธ์ของทัศนวิสัยกับความชื้นสัมพัทธ์ มีความสัมพันธ์ในทิศทางที่แปรผกผันกับทัศนวิสัย มีระดับความสัมพันธ์ที่ 0.9629 ในส่วนของความสัมพันธ์ของทัศนวิสัยกับปริมาณเมฆ และปริมาณน้ำฝนนั้นค่อนข้างไม่ชัดเจนหรือมีความสัมพันธ์ค่อนข้างน้อย (ภาพที่ 4, 5, 6) เมื่อพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (Coefficient of Determination) หรือ ค่า R-Squared (R^2) พบว่า ความชื้นสัมพัทธ์มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทัศนวิสัยมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 96.29 สำหรับในส่วนของปริมาณเมฆ และปริมาณน้ำฝนนั้น พบว่ามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทัศนวิสัยน้อยมากหรือไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงต่อทัศนวิสัย ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงเพียงร้อยละ 1.25 และ 0.7 ตามลำดับ (ตารางที่ 2)

ภาคตะวันออก พบว่า ความสัมพันธ์ของทัศนวิสัยกับปริมาณเมฆ มีความสัมพันธ์ในทิศทางที่แปรผกผันกับทัศนวิสัย มีระดับความสัมพันธ์ 0.6201 โดยที่ความสัมพันธ์ของทัศนวิสัยกับความชื้นสัมพัทธ์ มีความสัมพันธ์ในทิศทางที่แปรผันตรงกับทัศนวิสัย มีระดับความสัมพันธ์ 0.9605 และในส่วนของความสัมพันธ์ของทัศนวิสัยกับปริมาณน้ำฝนนั้นค่อนข้างไม่ชัดเจนหรือมีความสัมพันธ์ค่อนข้างน้อย (ภาพที่ 2) เมื่อพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (Coefficient of Determination) หรือ ค่า R-Squared (R^2) พบว่า ความชื้นสัมพัทธ์มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทัศนวิสัยมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 96.05 รองลงมาคือปริมาณเมฆ คิดเป็นร้อยละ 62.01 และพบว่าปริมาณน้ำฝนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทัศนวิสัยน้อยมากหรือไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงต่อทัศนวิสัย (ตารางที่ 2)

ภาคใต้ฝั่งตะวันออก พบว่า ความสัมพันธ์ของทัศนวิสัยกับความชื้นสัมพัทธ์ มีความสัมพันธ์ในทิศทางที่แปรผกผันกับทัศนวิสัย มีระดับความสัมพันธ์ที่ 0.982 ในส่วนของความสัมพันธ์ของทัศนวิสัยกับปริมาณเมฆ และปริมาณน้ำฝนนั้นมีความสัมพันธ์ค่อนข้างน้อย มีระดับความสัมพันธ์ที่ 0.0275 และ 0.0991 ตามลำดับ (ภาพที่ 2) เมื่อพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (Coefficient of Determination) หรือ ค่า R-Squared (R^2) พบว่า

ความชื้นสัมพัทธ์มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทัศนวิสัยมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 98.2 สำหรับในส่วนของปริมาณเมฆ และปริมาณน้ำฝนนั้นพบว่ามีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงทัศนวิสัยน้อยมากต่อทัศนวิสัย ซึ่งมีความสัมพันธ์เพียงร้อยละ 2.75 และ 9.91 ตามลำดับ (ตารางที่ 2)

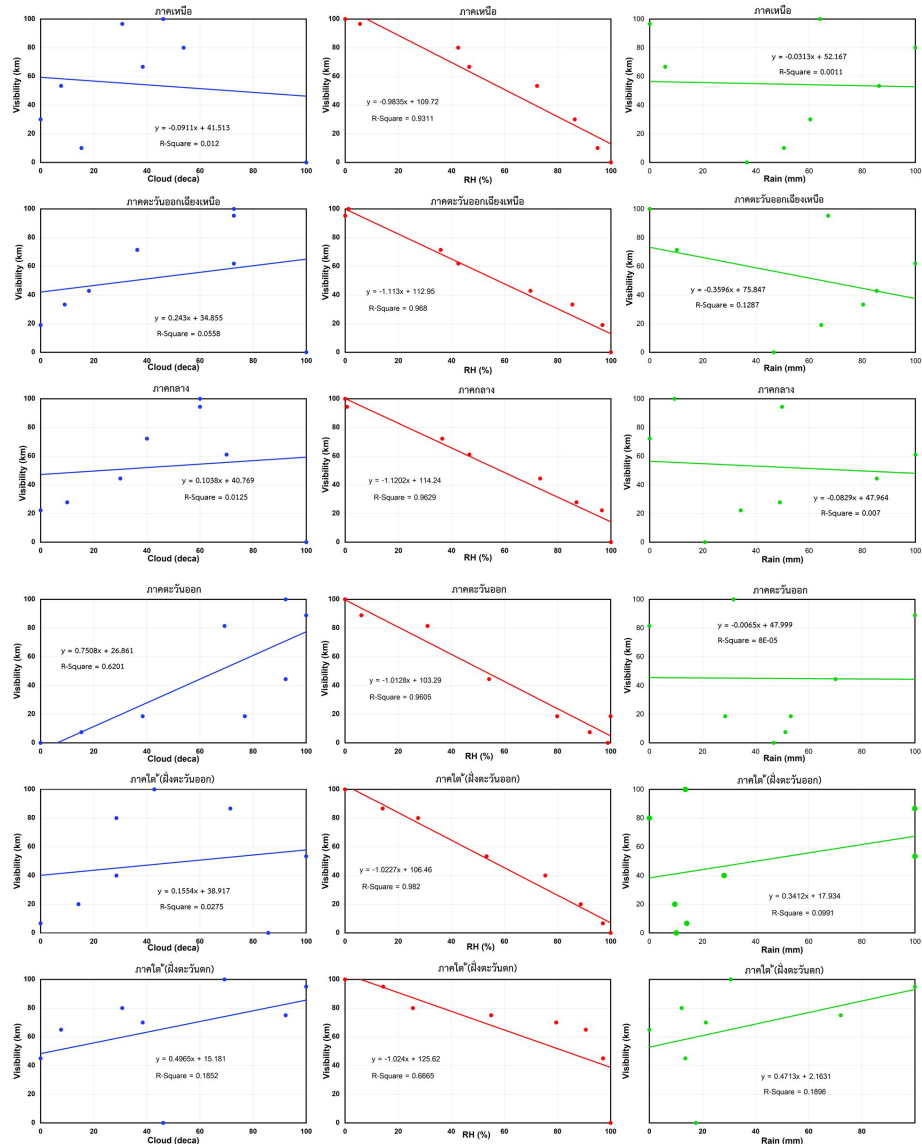
ภาคใต้ฝั่งตะวันตก พบว่า ความสัมพันธ์ของทัศนวิสัยกับปริมาณเมฆ และปริมาณน้ำฝนนั้นมีความสัมพันธ์ในทิศทางที่แปรผันตรงกับทัศนวิสัย มีระดับความสัมพันธ์ที่ 0.1852 และ 0.1896 โดยที่ในส่วนของความชื้นสัมพัทธ์ของทัศนวิสัยกับความชื้นสัมพัทธ์ มีความสัมพันธ์ในทิศทางที่แปรผกผันกับทัศนวิสัย มีระดับความสัมพันธ์ที่ 0.6665 (ภาพที่ 2) เมื่อพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (Coefficient of Determination) หรือ ค่า R-Squared (R^2) พบว่า ความชื้นสัมพัทธ์มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทัศนวิสัยมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 66.65 สำหรับในส่วนของปริมาณเมฆ และปริมาณน้ำฝนนั้นพบว่ามีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงทัศนวิสัยน้อย ซึ่งมีความสัมพันธ์เพียงร้อยละ 18.52 และ 18.96 ตามลำดับ (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (Coefficient of Determination) หรือ (R^2) ระดับความสัมพันธ์
ลักษณะการแปรผันรอบวัน (Diurnal Correlation) ของทัศนวิสัย กับ ปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา ในประเทศไทย

สถานีอุตุนิยมวิทยา	ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (Coefficient of Determination) หรือ (R^2)		
	ปริมาณเมฆ / ทัศนวิสัย	ความชื้นสัมพัทธ์ / ทัศนวิสัย	ปริมาณฝน / ทัศนวิสัย
ภาคเหนือ	0.0120**	0.9311**	0.0011
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	0.0558	0.9680**	0.1287**
ภาคกลาง	0.0125	0.9629**	0.0070**
ภาคตะวันออก	0.6201	0.9605**	0.00008**
ภาคใต้ฝั่งตะวันออก	0.0275	0.9820**	0.0991
ภาคใต้ฝั่งตะวันตก	0.1852	0.6665**	0.1896

หมายเหตุ: ข้อมูลช่องสี่เหลี่ยม มีความสัมพันธ์ในทิศทางที่แปรผันตรง ข้อมูลช่องสีแดง/** มีความสัมพันธ์ในทิศทางที่แปรผกผัน, ข้อมูลช่องสีขาว มีความสัมพันธ์น้อยหรือความสัมพันธ์ไม่ชัดเจน

ทั้งนี้สรุปได้ว่า ความสัมพันธ์ลักษณะการแปรผันรอบวันของทัศนวิสัยของทุกภาคในประเทศไทย พบว่าความชื้นสัมพัทธ์มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทัศนวิสัยมากที่สุด มากกว่าร้อยละ 90 ยกเว้นภาคใต้ฝั่งตะวันตกที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคิดเป็นร้อยละ 66.65 โดยที่มีความสัมพันธ์ในทิศทางที่แปรผกผันกับทัศนวิสัย ในขณะที่ความสัมพันธ์ลักษณะการแปรผันรอบวันของทัศนวิสัยกับปริมาณเมฆ และปริมาณฝน พบว่ามีความสัมพันธ์น้อยหรือความสัมพันธ์ไม่ชัดเจน ยกเว้น ภาคตะวันออก ที่พบว่า ปริมาณเมฆ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทัศนวิสัย คิดเป็นร้อยละ 62.01 ซึ่งมีความสัมพันธ์ในทิศทางที่แปรผันตรงกับทัศนวิสัย (ตารางที่ 2)



ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ลักษณะการแปรผันรอบวัน ระหว่าง ปริมาณเมฆ (x) ความชื้นสัมพัทธ์ (x) ปริมาณน้ำฝน (x) กับทัศนวิสัย (y) แต่ละภาคของประเทศไทย จากข้อมูลเฉลี่ยรอบวัน ราย 3 ชั่วโมง ระยะเวลา 10 ปี (พ.ศ. 2552 – พ.ศ. 2561)

อภิปรายผล

จากการศึกษาลักษณะการแปรผันรอบวันและความสัมพันธ์ประจำวันของทัศนวิสัย กับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา พบว่า ลักษณะและความสัมพันธ์การแปรผันในรอบวันของทัศนวิสัย กับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา มีความสอดคล้องกัน โดยเฉพาะทัศนวิสัยกับปริมาณเมฆและความชื้นสัมพัทธ์ โดยสถานที่ที่มีทัศนวิสัยในรอบวันคงที่ หรือมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย จะพบว่าปริมาณเมฆในรอบวันจะคงที่ หรือมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ในขณะที่สถานที่ที่มีทัศนวิสัยต่ำสุดในช่วงเช้า และสูงสุดในช่วงบ่ายนั้น จะมีปริมาณเมฆสูงในช่วงเช้าและช่วงค่ำ สอดคล้องกับข้อมูลจาก UK Air Pollution Information System APIS (2016) โดยที่ความชื้นสัมพัทธ์ในรอบวันนั้นพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงตลอดรอบวัน ในรอบวันของสถานที่ศึกษาส่วนใหญ่ทัศนวิสัยจะต่ำสุดในช่วงเช้า และสูงสุดในช่วงบ่าย (Tsai, Lin, and

Lee, 2003) ซึ่งสอดคล้องกับที่ทุกสถานี่มีความชื้นสัมพัทธ์ในรอบวันสูงสุดในช่วงเช้า และต่ำสุดในช่วงบ่าย ทั้งนี้พบว่า มีผลจากอุณหภูมิเข้ามาเกี่ยวข้อง (Thai Meteorological Department, 2015) คือในเวลากลางวันพื้นโลกได้รับพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ ส่งผลให้อุณหภูมิสูงขึ้นและอากาศร้อนขึ้น จนร้อนที่สุดในช่วงบ่าย ในขณะที่ตอนกลางคืนพื้นโลกไม่ได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์ แต่ยังมีพลังงานความร้อนส่วนหนึ่งที่สะสมไว้ และพื้นโลกยังคงคายความร้อนที่สะสมไว้ให้แก่อากาศ เมื่อพื้นโลกมีอุณหภูมิเท่ากับอากาศจะหยุดการคายความร้อน จึงเป็นช่วงเวลาที่อากาศมีอุณหภูมิคงที่และมีอุณหภูมิต่ำที่สุด อุณหภูมิของอากาศเวลากลางคืนจึงต่ำกว่าในเวลากลางวัน (ในช่วงวันเดียวกัน) ซึ่งอุณหภูมิต่ำสุดจะพบได้ในช่วงเวลากลางคืนถึงเช้านี้ และเป็นช่วงที่ความชื้นสัมพัทธ์สูงที่สุดในรอบวัน ส่งผลทำให้ช่วงเวลาดังกล่าวที่ทัศนวิสัยจะต่ำสุดในรอบวันเช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Ruangjun and Exell (2008) ที่นักพยากรณ์พบว่าความน่าจะเป็นที่ทัศนวิสัยต่ำ และทัศนวิสัยที่ไม่ดี พบได้ในช่วงเวลาเช้านี้ จากการสังเกตการณ์สภาพอากาศในเวลา 01.00 น. และ 05.00 น. ณ สนามบินดอนเมือง รวมทั้งอาจเนื่องจากในรอบวันในช่วงเวลาตอนเช้าส่วนใหญ่ จะมีสภาวะ ที่เรียกว่า “อากาศมีเสถียรภาพ” (Stable air) มักเกิดขึ้นในช่วงเวลาที่มีอุณหภูมิต่ำ เช่น ในฤดูหนาวที่มีเมฆมากเวลากลางคืนถึงช่วงเช้า เป็นต้น ซึ่งเกิดการผกผันของอุณหภูมิ (Temperature of inversion) เนื่องจากบรรยากาศในระดับที่ใกล้พื้นผิวดินมีอุณหภูมิต่ำกว่าบรรยากาศที่อยู่ด้านบน อากาศเย็นจะจมลงแทนที่จะลอยตัวขึ้นด้านบน เมื่ออากาศเสถียรหรือนิ่ง การกระจายตัวของมลพิษ หรืออนุภาคต่าง ๆ ในอากาศก็จะกระจายตัวไปได้น้อยเช่นกัน (Li et al., 2019) ส่งผลให้ทัศนวิสัยในช่วงเช้าต่ำที่สุดในรอบวัน ในทางตรงกันข้าม เมื่อ “อากาศไม่มีเสถียรภาพ” (Unstable air) จะส่งผลให้ทัศนวิสัยดีขึ้น และสูงกว่าในช่วงเช้า ซึ่งมักเกิดขึ้นในช่วงเวลาที่มีอุณหภูมิสูง เช่น เวลาในช่วงบ่าย ในฤดูร้อน เป็นต้น สอดคล้องกับสถานที่ศึกษาส่วนใหญ่จะมีทัศนวิสัยสูงสุดในช่วงบ่าย ในขณะที่สถานที่ศึกษาส่วนน้อยจะพบว่า ทัศนวิสัยในรอบวันนั้นค่อนข้างจะคงที่ หรือมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย โดยพบที่บริเวณสถานีในจังหวัดที่มีอาณาเขตติดต่อกับชายฝั่ง มีเพียงสถานีเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่เพียงสถานีเดียวที่มีทัศนวิสัยในรอบวันคงที่ หรือมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย โดยที่ปริมาณน้ำฝนในรอบวันนั้นค่อนข้างมีความแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ โดยส่วนใหญ่จะพบว่ามีปริมาณฝนมากในช่วงเวลาบ่ายถึงช่วงค่ำ มีเพียงพื้นที่บริเวณบางสถานที่ตอนบนสุดทั้งในภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และ 2 สถานีในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ที่มีปริมาณน้ำฝนสูงในช่วงเช้า จากการศึกษาจึงพบว่าปริมาณน้ำฝนมีความสัมพันธ์ในรอบวันกับทัศนวิสัยค่อนข้างน้อย

ทั้งนี้ พบว่า ความชื้นสัมพัทธ์มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทัศนวิสัยในรอบวันมากที่สุด และส่งผลทำให้ทัศนวิสัยในการมองเห็นต่ำลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Deng et al. (2016) และ López et al. (2017) เมื่อเทียบกับปริมาณเมฆ และปริมาณน้ำฝนนั้น อาจเนื่องจากในรอบวัน 24 ชั่วโมง ความชื้นสัมพัทธ์นั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดรอบวัน กล่าวคือ ในสภาวะที่อากาศนิ่งปริมาณไอน้ำในอากาศในพื้นที่ไม่เปลี่ยนแปลง ความชื้นสัมพัทธ์จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิอากาศ เมื่ออุณหภูมิอากาศต่ำในช่วงเช้า ความชื้นสัมพัทธ์มีค่าสูง และเมื่ออุณหภูมิอากาศสูงในช่วงตอนบ่าย ความชื้นสัมพัทธ์จะมีค่าต่ำ เท่ากับว่ายังมีไอน้ำในอากาศเป็นจำนวนมาก เป็นสาเหตุทำให้เกิดปรากฏการณ์ทางอุตุนิยมวิทยา เช่น หมอก น้ำค้าง เป็นต้น จากปัจจัยดังกล่าวส่งผลทำให้ทัศนวิสัยในการมองเห็นแย่งลง

จึงสรุปได้ว่า ลักษณะการแปรผันรอบวันของทัศนวิสัยในทุกภาคของประเทศไทย พบว่ามีทัศนวิสัยต่ำสุดในช่วงเช้านี้ และทัศนวิสัยสูงสุดในช่วงบ่าย ในขณะที่ความสัมพันธ์รอบวันของทัศนวิสัย กับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ ปริมาณเมฆ ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณน้ำฝนนั้น พบว่า ความชื้นสัมพัทธ์มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทัศนวิสัยในรอบวันมากที่สุด

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

1.1 จากการศึกษาสามารถนำผลไปประยุกต์ใช้เพื่อให้เกิดประโยชน์ในทางคมนาคม ทั้งทางอากาศ ทางน้ำ และทางบก รวมทั้งด้านการท่องเที่ยว โดยเฉพาะอย่างยิ่งทางการบิน ในกรณีที่มีสภาพอากาศไม่แน่นอน สภาพอากาศเลวร้าย ทักษะนักบินมีความสำคัญเป็นอย่างมากในการนำเครื่องบินขึ้นและลงจอด

1.2 เพื่อใช้เป็นแนวทางในการจัดการในด้านต่าง ๆ ที่มีทักษะเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เนื่องจากทักษะจะเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพของคุณภาพอากาศได้เป็นอย่างดี และสามารถรับรู้การลดลงของทักษะได้ง่ายแม้ด้วยตาเปล่า รวมทั้งยังสามารถใช้ประเมินคุณภาพอากาศและทำนายสภาพอากาศเบื้องต้นในรอบวัน

2. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

2.1 จากการศึกษาเป็นเพียงการศึกษาจากปัจจัยที่มีผลต่อทักษะเบื้องต้น ทั้งนี้ยังมีปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาอื่น ๆ เช่น ทิศทางลม อุณหภูมิ ความกดอากาศ เป็นต้น รวมทั้งปัจจัยจากธรรมชาติและกิจกรรมของมนุษย์อื่น ๆ เช่น การเกิดพายุ การคมนาคม ยานพาหนะที่ใช้เครื่องยนต์ การเผาไร่ การเผาขยะมูลฝอย รวมทั้งโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น ที่มีความสัมพันธ์กับทักษะ

2.2 ผลที่ได้จากการศึกษาบางส่วนยังไม่ชัดเจนว่าลักษณะที่เกิดขึ้นมีสาเหตุหรือปัจจัยอื่นเข้ามาเกี่ยวข้องอย่างไร จึงควรทำการศึกษาต่อในระดับที่ลึก รวมทั้งศึกษาปัจจัยอื่นเพิ่มเติม เพื่อให้ครอบคลุมและชัดเจนยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

จากการศึกษาได้รับการสนับสนุนข้อมูลอุตุนิยมวิทยา จากกรมอุตุนิยมวิทยา เพื่อทำการศึกษาวิจัย รวมทั้งอาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำตลอดการศึกษาในครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี จึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้

เอกสารอ้างอิง

Bäumer, D., Vogel, B., Versick, S., Rinke, R., Möhler, O., and Schnaiter, M. (2008). Relationship of visibility, aerosol optical thickness and aerosol size distribution in an ageing air mass over South-West Germany. *Atmospheric Environment*, 42(5), 989-998.

<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.10.017>

Chotipong, A. (2018). Air pollution a problem in China. *Environmental Journal*, 22(1), 54-63. (in Thai)

Deng, H., Tan, H., Li, F., Cai, M., Chan, P. W., Xu, H., Huang, X. and Wu, D. (2016). Impact of relative humidity on visibility degradation during a haze event: A case study. *Science of The Total Environment*, 569-570, 1149-1158. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.190>

Deng, J., Wang, T., Jiang, Z., Xie, M., Zhang, R., Huang, X., and Zhu, J. (2011). Characterization of visibility and its affecting factors over Nanjing, China. *Atmospheric Research*, 101(3), 681-691. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2011.04.016>

Department of Disaster Prevention and Mitigation. (2014). *Disaster Risk Management Terminology*. Bangkok: Ministry of Interior. (in Thai)

- Huo, J., and Lu, D. (2009). Cloud Determination of All-Sky Images under Low-Visibility Conditions. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 26(10), 2172-2181.
<https://doi.org/10.1175/2009JTECHA1324.1>
- Hyvärinen, O., Julkunen, J., and Nietosvaara, V. (2007). Climatological Tools for Low Visibility Forecasting. *Pure and Applied Geophysics*, 164(6), 1383-1396.
<https://doi.org/10.1007/s00024-007-0224-5>
- Khaosod Online. (2017). Mae Hong Son: Pollution index & Low visibility. [Online]. Retrieved February 7, 2019, from: https://www.khaosod.co.th/around-thailand/news_261990 (in Thai)
- Kneringer, P., Dietz, S. J., Mayr, G. J., and Zeileis, A. (2019). Probabilistic Nowcasting of Low-Visibility Procedure States at Vienna International Airport During Cold Season. *Pure and Applied Geophysics*, 176(5), 2165-2177. <https://doi.org/10.1007/s00024-018-1863-4>
- Li, X., Huang, L., Li, J., Shi, Z., Wang, Y., Zhang, H., Ying, Q., Yu, X., Liao, H., and Hu, J. (2019). Source contributions to poor atmospheric visibility in China. *Resources, Conservation and Recycling*, 143, 167-177. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.12.029>
- López, G., Bosch, J., Pulido-Calvo, I., and Gueymard, C. (2017). Visibility estimates from atmospheric and radiometric variables using artificial neural networks. *Air Pollution XXV*, 211.
- Matichon Online. (2019). *South battles Sumatra Island in Indonesia smog hazard*. [Online]. Retrieved February 7, 2019, from: https://www.matichon.co.th/local/quality-life/news_1667171 (in Thai)
- Malm, W. C. (2016). *Visibility*. Colorado, The United States of America: Elsevier.
- Ruangjun, S., and Exell, R. (2008). Regression Models for Forecasting Fog and Poor Visibility at Donmuang Airport in Winter. *Asian J. Energy Environ*, 9, 215-230.
- Sabetghadam, S., Ahmadi-Givi, F., and Golestani, Y. (2012). Visibility trends in Tehran during 1958–2008. *Atmospheric Environment*, 62, 512-520.
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.09.008>
- Singh, A., Bloss, W., and Pope, F. (2017). 60 years of UK visibility measurements: Impact of meteorology and atmospheric pollutants on visibility. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 17, 2085-2101. <https://doi.org/10.5194/acp-17-2085-2017>
- Thai Meteorological Department. (2015). Meteorology knowledge. [Online]. Retrieved January 8, 2020, from: <https://www.tmd.go.th/info/info.php?FileID=23> (in Thai)
- Tsai, Y. I., Lin, Y. and Lee, S. (2003). Visibility Variation with Air Qualities in the Metropolitan Area in Southern Taiwan. *Water*, 144. <https://doi.org/10.1023/A:1022901808656>
- UK Air Pollution Information System APIS. (2016). *Reduction of visibility*. [Online]. Retrieved December 17, 2019, from: http://www.apis.ac.uk/overview/issues/overview_reduction_of_visibility.htm

การพัฒนาตัวแบบพยากรณ์ของปริมาณเชื้อเพลิงเพิ่มพิเศษสำหรับเครื่องบินแบบแอร์บัส
A320-200 ทำการบินลงสนาม ณ ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ :
กรณีศึกษาสายการบินไทยสมายล์

บุลเสฏฐ์ มณีไชยพล^{1,*}, วรพล วัฒนานนท์²

^{1,2}สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน วิทยาลัยโลจิสติกส์และซัพพลายเชน
มหาวิทยาลัยศรีปทุม

Received: 24 June 2022

Revised: 12 December 2022

Accepted: 2 March 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาตัวแบบพยากรณ์ปริมาณเชื้อเพลิงเพิ่มพิเศษของเครื่องบินแบบแอร์บัส A320-200 ทำการบินลงสนาม ณ ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ เพื่อให้เกิดความประหยัดในขณะที่มีความปลอดภัยด้านการบินยังคงอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ การวิจัยนี้เป็นการวิจัยแบบผสมผสานโดยใช้เทคนิคเชิงปริมาณนำเชิงคุณภาพ โดยทำการรวบรวมตัวแปรด้านการบินจากการสัมภาษณ์กัปตันซึ่งสามารถสรุปได้จำนวน 8 ตัวแปร และนำข้อมูลทุติยภูมิที่ได้จากข้อมูลด้านการบินในอดีตจำนวน 427 เที่ยวบิน มาวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อสร้างตัวแบบพยากรณ์ปริมาณเชื้อเพลิงเพิ่มพิเศษ โดยให้ชุดข้อมูลฝึกมีจำนวน 307 เที่ยวบิน และชุดข้อมูลทดสอบมีจำนวน 120 เที่ยวบิน แล้วทำการพยากรณ์ข้อมูลในอดีตเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพและค่าใช้จ่าย ตลอดจนทดสอบการใช้งานจริงโดยนักบิน ผลการวิจัยพบว่า ตัวแบบมีผลรวมค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเป็น 0.346 จากนั้นจึงนำตัวแบบไปทดสอบในเที่ยวบินจริงพบว่ามีความถูกต้อง 91.67% และหากสายการบินไทยสมายล์ใช้ตัวแบบพยากรณ์นี้ช่วงระหว่างวันที่ 1 เมษายน 2562 – 31 มีนาคม 2563 จะทำให้สายการบินไทยสมายล์สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้ 10,929,197.60 บาท สรุปได้ว่าตัวแบบพยากรณ์ปริมาณเชื้อเพลิงเพิ่มพิเศษฯ นี้สามารถนำไปใช้งานจริงได้เพื่อช่วยให้สายการบินประหยัดค่าเชื้อเพลิง ในขณะที่นักบินก็มีความมั่นใจในความปลอดภัยด้านการบินอีกด้วย

คำสำคัญ: ตัวแบบพยากรณ์ เชื้อเพลิงเพิ่มพิเศษ โครงข่ายประสาทเทียม แอร์บัส A320-200

* ผู้ประสานงานหลัก; อีเมล: baboon48@hotmail.com

Developing a Model Forecasting Extra Fuel for Airbus A320-200 Landing at Suvarnabhumi Airport: a case study of Thai Smile Airways

Boonlasette Maneechaiyapol^{1,*}, Worrapon Wangkananon²

^{1,2}Logistics and Supply Chain Management, College of Logistics and Supply Chain,
Sripatum University

Received: 24 June 2022

Revised: 12 December 2022

Accepted: 2 March 2023

Abstract

This research aims to develop a model forecasting the amount of extra fuel of Airbus A320-200 landing at Suvarnabhumi Airport to achieve economy purpose within an acceptable level of flight safety. This research was carried out with mixed methods using quantitative leading qualitative technique by gathering aeronautical variables which was summarized into 8 items derived from captain interviews associated with the secondary data from the 427 historical flight data, divided into 307 training set with 120 testing set. The data were analyzed by Artificial Neural Networks technique to create the Extra Fuel Forecasting Model (EFFM). The backward test forecasting was then performed for the efficiency and expense comparison, along with utilization of the EFFM by pilot in flight. The results found that the accuracy of the EFFM was assessed by the sum of square error, equaled to 0.346. By the relative error, the accuracy value of actual flight test equaled to 91.67%. However, if THAI Smile Airways utilized the EFFM from 1 April 2019 to 31 March 2020, the airline would have reduced expenses by 10,929,197.60 baht. In conclusion, the EFFM is function to save the fuel costs and assure the pilots to operate flight safely.

Keyword: Forecasting Model, Extra Fuel, Artificial Neural Networks, Airbus A320-200

* Corresponding Author; E-mail: baboon48@hotmail.com

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมการบินพลเรือนกำลังเผชิญหน้ากับความสั่นเป็ลืองเชื้อเพลิงที่สูง ความสั่นเป็ลืองเชื้อเพลิงได้สร้างผลกระทบต่อราคาเชื้อเพลิงในสถานการณ์ปัจจุบัน ซึ่งการลดต้นทุนในแต่ละเที่ยวบินเกิดจากการลดปริมาณเชื้อเพลิงส่วนเกินในแต่ละเที่ยวบินลงอย่างเหมาะสม (Singh and Sharma, 2015) ปริมาณเชื้อเพลิงส่วนเกินนี้เกิดจากการคาดการณ์ของนักบินขณะวางแผนก่อนทำการบิน (Pre-flight Briefing) ซึ่งต้องตัดสินใจระบุปริมาณเชื้อเพลิงให้ครอบคลุม แต่การคาดการณ์ของนักบินจะอยู่บนพื้นฐานของความรู้และประสบการณ์ซึ่งอาจมิได้ครอบคลุมปัจจัยแห่งความไม่แน่นอนได้ครบถ้วนทุกประการ ดังนั้นการคาดการณ์โดยแม่นยำด้วยมนุษย์จึงเป็นสิ่งที่เป็นไปได้ยากนักบินจึงมักจะตัดสินใจระบุปริมาณเชื้อเพลิงแบบเผื่อให้ครอบคลุมระยะเวลาที่ใช้ในการบินวนรอ

ตารางที่ 1 ค่าใช้จ่ายของสายการบินไทยสมายล์เฉพาะที่เกิดจากการบรรทุกเชื้อเพลิง (Extra Fuel) ส่วนเกิน 2 ปี
ย้อนหลัง 2561 และ 2562

ค่าใช้จ่าย / ปี	ปี 2561	ปี 2562
Burn Loss Cost (THB)	35,242,308.32	19,448,547.67

ที่มา: Thai Smile Airways Co., Ltd. (2020b)

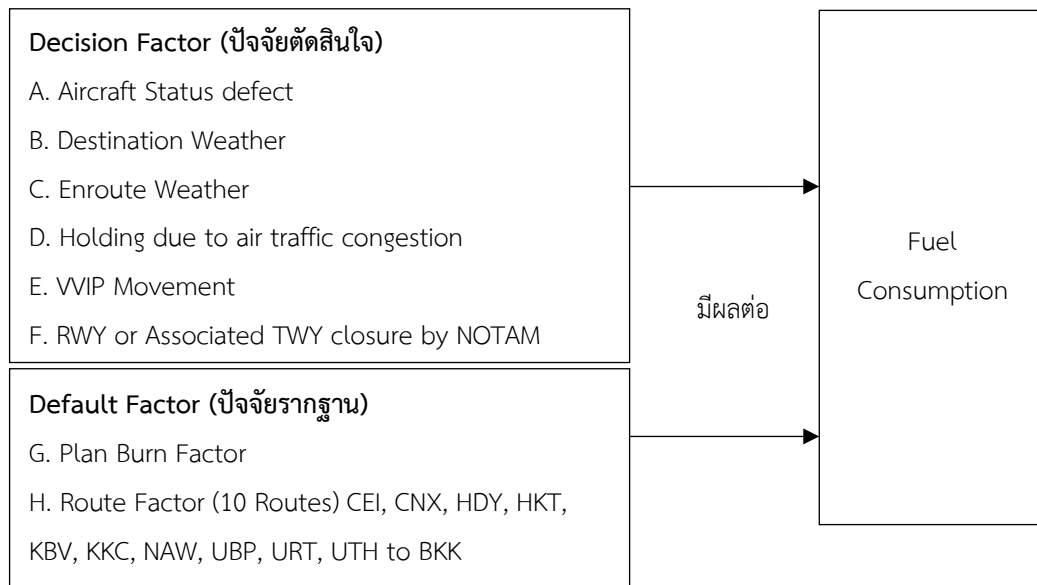
แม้ว่าปี 2562 ฝ่ายบริหารได้รณรงค์ให้นักบินมีการเติมเชื้อเพลิงที่น้อยลง ซึ่งช่วยลดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการบรรทุกเชื้อเพลิงส่วนเกินได้ในระดับหนึ่ง แต่การรณรงค์ดังกล่าวยังไม่มีข้อมูลอันส่งผลสอดคล้องต่อเกณฑ์การตัดสินใจที่แน่ชัดทำให้นักบินยังมีข้อกังวลด้านความปลอดภัย จึงทำให้เกิดข้อจำกัดภายหลังจากปี 2562 ในการที่จะลดปริมาณเชื้อเพลิงเพิ่มพิเศษ (Extra Fuel) งานวิจัยที่วิเคราะห์การพยากรณ์ปริมาณเชื้อเพลิงเพิ่มพิเศษนี้จึงเป็นประโยชน์เพิ่มเติมในด้านข้อมูลต่อนักบินของสายการบินไทยสมายล์ที่ทำการบินมายังท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ เนื่องจากปัจจัย 8 ประการจะก่อให้เกิดความสั่นเป็ลืองเชื้อเพลิงที่มากขึ้น และจำนวนเชื้อเพลิงจะไม่เพียงพอถ้านักบินไม่ตัดสินใจระบุปริมาณเชื้อเพลิงเพิ่มพิเศษเพื่อชดเชยความสั่นเป็ลืองในแต่ละสถานการณ์ตามเหตุปัจจัยต่าง ๆ อย่างไรก็ตามการตัดสินใจระบุปริมาณเชื้อเพลิงเพิ่มพิเศษที่มากจนเกินไปจะทำให้เกิดการสูญเสียเชื้อเพลิงสำหรับการบรรทุกน้ำหนักส่วนเกินที่ไม่จำเป็น ก็จะส่งผลให้ต้นทุนด้านเชื้อเพลิงเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นการใช้ตัวแบบพยากรณ์ปริมาณเชื้อเพลิงเพิ่มพิเศษซึ่งแจ้งความสั่นเป็ลืองเชื้อเพลิงในแต่ละสถานการณ์ตามเหตุปัจจัยต่าง ๆ จะสร้างความสมดุลในการระบุปริมาณเชื้อเพลิงของนักบินให้ครอบคลุมทั้งด้านเศรษฐศาสตร์และมาตรฐานความปลอดภัยด้านการบิน โดยส่งผลถึงความประหยัดต้นทุนเชื้อเพลิงและช่วยปรับระดับของความปลอดภัยให้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาตัวแบบ (Model) พยากรณ์ของปริมาณเชื้อเพลิงเพิ่มพิเศษ (Extra Fuel) สำหรับเครื่องบินแบบแอร์บัส A320-200 ทำการบินลงสนามบิน ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ
2. เพื่อช่วยให้นักบินสามารถระบุปริมาณเชื้อเพลิงเพิ่มพิเศษให้ใกล้เคียงกับความต้องการจริง

กรอบแนวคิดในการวิจัย

หน่วยงานด้านเชื้อเพลิงของสายการบินไทยสมายล์ได้ระบุว่า ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมีปัจจัยรากฐานอยู่ 2 ปัจจัย (Default Factor) คือ ปัจจัยด้านความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่วางแผน (Plan Burn Factor) และปัจจัยด้านเส้นทางบิน (Route Factor) เมื่อผู้วิจัยทำการทบทวนวรรณกรรมเพิ่มเติมประกอบกับการสัมภาษณ์เชิงลึก ทำให้ทราบถึงปัจจัยตัดสินใจ (Decision Factor) ที่มีผลต่อความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงอีก 6 ปัจจัย



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

ตัวแปรที่มีผลต่อความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง จำนวน 8 ข้อ มีดังนี้

A. Aircraft Status defect ปัจจัยตัดสินใจ ได้ข้อมูลจากรายงานสถานภาพอากาศยานประจำวันโดยกล่าวถึงความชำรุดบางส่วน (Paul et al., 2010)

B. Destination Weather ปัจจัยตัดสินใจ ได้ข้อมูลจากแหล่งข้อมูลด้านอุตุนิยมวิทยาโดยกล่าวถึงพยากรณ์อากาศของท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ (Singh and Sharma, 2014)

C. Enroute Weather ปัจจัยตัดสินใจ ได้ข้อมูลจากแหล่งข้อมูลด้านอุตุนิยมวิทยาโดยกล่าวถึงพยากรณ์อากาศระหว่างเส้นทางบิน (Mazraati and Alyousif, 2009)

D. Holding due to air traffic congestion ปัจจัยตัดสินใจ ได้ข้อมูลจากตารางบินโดยกล่าวถึงเวลาที่คาดว่าจะเครื่องบินจะถึงสนามบินสุวรรณภูมิ

E. VVIP Movement ปัจจัยตัดสินใจ ได้ข้อมูลจากประกาศผู้ทำการในอากาศ (Notice to Airmen: NOTAM) โดยกล่าวถึงการเดินทางของบุคคลสำคัญ (Very Very Important Person: VVIP) ด้วยอากาศยาน

F. Runway or Associated Taxiway closure by NOTAM ปัจจัยตัดสินใจ ได้ข้อมูลจากประกาศผู้ทำการในอากาศ โดยกล่าวถึงสภาพความพร้อมใช้งานของทางวิ่ง-ทางขับ (Runway-Taxiway: RWY-TWY)

G. Plan Burn-off Fuel เป็นปัจจัยด้านความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่วางแผน ได้ข้อมูลจาก History of Fuel Data โดยกล่าวถึงค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (Fuel Consumption) ที่บริษัทวางแผนในแต่ละเที่ยวบิน

H. Route เป็นปัจจัยด้านเส้นทางบิน ได้ข้อมูลจากตารางบินโดยกล่าวถึงเส้นทางบิน (Mazraati and Alyousif, 2009) โดยรหัสสนามบิน 10 เส้นทางนั้น ใช้รูปแบบของสมาคมขนส่งทางอากาศระหว่างประเทศ

ประโยชน์ที่ได้รับ

1. สายการบินสามารถลดต้นทุนเชื้อเพลิงลงได้จากการหลีกเลี่ยงการบรรทุกน้ำหนักส่วนเกิน
2. กับต้นมีความมั่นใจและมีความสะดวกในการวางแผนการบินมากยิ่งขึ้น (Casado and Bermúdez, 2020) รวมทั้งสามารถรักษาระดับความปลอดภัยให้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้
3. ช่วยลดการปล่อยมลภาวะต่าง ๆ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากการลดปริมาณเชื้อเพลิง

แนวคิด ทฤษฎี เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การดำเนินงานวิจัยได้ประยุกต์ใช้ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องดังนี้

1. การพยากรณ์ คือ การประเมินค่า ณ เวลาใดเวลาหนึ่งในอนาคต โดยใช้ความรู้ความเชี่ยวชาญ หรือข้อมูลในอดีตโดยมีเป้าหมายหลักเพื่อเป็นข้อมูลที่จะช่วยในการตัดสินใจให้กับผู้เกี่ยวข้อง ดังนั้นการพยากรณ์จึงสามารถประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางในหลากหลายสาขา (Kanthananon, 2018) การพยากรณ์มีหลายวิธี เช่น

1.1 การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Linear Regression) เป็นหลักการที่ใช้ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ เมื่อทราบค่าตัวแปรอิสระอื่น ๆ ที่มีอยู่มากกว่า 1 ตัวแปรเพื่อสร้างสมการ

1.2 การพยากรณ์โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกพหุคูณ เป็นการวิเคราะห์ที่ให้ตัวแปรตามเป็นตัวแปรกลุ่ม ทั้งนี้ลักษณะตัวแปรตามของการถดถอยโลจิสติกพหุคูณมีตัวแปรหลายกลุ่ม จัดเรียงไม่ได้ ดังนั้นการวิเคราะห์จึงสลับกลุ่มอ้างอิงในการเปรียบเทียบเพื่อสร้างสมการได้

2. การวิเคราะห์โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks: ANN) เป็นวิธีการสร้างคอมพิวเตอร์ที่จำลองเอาวิธีการทำงานของสมองมนุษย์ หรือทำให้คอมพิวเตอร์รู้จักคิดและจดจำในแนวทางเดียวกับโครงข่ายประสาทของมนุษย์ เพื่อช่วยให้คอมพิวเตอร์ฟังภาษามนุษย์ได้เข้าใจอ่านออกและรู้จำได้ ในที่นี้หมายถึงระบบปัญญาประดิษฐ์ที่เลียนแบบการคิดวิเคราะห์ของมนุษย์ (Chiewchanwattana, 2020) ซึ่งเป็นศาสตร์แขนงหนึ่งของวิทยาการคอมพิวเตอร์ที่ต้องการประดิษฐ์เครื่องจักร เช่น คอมพิวเตอร์ หรือหุ่นยนต์ ให้สามารถคิดและมีพฤติกรรมเลียนแบบมนุษย์ในกระบวนการตัดสินใจแก้ไขปัญหาได้ (Sirinaovakul, 2013)

3. คู่มือการบินสายการบินไทยสมายล์ได้จำแนกปริมาณเชื้อเพลิงขั้นต่ำในแต่ละเที่ยวบินซึ่งจะต้องมีปริมาณเชื้อเพลิงรวมครบทั้ง 5 รายการ (Ramp Fuel) คือ เชื้อเพลิงขับเคลื่อนบนพื้น (Taxi Fuel) เชื้อเพลิงเดินทาง (Trip Fuel) เชื้อเพลิงสำรอง (Contingency Fuel) เชื้อเพลิงสำหรับสนามบินสำรอง (Alternate Fuel) และเชื้อเพลิงสำรองสุดท้าย (Final Reserve Fuel) (Thai Smile Airways Co., Ltd., 2020a)

ทั้งนี้ยังไม่รวมถึงเชื้อเพลิงเพิ่มพิเศษที่กับต้นจะเป็นผู้ระบุเพิ่มขึ้นมาในกรณีที่คาดว่าเที่ยวบินดังกล่าวจะมีความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่มากกว่าปกติ โดย $\text{Ramp Fuel} + \text{Extra Fuel} = \text{Final Ramp Fuel}$

Plan Burn-off Fuel นั้นเป็นส่วนหนึ่งของ Ramp Fuel ซึ่งต่างก็เป็นค่าที่บริษัทได้วางแผนไว้ก่อนทำการบิน และในงานวิจัยฉบับนี้เมื่อทราบค่า Predicted Fuel Burn ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของ Predicted Ramp Fuel ก็จะทำให้ทราบค่าปริมาณเชื้อเพลิงเพิ่มพิเศษโดยอัตโนมัติ หรือในที่นี้คือ Recommended Extra Fuel

จากความสัมพันธ์ดังนี้

Extra Fuel	= Final Ramp Fuel - Ramp Fuel
Recommended Extra Fuel	= Predicted Ramp Fuel - Ramp Fuel หรือ
Recommended Extra Fuel	= Predicted Fuel Burn - Plan Burn-off Fuel ***

นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

Casado and Bermúdez (2020) ได้ศึกษาการทำนายความขัดแย้งของอากาศยานด้วยพื้นฐานโครงข่ายประสาทเทียมในท่าทางการบินขณะเข้าสู่แนวร่อนสุดท้ายก่อนถึงสนามบิน ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อใช้เป็นเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจ โดยกล่าวถึงการบินเข้าสู่แนวร่อนสุดท้ายว่าจะมีระยะห่างระหว่างเครื่องบินที่ไม่เป็นไปตามความต้องการของผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศซึ่งมีหน้าที่ควบคุมให้เป็นไปตามกฎการบิน จึงได้ใช้โครงข่ายประสาทเทียมพัฒนาเครื่องมือช่วยตัดสินใจของบุคลากรให้มีความสอดคล้องกับกฎการบินซึ่งมีความแม่นยำในการทำนายมากกว่า 97% และ Hongboonmee (2021) ได้ศึกษาระบบพยากรณ์ความเสี่ยงภาวะหมอนรองกระดูกทับเส้นประสาทผ่านสมาร์ตโฟนด้วยเทคนิคเหมืองข้อมูล โดยวิเคราะห์ปัจจัยตลอดจนพัฒนาแบบจำลองพยากรณ์ความเสี่ยงในการเกิดโรคหมอนรองกระดูกทับเส้นประสาทด้วยการวิเคราะห์ตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียมซึ่งมีความถูกต้องและค่าความแม่นยำ 94.60% นอกจากนี้ Eiampan (2019) ได้ศึกษาการบริหารความผิดพลาดของมนุษย์ในการบิน โดยกล่าวถึงความผิดพลาดด้านการบินที่ถึงขั้นเป็นอากาศยานอุบัติเหตุที่นั้นเกิดจากมนุษย์ถึง 70% การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมซึ่งเป็นอัลกอริทึมที่สำคัญของปัญญาประดิษฐ์สามารถลดความผิดพลาดนี้ลงได้

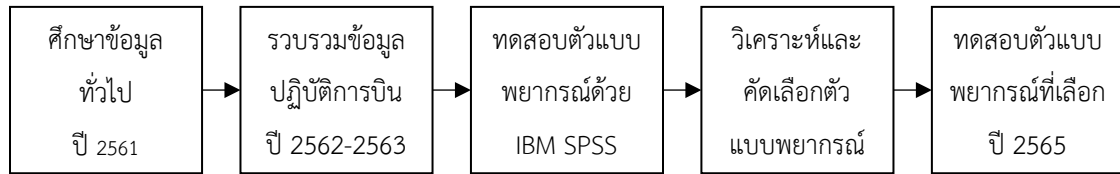
วิธีดำเนินการวิจัย

แบบแผนการวิจัย

งานวิจัยนี้ เป็นการวิจัยแบบผสมผสาน (Mixed Methods Research) ซึ่งใช้การวิจัยเชิงปริมาณนำเชิงคุณภาพ โดยมีขอบเขตการวิจัยเป็นข้อมูลปฏิบัติการบินของเครื่องบินแบบแอร์บัส A320-200 สายการบินไทยสมายล์ ทำการบินลงสนาม ณ ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ ในช่วงระหว่างวันที่ 12 เมษายน 2562 ถึง 24 มกราคม 2563 โดยทำการศึกษา ทบทวน เอกสารด้านการบิน งานวิจัย และวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยที่มีผลต่อความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ตลอดจนสังเคราะห์ปัจจัยดังกล่าว และรวบรวมปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ทำการสัมภาษณ์เชิงลึกและอภิปรายเชิงกลุ่ม โดยมีกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 2 กลุ่ม คือ กลุ่มกัปตันสายการบินไทยสมายล์จำนวน 9 ท่านที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับ 6 ปัจจัยตัดสินใจที่ใช้ในการพยากรณ์ซึ่งเก็บข้อมูลโดยการสัมภาษณ์เชิงลึก และกลุ่มนักคณิตศาสตร์และโปรแกรมเมอร์จำนวน 7 ท่านที่ให้ข้อมูลการสร้างตัวแบบฯ ซึ่งเก็บข้อมูลจากการอภิปรายเชิงกลุ่ม โดยในการสัมภาษณ์เชิงลึกกับกลุ่มกัปตันทำให้ได้ตัวแปรที่ใช้ในการพยากรณ์ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ผู้วิจัยจึงได้รวบรวมข้อมูลทุติยภูมิจำนวน 427 ชุดจากข้อมูลปฏิบัติการบินในชุดเอกสารแถลงย่อก่อนทำการบินในอดีตมาทำการแปลงรูปแบบของข้อมูลเพื่อใช้ในการพยากรณ์ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง และทดสอบตัวแบบพยากรณ์กับโปรแกรม IBM SPSS ด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ การถดถอยโลจิสติกพหุคูณ หรือโครงข่ายประสาทเทียม



ภาพที่ 2 แผนผังวิธีดำเนินการวิจัยโดยย่อ

จากนั้นได้ทำการคัดเลือกวิธีพยากรณ์ และอธิบายเชิงกลุ่มกับกลุ่มนักคณิตศาสตร์และโปรแกรมเมอร์จำนวน 7 ท่าน เพื่อทดสอบความตรงของตัวแบบ ทำการพยากรณ์ข้อมูลในอดีตเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพและค่าใช้จ่าย รวมถึงสร้างแอปพลิเคชันเพื่อให้นักบินได้ทำการทดลองใช้งานไปจนถึงทดสอบการใช้งานจริง สุดท้ายคือสรุปผลการวิจัยและนำเสนอให้แก่ส่วนที่เกี่ยวข้องของสายการบินไทยสมายล์ต่อไป

The screenshot shows the 'Tell WE More' app interface. At the top, there's a header with 'THAI Smile' logo and 'Extra Fuel & GOP Tell WE More' title. Below the header, there's a '1. Flight Information' section with input fields for 'Flight Number' (e.g., 46), 'From', 'To', 'Date of Flight' (with a calendar icon), and 'Registration'. Below this is a '2. Extra Fuel' section with a toggle switch for 'More than 200 kg of extra fuel is required' (set to 'Yes'). Underneath, there's a section 'Select the following reason why the Extra fuel is needed:' with several checkboxes: 'Weather Condition', 'Aircraft Status', 'Delay (VIP MOV or Late ARR of Prev. Flight)', 'Others', 'Single Runway', 'Expect Numerous Traffic', and 'Incorrect Flight Plan'.

ภาพที่ 3 ปัจจัยที่มีผลต่อความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง จากแอปพลิเคชัน Tell WE More สายการบินไทยสมายล์

ผู้วิจัยทำการศึกษาและรวบรวมข้อมูลทั่วไประหว่างเดือนมิถุนายน 2561 ถึง มิถุนายน 2565 รวมระยะเวลา 4 ปี ซึ่งข้อมูลปฏิบัติการบินส่วนใหญ่และช่วงเวลาที่ใช้ทดลองตัวแบบฯ จะไม่ครอบคลุมห้วงเวลาการระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 เนื่องจากความไม่สมจริงของข้อมูลด้านการบิน

เครื่องมือวิจัย

ใช้โปรแกรม IBM SPSS Version 25 และ ระบบปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ออนไลน์ Google Colab

การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้จำแนกข้อมูลทุติยภูมิจากข้อมูลปฏิบัติการบินจำนวน 427 ชุด ลงในปัจจัยตัดสินใจ A ถึง F จำนวน 6 ปัจจัย ด้วยการระบุตัวเลขให้แก่ระดับของปัจจัยเพื่อให้สะดวกต่อการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโครงข่ายประสาทเทียม โดยให้ค่า 0.8 แทนระดับสูง (High) ค่า 0.5 แทนระดับกลาง (Medium) และค่า 0.1 แทนระดับต่ำ (Low) ซึ่งการแบ่งระดับปัจจัยให้มีค่าเป็น สูง-กลาง-ต่ำ นี้ได้ผ่านการรับรองจากผู้ทรงคุณวุฒิด้านการบินเรียบร้อยแล้ว ในขณะที่ข้อมูลปัจจัยด้านเส้นทางบิน (H) จะใช้ค่าเป็น 0,1 และปัจจัยด้านความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่วางแผน (G) กับความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจริง (Burn) นั้นใช้ตัวเลขจากข้อมูลที่มีหน่วยเป็นกิโลกรัม

ตารางที่ 2 ตัวอย่างชุดข้อมูล Training Set

Seq.	Burn	A	B	C	D	E	F	G	H (Route)
1	2020	0.1	0.1	0.1	0.8	0.1	0.5	2198	KKC-BKK
2	1800	0.1	0.1	0.1	0.8	0.1	0.1	2250	KKC-BKK
3	2040	0.1	0.5	0.1	0.8	0.1	0.1	2247	KKC-BKK
4	2040	0.1	0.5	0.1	0.8	0.1	0.1	2211	KKC-BKK
5	1980	0.1	0.1	0.1	0.8	0.1	0.1	2191	KKC-BKK
... (Other Actual Burn-off Fuel)			... (any level of each Factor)				... (Other Domestic Route)		
427	3400	0.1	0.1	0.1	0.8	0.1	0.1	3334	HKT-BKK

ดังเช่นตัวอย่างชุดข้อมูลฝึก (Training Set) ที่มีค่าปัจจัย A เป็น 0.1 ซึ่งหมายถึงมีความชำรุดของอากาศยานที่ไม่กระทบต่อความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ในส่วนของปัจจัย B มีค่าเป็น 0.1 ซึ่งกล่าวถึงพยากรณ์อากาศที่สนามบินสุวรรณภูมิว่ามีทัศนวิสัยมากกว่า 5 กิโลเมตร ในขณะที่ค่า 0.5 คือ มีทัศนวิสัยตั้งแต่ 1.5-5 กิโลเมตร ปัจจัย C ที่มีค่าเป็น 0.1 กล่าวถึงพยากรณ์อากาศที่ไม่มีเมฆขวางเส้นทางบิน ปัจจัย D ค่า 0.8 คือ ช่วงเวลาที่เที่ยวบินร่อนลงสนามบินสุวรรณภูมิโดยคาดว่าจะมีจำนวนอากาศยานมากกว่า 40 เที่ยวบินต่อชั่วโมง ปัจจัย E ที่มีค่าเป็น 0.1 คือ การเดินทางของบุคคลสำคัญในวันนั้นไม่มีผลกระทบต่อเที่ยวบิน และ ปัจจัย F มีค่าเป็น 0.1 และ 0.5 นั้น หมายถึง การปิดทางวิ่ง-ทางขับ ไม่มีผลกระทบต่อเที่ยวบิน และมีผลกระทบต่อเที่ยวบินเพียงเฉพาะในส่วนการวิ่งขึ้น (Take Off) ตามลำดับ โดยชุดข้อมูล 427 เที่ยวบินนั้น ครอบคลุมถึง 10 เส้นทางบิน และแต่ละเส้นทางบินมีจำนวนชุดข้อมูล 40-44 เที่ยวบิน

ผลการวิจัย

จากวิธีดำเนินการวิจัยดังกล่าวเมื่อนำมาประกอบกับข้อมูลชุดฝึกจำนวน 427 ชุด ทำการทดลองในโปรแกรม IBM SPSS Version 25 ด้วยวิธีวิเคราะห์ต่าง ๆ ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 3 และตารางที่ 4

ตารางที่ 3 ผลรวมค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Sum of Square Error: SSE) จากการทดลองหลายฟังก์ชันการกระตุ้น (Activation Function) และหลากหลายสถาปัตยกรรมของการวิเคราะห์โครงข่ายประสาทเทียม

Number of Hidden Layer/ Activation Function	1-Hidden Layer (17-8-1) SSE value	2-Hidden Layer (17-8-6-1) SSE value
Hyperbolic – Hyperbolic tng.	1.408	1.599
Hyperbolic tng. – Sigmoid	0.429	0.484
Sigmoid – Hyperbolic tng.	1.601	1.528
Sigmoid – Sigmoid	0.346*	0.418

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีวิเคราะห์ต่าง ๆ

วิธีวิเคราะห์ข้อมูล	ผลการวิเคราะห์ข้อมูล
ตัวแบบการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ	Error (No valid cases found)
ตัวแบบการถดถอยโลจิสติกพหุคูณ	Significant = 1.0 (ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ)
ตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียม	สามารถสร้างสมการทำนายได้ ค่า SSE = .346

ตัวแบบการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณมีรูปแบบของสมการดังนี้

$$Y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_kx_k + \varepsilon$$

สมการข้างต้นนี้เป็นสมการเชิงเส้น และเนื่องจากข้อมูลบางชุดของงานวิจัยฉบับนี้มีความขัดแย้งกันเองในบางเที่ยวบิน ทำให้การวิเคราะห์โดยตัวแบบการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณซึ่งเป็นตัวแบบเชิงเส้นนั้นไม่มีความเหมาะสม เนื่องจากโปรแกรม IBM SPSS Version 25 ไม่สามารถแสดงผลในกรณีนี้ได้ จึงเป็นการบอกโดยนัยว่าตัวแบบสมการไม่เชิงเส้นจะมีความเหมาะสมกับชุดข้อมูลที่มีความขัดแย้งกันเองในบางชุดดังกล่าวนี้

Model Fitting Information

Model	Model Fitting Criteria	Likelihood Ratio Tests		
	-2 Log Likelihood	Chi-Square	df	Sig.
Intercept Only	3655.335			
Final	3272.198	383.136	1581	1.000

Pseudo R-Square

Cox and Snell	.592
Nagelkerke	.592
McFadden	.104

ภาพที่ 4 ผลสรุปตัวแบบการถดถอยโลจิสติกพหุคูณจากโปรแกรม IBM SPSS Version 25

Model Summary

Training	Sum of Squares Error	1.054
	Relative Error	.153
	Stopping Rule Used	1 consecutive step(s) with no decrease in error ^a
	Training Time	0:00:00.12
Testing	Sum of Squares Error	.346
	Relative Error	.152

ภาพที่ 5 ผลสรุปตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียมจากโปรแกรม IBM SPSS Version 25

จึงสรุปได้ว่า ตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียมเป็นวิธีวิเคราะห์ข้อมูลที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งได้จัดทำขึ้นเป็นเครื่องมือสำหรับสร้างตัวแบบข้อมูลแบบไม่เชิงเส้น ประกอบด้วย ชั้นรับเข้า (Input Layer) และชั้นส่งออก (Output

Layer) รวมถึงชั้นซ่อน (Hidden Layer) อย่างละ 1 ชั้น การเชื่อมต่อระหว่างชั้นจะมีค่าน้ำหนัก (Weight) ที่เกี่ยวข้องซึ่งปรับแต่งซ้ำ ๆ โดยอัลกอริทึมการฝึก เพื่อลดความผิดพลาดให้เหลือน้อยที่สุดและจัดการให้เกิดการทำนายที่มีความแม่นยำ (IBM, n.d.) สถาปัตยกรรมในงานวิจัยฉบับนี้จะเป็นแบบ 17-8-1 ซึ่งมีชั้นซ่อนจำนวน 1 ชั้น และใช้ฟังก์ชันการกระตุ้นของชั้นซ่อน-ชั้นส่งออกเป็นแบบ Sigmoid-Sigmoid โดยรูปแบบของตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียมที่ผู้วิจัยเลือกนั้นจะทำให้ได้ค่าผลรวมค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเป็น 0.346 ซึ่งมีค่าน้อยที่สุด และมีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (Relative Error) เป็น 0.152

ข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้เป็นข้อมูลทุติยภูมิโดยเก็บรวบรวมจากสายการบินไทยสมายล์ สามารถแบ่งข้อมูลจำนวนดังกล่าวได้เป็น 2 ส่วน โดยให้ชุดข้อมูลฝึกมีจำนวน 307 ตัวอย่าง และชุดข้อมูลทดสอบ (Testing Set) มีจำนวน 120 ตัวอย่าง ซึ่งจะนำมาใช้ในการฝึกโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อใช้ในการสร้างสมการทำนายความสัมพันธ์เชื้อเพลิง และเมื่อผลรวมค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองระหว่างการฝึก (Train) ลดลงเหลือน้อยที่สุดก็จะสามารถสรุปสมการทำนายความสัมพันธ์เชื้อเพลิงได้ตามที่ผู้วิจัยต้องการ (Kengpol and Wangkananon, 2015) ซึ่งสมการทำนายฯ คือ

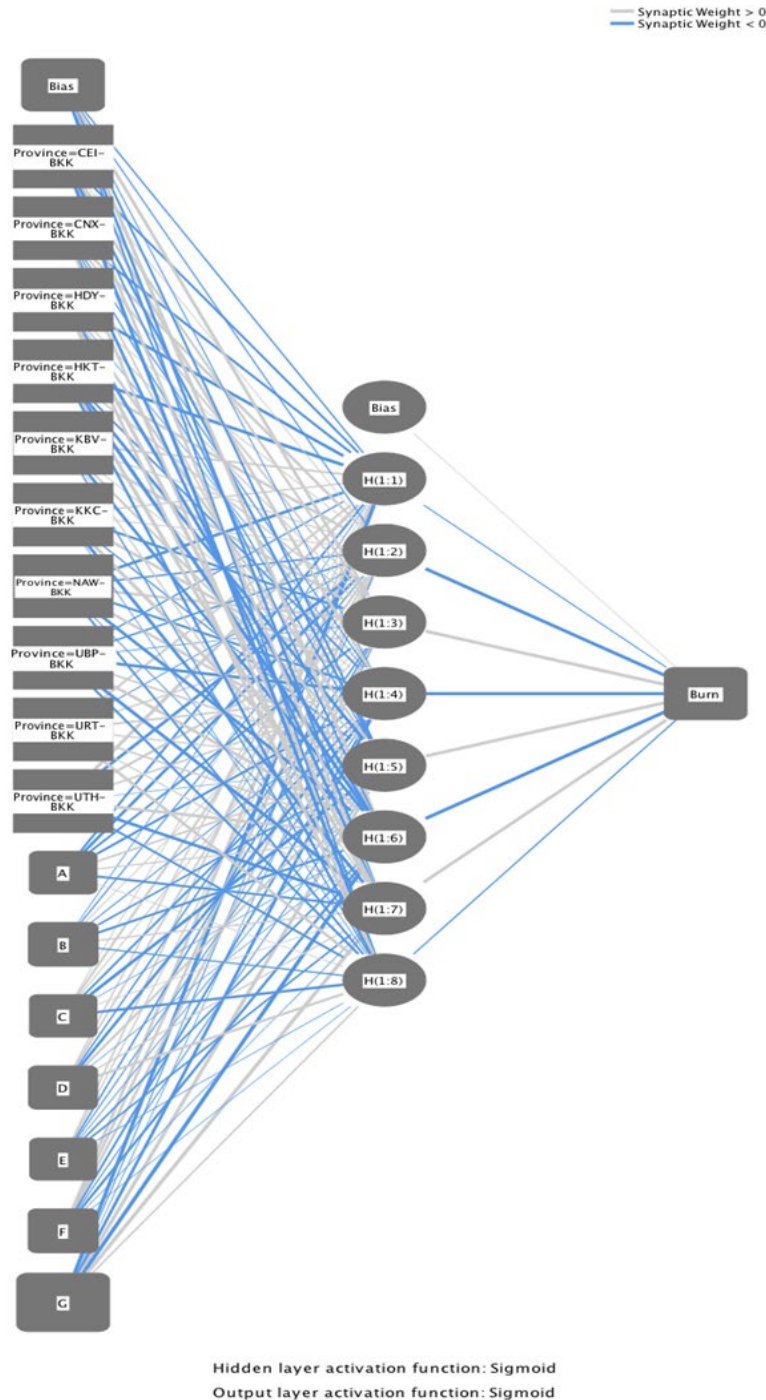
$$\hat{Y} = \frac{1}{1 + e^{-\left[\left(\frac{1}{1+e^{-(X_N \times W)}}\right)^* \times V\right]}}$$

$$L = \hat{Y} \times (Y_{max} - Y_{min}) + Y_{min}$$

X	คือ Matrix ค่าตัวแปรต้นต่าง ๆ (Input)
X_N	คือ Scaled Matrix ค่าตัวแปรต้นต่าง ๆ (Input)
W	คือ Matrix ค่า Weight ของตัวแปรต้น (Input)
V	คือ Matrix ค่า Weight ไปยัง Output Layer
$\hat{Y}$	คือ Scaled Predicted Fuel Burn
Y_{min}	คือ Minimum Actual Burn-off Fuel
Y_{max}	คือ Maximum Actual Burn-off Fuel
L	คือ Predicted Fuel Burn

โปรแกรม IBM SPSS ในส่วนของ Neural Networks: Multilayer Perceptron ให้ค่าที่จำเป็นอย่างยิ่งต่อการสร้างสมการทำนาย โดยให้ค่าน้ำหนักซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์ของสมการ และค่าความเอนเอียง (Bias) เป็นค่าคงที่ของสมการ ซึ่งเพียงพอสำหรับผู้วิจัยที่จะสามารถนำไปสร้างสมการทำนายได้ รูปแบบโครงข่ายประสาทเทียมที่นำมาใช้ในการวิจัยฉบับนี้มีสัดส่วน คือ ชั้นรับเข้า : ชั้นซ่อน : ชั้นส่งออก = 17 : 8 : 1 โดยสัดส่วนดังกล่าวนี้ ยังไม่รวมถึงค่าความเอนเอียงชั้นรับเข้าจำนวน 1 โหนด และค่าความเอนเอียงชั้นซ่อน จำนวน 1 โหนด

นอกจากนี้ผู้เชี่ยวชาญทุกท่านได้พิจารณาการสร้างสมการทำนายความสัมพันธ์เชื้อเพลิงซึ่งเป็นตัวแบบทางคณิตศาสตร์ของผู้วิจัย โดยมีความเห็นที่สอดคล้องไปในแนวทางเดียวกันว่าโปรแกรมและรูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่ผู้วิจัยได้จัดทำนั้นมีความถูกต้อง



ภาพที่ 6 แผนผังโครงข่ายประสาทเทียมของสมการทำนายความสั่นเปลี่ยนเชื่อเพลิงแบบ 17 : 8 : 1

ผู้วิจัยจึงได้ทำการทดลองป้อนข้อมูลตลอดจนจัดรูปแบบการคำนวณให้สอดคล้องกับสมการทำนายความสั่นเปลี่ยนเชื่อเพลิงลงในโปรแกรมไมโครซอฟต์เอ็กเซล ซึ่งถือเป็นตัวแทนของสมการทำนายและเป็นระบบคำนวณหลักของงานวิจัยฉบับนี้ อีกทั้งยังจัดทำทดสอบความเที่ยงตรงหรือความตรงของตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียม ด้วยวิธีการเปรียบเทียบกันระหว่างการใช้ระบบปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ออนไลน์ Google Colab กับวิธีทำนายความสั่นเปลี่ยนเชื่อเพลิงในโปรแกรมไมโครซอฟต์เอ็กเซลพบว่า ค่าความสั่นเปลี่ยนเชื่อเพลิงที่ได้จากทั้งสองวิธีมี

ความตรงกันถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 5 ตัวอย่างเช่น ชุดข้อมูลบรรทัดแรกสมการทำนายที่ผ่านการแสดงผลโดยโปรแกรม ไมโครซอฟต์เอ็กเซลให้ค่าทำนายความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง หรือ Predicted Fuel Burn เป็น 2092.13746 กิโลกรัม ในขณะที่ Google Colab ให้ค่าทำนายความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเป็น 2092.1374602107785 กิโลกรัม

ตารางที่ 5 ตัวอย่างการระบุค่าสำหรับปัจจัยต่าง ๆ ในโปรแกรมไมโครซอฟต์เอ็กเซลซึ่งเป็นระบบคำนวณหลัก

Input Layer with Bias																		
Route	BIAS	CEI	CNX	HDY	HKT	KBV	KKC	NAW	UBP	URT	UTH	A	B	C	D	E	F	G
KKC-BKK	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0.8	0.1	0.5	2198

ผลการพยากรณ์ข้อมูลในอดีตระหว่างวันที่ 1 เมษายน 2562 ถึง 31 มีนาคม 2563 โดยจำลองสถานการณ์กับสมการทำนายความสิ้นเปลืองเพื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่าย (Burn Lost Cost) พบว่าการที่กัปตันใช้ประสบการณ์เพียงอย่างเดียวตัดสินใจระบุปริมาณเชื้อเพลิงเพิ่มพิเศษ ทำให้บริษัทต้องสูญเสียค่าใช้จ่ายมากกว่ากรณีที่ใช้ตัวแบบพยากรณ์ทำนายความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงทำการระบุปริมาณเชื้อเพลิงเพิ่มพิเศษ เมื่อรวมทุกเส้นทางบินทั้งสิ้น 10 เส้นทางบินนั้นจะเป็นจำนวนเงิน 10,929,197.60 บาท และการพิจารณาความคลาดเคลื่อนของตัวแบบพยากรณ์ปริมาณเชื้อเพลิงเพิ่มพิเศษเปรียบเทียบกับความคลาดเคลื่อนของการตัดสินใจสั่งเชื้อเพลิงของกัปตันพบว่า การตัดสินใจของกัปตันโดยใช้ประสบการณ์เพียงอย่างเดียวก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการสั่งเชื้อเพลิงเมื่อเทียบกับปริมาณที่เครื่องบินเผาผลาญจริง (Actual Burn-off Fuel) คิดเป็นความคลาดเคลื่อนจำนวน 300,751 กิโลกรัม ในขณะที่ตัวแบบพยากรณ์ปริมาณเชื้อเพลิงเพิ่มพิเศษ ได้ระบุความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงซึ่งก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการสั่งเชื้อเพลิงเมื่อเทียบกับปริมาณที่เครื่องบินเผาผลาญจริง คิดเป็นความคลาดเคลื่อนจำนวนเพียง 51,781 กิโลกรัม

ส่วนการทดสอบไปข้างหน้า (Forward Test) ในเที่ยวบินจริงเป็นจำนวน 19 เที่ยวบินดังตารางที่ 6 นั้น ได้ทำการระบุค่าระดับของปัจจัยตัดสินใจในปัจจัย A-F ให้สอดคล้องกับข้อมูลปฏิบัติการบินของแต่ละเที่ยวบิน ในขณะที่เอกสารดังกล่าวก็ได้แสดงค่าปัจจัย G ซึ่งเป็นค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่บริษัทวางแผนไว้ในแต่ละเที่ยวบิน (Plan Burn-off Fuel) ด้วย

ซึ่งข้อมูลแต่ละเที่ยวบินดังกล่าวนี้เมื่อทำการป้อนค่าในตัวแบบพยากรณ์ปริมาณเชื้อเพลิงเพิ่มพิเศษฯ ก็จะทำนายความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงในหลักตาราง ‘Pred.Burn’ (Predicted Fuel Burn) โดยสมการค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ คือ

$$Relative\ Error = \frac{|Predict - Actual|}{Actual}$$

ในส่วนของการทดสอบการใช้งานจริงนั้น นับตั้งแต่ผู้วิจัยได้กำหนดสมการทำนายความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงตั้งแต่วันที่ 12 พฤษภาคม 2565 ผู้วิจัยได้ให้นักบินสายการบินไทยสมายล์ทำการทดลองใช้งานตัวแบบพยากรณ์ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและปริมาณเชื้อเพลิงเพิ่มพิเศษ โดยให้มีการพยากรณ์ก่อนทำการบินในบางเที่ยวบิน ทำให้ได้ผลการทดสอบการใช้งานจริงจำนวน 19 เที่ยวบินดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบไปข้างหน้าโดยนักบินที่ทำการบินในห้วงพฤษภาคม-มิถุนายน พ.ศ.2565

Flight No.	Route	A	B	C	D	E	F	G	Pred.Burn	Actual Burn	Error	%	Relative Err
1 WE212	HKT-BKK	0.1	0.1	0.5	0.5	0.1	0.1	3405	3220	2900	320	11.034483	0.1103448
2 WE206	HKT-BKK	0.1	0.5	0.5	0.8	0.1	0.1	3376	3322	3020	302	10	0.1
3 WE111	CNX-BKK	0.1	0.5	0.5	0.8	0.1	0.1	2878	2872	2720	152	5.5882353	0.0558824
4 Flight Jo	HKT-BKK	0.1	0.1	0.1	0.5	0.1	0.1	3283	3200	2840	360	12.676056	0.1267606
5 Flight Jo	KKC-BKK	0.1	0.5	0.1	0.8	0.1	0.1	2148	2068	2140	-72	-3.364486	0.0336449
6 Flight Jo	HDY-BKK	0.5	0.1	0.1	0.8	0.1	0.1	3311	3365	3200	165	5.15625	0.0515625
7 Flight Jo	NAW-BKK	0.1	0.1	0.1	0.8	0.1	0.1	3447	3470	3200	270	8.4375	0.084375
8 Flight Jo	CEI-BKK	0.1	0.1	0.8	0.1	0.1	0.5	3207	2909	2900	9	0.3103448	0.0031034
9 WE043	KKC-BKK	0.1	0.1	0.1	0.8	0.1	0.1	2093	2010	2080	-70	-3.365385	0.0336538
10 WE214	HKT-BKK	0.1	0.1	0.1	0.8	0.1	0.1	3094	3201	2940	261	8.877551	0.0887755
11 WE216	HKT-BKK	0.1	0.5	0.5	0.8	0.1	0.1	3440	3337	3100	237	7.6451613	0.0764516
12 WE286	HKT-BKK	0.1	0.5	0.5	0.8	0.1	0.1	3458	3342	3420	-78	-2.280702	0.022807
13 WE258	URT-BKK	0.1	0.5	0.5	0.8	0.1	0.1	2663	2771	2400	371	15.458333	0.1545833
14 WE206	HKT-BKK	0.1	0.5	0.5	0.8	0.1	0.1	3462	3343	2960	383	12.939189	0.1293919
15 WE111	CNX-BKK	0.1	0.5	0.1	0.8	0.1	0.1	2911	2917	2700	217	8.0370704	0.0803704
16 WE268	HDY-BKK	0.1	0.1	0.1	0.8	0.1	0.1	3239	3302	2990	312	10.434783	0.1043478
17 WE021	UBP-BKK	0.1	0.1	0.1	0.8	0.1	0.1	2355	2466	2200	266	12.090909	0.1209091
18 WE250	KBV-BKK	0.1	0.5	0.5	0.8	0.1	0.1	2868	3175	2800	375	13.392857	0.1339286
19 WE005	UTH-BKK	0.1	0.5	0.5	0.8	0.1	0.1	2504	2541	2370	171	7.2151899	0.0721519
												Sum of RE	1.5830445
												FWD Test Relative Error	0.0833181

โดยพบว่า การทดสอบไปข้างหน้า (Forward Test) มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เป็น 0.0833 หรือ 8.33% ในขณะที่การทดสอบย้อนกลับ (Backward Test) กับกลุ่มชุดข้อมูลในอดีตทั้งหมด 427 ชุดข้อมูล ที่ผู้วิจัยได้ใช้สร้างสมการทำนายนั้นพบว่า มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ 0.04819 หรือ 4.819% และจากผลการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า สมการของตัวแบบพยากรณ์ปริมาณเชื้อเพลิงเพิ่มพิเศษฯ ซึ่งได้จากการวิเคราะห์โครงข่ายประสาทเทียมชุดนี้มีความเที่ยงตรง (Validity) ถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 5 เป็นผลจะทำให้กลุ่มนักบินที่ใช้สมการทำนายฯ มีความมั่นใจว่าได้ตัดสินใจอย่างไม่มีผิดพลาดต่อการระบุปริมาณเชื้อเพลิงเพิ่มพิเศษฯ ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของข้อมูลด้านการบินในอดีต

สรุปผลการวิจัย

จากวัตถุประสงค์ด้านการพัฒนาตัวแบบพยากรณ์ปริมาณเชื้อเพลิงเพิ่มพิเศษฯ นั้น สมการที่พัฒนาขึ้นมาได้ คือ

$$\text{Predicted Fuel Burn} = \hat{Y} \times (Y_{\max} - Y_{\min}) + Y_{\min}$$

การใช้สมการทำนายความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงทำงานในนามของตัวแบบพยากรณ์ปริมาณเชื้อเพลิงเพิ่มพิเศษฯ ระหว่างวันที่ 1 เมษายน 2562 ถึง 31 มีนาคม 2563 นั้นจะทำให้สายการบินไทยสมายล์สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายไปได้จำนวน 10,929,197.60 บาท ซึ่งถือเป็นการลดต้นทุนจากการบรรทุกน้ำหนักเชื้อเพลิงส่วนเกิน สร้างความสมดุลให้ครอบคลุมทั้งด้านเศรษฐศาสตร์และมาตรฐานความปลอดภัยด้านการบิน โดยส่งผลถึงความประหยัดต้นทุนเชื้อเพลิง และช่วยปรับระดับของความปลอดภัยให้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ในทำนองเดียวกันการป้อนข้อมูลด้านการบินในลักษณะการทดสอบไปข้างหน้า (Forward Test) เพื่อพยากรณ์ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงนั้น พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (Relative Error) เป็น 0.0833 หรือ 8.33% ดังตารางที่ 6 ซึ่งสามารถกล่าวได้ว่าตัวแบบฯ มีค่าความถูกต้อง 91.67% ในขณะที่การทดสอบย้อนกลับ (Backward Test) กับกลุ่มชุดข้อมูลในอดีตทั้งหมด 427 ชุดข้อมูล พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เป็น 0.04819 หรือ 4.819%

อภิปรายผล

จากค่าความถูกต้องและค่าความคลาดเคลื่อนที่กล่าวมาข้างต้นสามารถกล่าวได้ว่า ตัวแบบพยากรณ์ปริมาณเชื้อเพลิงเพิ่มพิเศษฯ ซึ่งใช้การวิเคราะห์โครงข่ายประสาทเทียมในการดำเนินการนั้น สอดคล้องกับระบบทำนายความขัดแย้งของอากาศยานด้วยพื้นฐานโครงข่ายประสาทในท่าทางการบินขณะเข้าสู่สนามช่วงสุดท้าย (Final Approach) (Casado and Bermúdez, 2020) ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการที่จะควบคุมให้ระยะห่างระหว่างเครื่องบินที่ร่อนลงสนามนั้นมีระยะตามที่กำหนดในกฎการบินโดยถือว่าเป็นเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจทั้งสำหรับผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศและนักบินที่กำลังทำการบิน ซึ่งงานวิจัยฉบับดังกล่าวมีการทำนายที่แม่นยำมากกว่า 97% นอกจากนี้งานของผู้วิจัยยังมีประสิทธิภาพเช่นเดียวกับระบบพยากรณ์ความเสี่ยงภาวะหมอนรองกระดูกทับเส้นประสาทผ่านสมาร์ตโฟนด้วยเทคนิคเหมืองข้อมูล (Hongboonmee, 2021) ซึ่งมีค่าความถูกต้อง 94.60% อันเป็นเหตุสนับสนุนได้ว่า สมการทำนายความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของผู้วิจัยที่ใช้การวิเคราะห์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม ก็สามารถระบุปริมาณเชื้อเพลิงเพิ่มพิเศษได้อย่างเหมาะสมและแม่นยำเช่นเดียวกับระบบพยากรณ์อื่นที่ใช้การวิเคราะห์โครงข่ายประสาทเทียมด้วยเช่นกัน งานวิจัยฉบับนี้นอกจากจะส่งผลถึงความสะดวกในการวางแผนด้านการบินแล้ว ยังทำให้เกิดความปลอดภัยที่ก้าวหน้าขึ้นในอีกทางหนึ่งซึ่งถือเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างที่สุดในอุตสาหกรรมการบิน (Eiampan, 2019)

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

1.1 งานวิจัยฉบับนี้หากใช้เพื่อวัตถุประสงค์ในการปฏิบัติการบิน ให้เน้นการใช้โดยพิจารณาร่วมกับกฎการบินของแต่ละบริษัทอย่างเคร่งครัด และนักบินที่ใช้ตัวแบบพยากรณ์ปริมาณเชื้อเพลิงเพิ่มพิเศษฯ ต้องเป็นผู้ที่มีวินัยด้านการบินที่ดี เนื่องจากตัวแบบฯ นี้จัดทำขึ้นด้วยข้อจำกัดด้านการกระจายตัวของข้อมูลซึ่งอาจมีผลต่อความแม่นยำในบางกรณี ดังนั้นไม่ว่าสมการทำนายความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจะให้ค่า Predicted Fuel Burn เท่าใด ก็ปัดต้นจะต้องไม่สั่งเชื้อเพลิงต่ำกว่าปริมาณเชื้อเพลิงขั้นต่ำระบุไว้ในกฎการบิน

1.2 ตัวแบบพยากรณ์ปริมาณเชื้อเพลิงเพิ่มพิเศษฯ นี้สามารถประยุกต์ใช้กับเครื่องบินรุ่นอื่นได้

2. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

สามารถนำการพัฒนาครั้งนี้ไปประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมอื่นที่ใกล้เคียงได้ เช่น อุตสาหกรรมยานยนต์หรือการขนส่ง ซึ่งจะสร้างคุณูปการต่อประเทศชาติได้มากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- Casado, R., and Bermúdez, A. (2020). Neural Network-Based Aircraft Conflict Prediction in Final Approach Maneuvers. *Electronics*, 9(10), 1708.
- Chiewchanwattana, S. (2020). *Artificial Neural Networks*. Khon Kaen: Klungnan Vitthaya. (in Thai)
- Eiampan, T. (2019). Human Error Management in Aviation. *Sripatum Review of Humanities and Social Sciences*, 19(2), 166-176. (in Thai)

- Hongboonmee, N. (2021). Predictive System for Risk of Herniated Disc via Smartphone using Data Mining Techniques. *Sripatum Review of Science and Technology*, 13(1), 128-143. (in Thai)
- Kanthananon, K. (2018). *Statistical Forecasting*. Bangkok: Se-Education. (in Thai)
- Kengpol, A., and Wangkananon, W. (2015). An assessment of customer contentment for ready-to-drink tea flavor notes using artificial neural networks. In V. Kachitvichyanukul, K. Sethanan, P. Golinska-Dawson (Eds.), *Toward sustainable operations of supply chain and logistics systems*. (pp. 421-434). Springer.
- Mazraati, M., and Alyousif, O. M. (2009). Aviation Fuel Demand Modelling in OECD and Developing Countries: Impacts of Fuel Efficiency. *OPEC Energy Review*, 33(1), 23-46.
- Paul, S., Kapoor, K., Jasani, D., Dudhwewala, R., Gowda, V. B., and Nair, T. R. (2010). Application of artificial neural networks in aircraft maintenance, repair and overhaul solutions. *The Proceedings of Total Engineering, Analysis and Manufacturing Technologies [TEAMTECH2008]*, 22nd- 24th September 2008 at IISc, Bangalore, 42-48.
- Singh, V., and Sharma, S. K. (2014). Evolving Base for The Fuel Consumption Optimization in Indian Air Transport: Application of Structural Equation Modeling. *European Transport Research Review*, 6(3), 315-332.
- Singh, V., and Sharma, S. K. (2015). Fuel Consumption Optimization in Air Transport: A Review, Classification, Critique, Simple Meta-analysis, and Future Research Implications. *European Transport Research Review*, 7(2), 1-24.
- Sirinaovakul, B. (2013). *Artificial Intelligence: Swarm Intelligence*. Bangkok: Top. (in Thai)
- Thai Smile Airways Co., Ltd. (2020a). *Operation Manual Part A (Unpublished confidential document)*. Bangkok: Thai Smile Airways Co., Ltd.
- Thai Smile Airways Co., Ltd. (2020b). *Thai Smile Airways' expense of Fuel: Paper presentation in Thai Airways International Public Company Limited's Board Meeting*. Bangkok: Thai Airways International Public Company. (in Thai)

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการประมาณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานประชากร สำหรับข้อมูลที่มีการแจกแจงปกติและมีค่านอกเกณฑ์

นิธิภัทร กมลสุข*

สำนักการศึกษาทั่วไป สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์

Received: 7 June 2022

Revised: 13 December 2022

Accepted: 7 August 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพวิธีการประมาณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร 4 วิธีคือ วิธีส่วนเบี่ยงเบนสัมบูรณ์เฉลี่ย วิธีพิสัยที่ถูกปรับค่า วิธีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ถูกปรับค่า และวิธีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่าง สำหรับข้อมูลที่มีการแจกแจงปกติ เมื่อข้อมูลมีค่านอกเกณฑ์ โดยใช้ค่าความเอนเอียง สมบูรณ์และค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยต่ำที่สุดมาเป็นเกณฑ์พิจารณาภายใต้สถานการณ์จำลอง 90 สถานการณ์ ที่เป็นสถานการณ์ของข้อมูลที่มีการแจกแจงปกติ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 30 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานประชากร 5 จำนวน ได้แก่ 1, 5, 10, 15 และ 20 ขนาดตัวอย่าง 6 จำนวน ได้แก่ 10, 20, 30 50, 70 และ 100 ร้อยละของค่านอกเกณฑ์ 3 จำนวน ได้แก่ ร้อยละ 0, 10 และ 20 พบว่า เมื่อไม่มีค่านอกเกณฑ์ปนเปื้อนอยู่ วิธีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างเป็นวิธีการประมาณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากรที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด ซึ่งจะมีประสิทธิภาพมากขึ้นถ้าขนาดตัวอย่างใหญ่ขึ้น แต่ประสิทธิภาพจะลดลงเมื่อค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเพิ่มมากขึ้น และพบว่าวิธีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ถูกปรับค่า มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีพิสัยที่ถูกปรับค่า ส่วนในกรณีที่มีค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 10 และ 20 พบว่าวิธีส่วนเบี่ยงเบนสัมบูรณ์เฉลี่ยมีประสิทธิภาพมากที่สุด

คำสำคัญ: ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร ค่านอกเกณฑ์

* ผู้ประสานงานหลัก; อีเมล: nitipatkam@pim.ac.th

Efficiency Comparison of the Population Standard Deviation Estimation Methods for Data set with Normal Distribution and Containing Outlier

Nitipat Kamolsuk*

Office of General Education, Panyapiwat Institute of Management

Received: 7 June 2022

Revised: 13 December 2022

Accepted: 7 August 2023

Abstract

The objective of this research was to compare the efficiency of four population standard deviation estimation methods, mean absolute deviation, adjusted range, adjusted standard deviation and sample standard deviation – for a normal distribution when data set containing outlier when the lowest absolute bias and the lowest mean square error were used as criteria. Under 90 simulation scenarios that normal distribution with mean equals 30 and the population standard deviation equals 1, 5, 10, 15 and 20, sample size equals 10, 20, 30, 50, 70 and 100 with the percentage of outlier equals 0%, 10% and 20%. The results found that sample standard deviation was the most efficient when the data set not contain outlier and it was more efficient if the sample size was larger, but the efficiency would decrease when standard deviation was increase and found that adjusted standard deviation has more efficient than adjusted range in all situation which the data set not contain outlier and found that mean absolute deviation was the most efficient when the percentage of outlier equals 10% and 20%.

Keywords: Population Standard Deviation, Outlier

* Corresponding Author; E-mail: nitipatkam@pim.ac.th

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การรวบรวมข้อมูล (Data Collection) บ่อยครั้งพบว่าข้อมูลที่รวบรวมมีการปนเปื้อน (Contaminated) ทำให้ข้อมูลมีค่าต่ำหรือสูงเกินจากข้อมูลส่วนใหญ่ โดยเรียกข้อมูลที่ปนเปื้อนนี้ว่า ค่านอกเกณฑ์ (Outliers) ค่าผิดปกติ (Abnormalities) หรือค่าความไม่สอดคล้อง (Discordant) ซึ่งการเกิดค่านอกเกณฑ์นี้เป็นการเบี่ยงเบน (Deviant) ของข้อมูล ส่งผลให้เกิดความผิดปกติในการทำเหมืองข้อมูล (Data Mining) หรือความผิดปกติจากผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติได้ (Aggarwal, 2016) โดยส่วนใหญ่แล้วความผิดปกติที่ทำให้เกิดค่านอกเกณฑ์นั้นมาจากขั้นตอนการสร้างข้อมูล (Generate) การสังเกต (Observation) หรือการรวบรวม (Collection) ซึ่งเกิดขึ้นจากหลายสาเหตุ เช่น เกิดจากความคลาดเคลื่อนของการวัด (Measurement Error) ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการบันทึกข้อมูล หรืออาจมาจากสาเหตุของสมมติฐานการแจกแจงของข้อมูลที่ไม่ตรงกับลักษณะการแจกแจงของข้อมูลที่แท้จริง (Chelishchev et al., 2018) โดยหากมีการนำข้อมูลที่มีค่านอกเกณฑ์มาใช้อาจทำให้ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเกิดความผิดพลาด ที่แก้ปัญหามาโดยการตัดข้อมูลที่มีค่านอกเกณฑ์นี้ออกหรือปรับค่าให้เหมาะสม ขึ้นอยู่กับดุลยพินิจของผู้วิจัยหรือผู้ที่ต้องการนำผลการวิเคราะห์ข้อมูลนี้ไปใช้

ทั้งนี้ ในการวิเคราะห์ข้อมูลหากต้องการทราบการกระจายของข้อมูลจากประชากรจะใช้วิธีการประมาณค่าได้หลายวิธี โดยวิธี Sample Standard Deviation (SD) เป็นวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ แต่วิธีนี้จะทำให้ตัวประมาณค่า (Estimator) ขาดสมบัติความไม่เอนเอียง (Unbiased) และมีประสิทธิภาพต่ำเมื่อใช้กับตัวอย่างขนาดเล็ก (Montgomery, 2012) นอกจากนี้ยังมีวิธีการประมาณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานประชากรวิธีอื่นที่มีประสิทธิภาพ เช่น วิธี Mean Absolute Deviation (MAD) วิธี Adjusted Range (AR) วิธี Adjusted Standard Deviation (ASD) โดย Montgomery (2012) ได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวประมาณค่าวิธี AR และวิธี ASD ที่ใช้ค่าประสิทธิภาพสัมพัทธ์ (Relative Efficiency) เป็นเกณฑ์การเปรียบเทียบพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น วิธี ASD จะมีประสิทธิภาพมากกว่าวิธี AR สอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Boonyavaha et al. (2018) พบว่า วิธี ASD มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธี AR เมื่อข้อมูลแจกแจงปกติ ในตัวอย่างขนาดกลางและเล็ก และไม่มีค่านอกเกณฑ์ปนเปื้อน โดยใช้ค่าความเอนเอียงสมบูรณ์ (Absolute Bias: ABS) เป็นเกณฑ์การพิจารณาที่กำหนดให้ข้อมูลมีค่านอกเกณฑ์ในระดับปานกลาง ตามเงื่อนไขของการตรวจสอบค่านอกเกณฑ์โดยใช้แผนภาพกล่อง (Box Diagram) และหนวด (Whisker) ที่เป็นค่าที่อยู่นอกช่วง ($Q_3 + 1.5(IQR), Q_3 + 3(IQR)$) เมื่อ Q_1 และ Q_3 แทนควอร์ไทล์ที่ 1 และ 3 ตามลำดับ และ IQR แทนพิสัยระหว่างควอร์ไทล์ (Interquartile Range) (Barnett and Lewis, 1995)

ดังนั้นจึงเป็นที่มาของการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ว่า หากข้อมูลมีการแจกแจงปกติที่มีตัวอย่างขนาดกลางและขนาดเล็ก และมีค่านอกเกณฑ์ปนเปื้อนด้วยระดับต่าง ๆ ตามเงื่อนไขของการตรวจสอบค่านอกเกณฑ์ของ Junsawang et al. (2021) ที่เป็นค่าที่อยู่นอกช่วง

$$\left(Q_1 - 1.5 e^{\left(\frac{SIQR_L}{SIQR_U}\right)\delta} IQR, Q_3 + 1.5 e^{\left(\frac{SIQR_L}{SIQR_U}\right)\delta} IQR \right)$$

เมื่อ $SIQR_L = Q_2 - Q_1$ และ $SIQR_U = Q_3 - Q_2$ โดยที่ $\delta = \frac{Q_3+Q_1-2Q_2}{Q_3-Q_1}$ ที่มี Q_1 Q_2 และ Q_3 แทนควอร์ไทล์ที่ 1 ถึง 3 ตามลำดับ และ IQR แทนพิสัยระหว่าง ควอร์ไทล์ แล้วประสิทธิภาพตัวประมาณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานประชากรวิธี MAD วิธี AR และวิธี ASD วิธีใดมีมากที่สุด เมื่อใช้ค่าความเอนเอียงสมบูรณ์

(Absolute Bias: ABS) และค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Error: MSE) ต่ำสุดเป็นเกณฑ์การพิจารณา

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการประมาณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานประชากร สำหรับข้อมูลที่มีการแจกแจงปกติและมีค่านอกเกณฑ์ จำนวน 4 วิธี ได้แก่ วิธีส่วนเบี่ยงเบนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Deviation: MAD) วิธีพิสัยที่ถูกปรับค่า (Adjusted Range: AR) วิธีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ถูกปรับค่า (Adjusted Standard Deviation: ASD) และวิธีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่าง (Sample Standard Deviation: SD) โดยใช้ค่าความเอนเอียงสัมบูรณ์ (Absolute Bias: ABS) และค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Error: MSE) ต่ำสุดมาเป็นเกณฑ์การเปรียบเทียบ

ขอบเขตการวิจัย

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวประมาณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร 4 วิธี ได้แก่ วิธี SD วิธี MAD วิธี AR และวิธี ASD จากสถานการณ์จำลอง 90 สถานการณ์ ที่ใช้ ABS และ MSE ต่ำที่สุดมาเป็นเกณฑ์การพิจารณา อยู่ภายใต้ขอบเขตของการวิจัยดังนี้

1. ทำการศึกษาการจำลองสถานการณ์ด้วยวิธีมอนติคาร์โล (Monte Carlo Method) จากโปรแกรม Java โดยการทดลองซ้ำ จำนวน 2,000 ครั้งในแต่ละสถานการณ์
2. กำหนดขนาดตัวอย่าง (n) จำนวน 2 ขนาดคือ ตัวอย่างขนาดเล็กโดย $n = 10, 20$ และ ตัวอย่างขนาดกลางโดย $n = 50, 70$ และ 100
3. กำหนดข้อมูลที่มีการแจกแจงปกติ ด้วยค่าเฉลี่ย (μ) เท่ากับ 30 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร (σ) 5 จำนวน ได้แก่ 1, 5, 10, 15 และ 20
4. กำหนดร้อยละของค่านอกเกณฑ์ 3 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 0, 10 และ 20

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ค่านอกเกณฑ์คือค่าสังเกตหรือข้อมูลที่แตกต่าง หรือเบี่ยงเบนไปจากค่าสังเกตอื่น ๆ มาก โดยค่านอกเกณฑ์อาจมีขนาดใหญ่หรือเล็กมากเมื่อเปรียบเทียบกับค่าสังเกตอื่นในชุดข้อมูล Beckman and Cook (1983) ได้แบ่งค่านอกเกณฑ์เป็น 2 ลักษณะ คือ 1) ค่านอกเกณฑ์ที่เป็น Discordant observations คือค่านอกเกณฑ์ที่มีค่าสูงหรือต่ำมาก หรือเป็นค่าที่เบี่ยงเบนไปจากค่าสังเกตส่วนใหญ่ และ 2) ค่านอกเกณฑ์ที่เป็น Contaminate observations เป็นค่านอกเกณฑ์ที่มีลักษณะการแจกแจงแตกต่างจากลักษณะการแจกแจงของประชากรที่สนใจศึกษา โดย Anscombe (1960) ได้สรุปสาเหตุสำคัญของการเกิดค่านอกเกณฑ์ จากความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น ประกอบด้วย (1) ความคลาดเคลื่อนจากความผันแปรของข้อมูลในประชากรที่ศึกษา (Inherent variability) ซึ่งเป็นความคลาดเคลื่อนที่ไม่ได้มีสาเหตุมาจากความผิดพลาดจากการวัดหรือการบันทึกข้อมูล ถือว่าเป็นความคลาดเคลื่อนที่เลี่ยงไม่ได้ เพราะไม่ว่าจะควบคุมการวัด หรือการบันทึกข้อมูลให้ดีเพียงใดความผันแปรในประชากรยังคงอยู่ นอกจากจะเปลี่ยนประชากร หรือวัตถุประสงค์ของการศึกษา (2) ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการวัด (Measurement error) เป็นความคลาดเคลื่อน

จากการรวบรวมข้อมูลจากการวัดที่ผิดพลาดไม่ตรงกับสิ่งที่วัดได้จริง หรือการนำอุปกรณ์ เครื่องมือ เครื่องใช้คุณภาพต่ำมาวัดจึงทำให้ได้ผลการวัดหรือข้อมูลคลาดเคลื่อนได้ และ (3) ความคลาดเคลื่อนจากการปฏิบัติการ (Execution error) เป็นความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากความผิดพลาดของการบันทึกข้อมูล หรืออาจเกิดจากการเลือกตัวอย่างที่ไม่เหมาะสมกับลักษณะของประชากร สามารถลดความคลาดเคลื่อนนี้ลงได้ถ้าเพิ่มความระมัดระวังในการปฏิบัติการ

ทั้งนี้หากค่านอกเกณฑ์เป็นค่าสังเกตที่มีความสำคัญซึ่งมีอิทธิพลต่อค่าสังเกตอื่น ๆ หรือมีความน่าสนใจในตัวเองที่สามารถนำไปใช้เพื่อการวิเคราะห์ต่อเนื่อง การตัดค่าสังเกตส่วนนี้ออกอาจทำให้ขาดสารสนเทศบางอย่างไป แต่ถ้าค่านอกเกณะนั้นเกิดจากความคลาดเคลื่อนจากการวัด หรือเกิดจากความคลาดเคลื่อนจากการปฏิบัติ หรือเป็นหน่วยตัวอย่างที่ไม่ได้สุ่มมาจากประชากรเป้าหมาย สามารถตัดค่าสังเกตที่มีความผิดปกติออกไปได้ เพื่อให้ผลการวิเคราะห์ข้อมูลน่าเชื่อถือสามารถนำไปใช้ได้ ดังนั้นการตรวจสอบค่าสังเกตว่าเป็นค่านอกเกณฑ์หรือไม่ จึงถือเป็นเรื่องสำคัญที่ควรกระทำก่อนการวิเคราะห์ข้อมูลที่จะทำให้ผู้วิเคราะห์ข้อมูลเห็นลักษณะข้อมูลทั้งหมด และหาวิธีการแก้ไขปัญหาด้วยวิธีการอย่างหนึ่งอย่างใดให้เหมาะสม หากพบค่านอกเกณฑ์ที่ส่งผลหรือมีอิทธิพลต่อค่าสังเกตอื่น ๆ

นอกจากนี้หากพบค่านอกเกณฑ์ที่มีค่าความผิดปกติมาก จะเรียกค่านอกเกณฑ์ลักษณะนี้ว่า ค่าสุดขีด (Extreme value) ซึ่งสามารถสังเกตและหาวิธีการตรวจสอบได้ง่ายเพราะแสดงให้เห็นอย่างชัดเจน แต่ถ้าค่านอกเกณะนั้นมีค่าความผิดปกติเพียงเล็กน้อย (Mild value) ควรใช้วิธีการทางสถิติที่เหมาะสมมาตรวจสอบ โดยปัจจุบันมีวิธีการที่ใช้ตรวจสอบค่านอกเกณฑ์วิธีกราฟและวิธีการทดสอบสมมติฐาน ซึ่งการตรวจสอบค่านอกเกณฑ์วิธีกราฟเป็นการตรวจสอบที่ง่ายและสะดวก ทำได้โดยการตรวจสอบค่านอกเกณฑ์จากช่วงตัวเลขของแผนภาพกล่องซึ่งแนะนำโดย Tukey (1977) ซึ่งค่าสังเกตที่ตรวจสอบนั้นจะเป็นค่านอกเกณฑ์เมื่ออยู่นอกช่วง ($Q_3 + 1.5(IQR)$, $Q_3 + 3(IQR)$) เมื่อ Q_1 และ Q_3 แทนควอนไทล์ที่ 1 และ 3 ตามลำดับ และ IQR แทนพิสัยระหว่างควอร์ไทล์ (Interquartile Range) (Barnett and Lewis, 1995)

Boonyavaha et al. (2018) ได้เปรียบเทียบวิธีการประมาณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานประชากรโดยใช้เกณฑ์ของ Tukey (1977) ที่กำหนดให้ข้อมูลมีค่านอกเกณฑ์ในระดับปานกลาง ตามเงื่อนไขของการตรวจสอบค่านอกเกณฑ์โดยใช้แผนภาพกล่อง และหมวดที่เป็นค่าที่อยู่นอกช่วง ($Q_3 + 1.5(IQR)$, $Q_3 + 3(IQR)$) พบว่า วิธี ASD มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธี AR เมื่อข้อมูลแจกแจงปกติในตัวอย่างขนาดกลางและเล็ก และไม่มีค่านอกเกณฑ์ปนเปื้อน โดยใช้ ABS เป็นเกณฑ์การพิจารณา

Junsawang et al. (2021) ได้พัฒนาวิธีการตรวจสอบค่านอกเกณฑ์เรียกว่า แผนภาพกล่อง MH ซึ่งเป็นการพัฒนาจากแผนภาพกล่องของ Hubert and Vandervieren (2008) สำหรับข้อมูลที่แจกแจงแบบเบ้ (Skewed Distribution) พบว่า ผลการตรวจสอบค่านอกเกณฑ์มีประสิทธิภาพหลายกรณีภายใต้สถานการณ์จำลองและจากข้อมูลจริง

วิธีดำเนินการวิจัย

1. สร้างข้อมูลเพื่อนำมาใช้ในการจำลองสถานการณ์ เป็นการสร้างข้อมูลแจกแจงปกติที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 30 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 5 จำนวน ได้แก่ 1, 5, 10, 15 และ 20
2. สร้างค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 0, 10 และ 20 ตามเงื่อนไขของการตรวจสอบค่านอกเกณฑ์ของ Junsawang et al. (2021)

3. การตรวจสอบค่า outliers โดยวิธีกราฟซึ่งเป็นการตรวจสอบด้วยแผนภาพกล่อง (Box Plot) โดยค่าสังเกตที่มีค่า outliers ในระดับปานกลางทางด้านมาก จะมีค่ามากกว่า Q_3 ระหว่าง 1.5 ถึง 3 เท่าของ $e^{\left(\frac{SIQR_L}{SIQR_U}\right)\delta} IQR$

4. ให้ $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ เป็นตัวอย่างสุ่มขนาด n เมื่อ $n = 10, 20, 30, 50, 70$ และ 100 จากประชากรที่มีการแจกแจงแบบปกติ ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 30 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1, 5, 10, 15 และ 20

5. ประเมินค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากรวิธี SD วิธี MAD วิธี AR และวิธี ASD โดยแต่ละวิธีมีสูตรที่ใช้ในการคำนวณ ดังนี้

5.1 วิธี SD หรือวิธีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่าง แทนด้วย $\hat{\sigma}_{SD}$ มีสูตรที่ใช้คำนวณตามสมการที่ 1

$$\hat{\sigma}_{SD} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

โดยที่ $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ แทนค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง และ n แทนขนาดตัวอย่าง

5.2 วิธี MAD หรือวิธีค่าเบี่ยงเบนสัมบูรณ์เฉลี่ย แทนด้วย $\hat{\sigma}_{MAD}$ มีสูตรที่ใช้คำนวณตามสมการที่ 2

$$\hat{\sigma}_{MAD} = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n} \quad (2)$$

โดยที่ $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ แทนค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง และ n แทนขนาดตัวอย่าง

5.3 วิธี AR เป็นการประมาณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากรโดยใช้พิสัยของตัวอย่างมาปรับค่าเพื่อให้ได้ตัวประมาณค่าที่ไม่เอนเอียง แทนด้วย $\hat{\sigma}_{AR}$ มีสูตรที่ใช้คำนวณตามสมการที่ 3

$$\hat{\sigma}_{AR} = \frac{R}{d_2} \quad (3)$$

โดยที่ $R = x_{max} - x_{min}$ แทนพิสัย (Range) ของตัวอย่างที่เป็นผลต่างของข้อมูลที่มีค่ามากที่สุด (x_{max}) กับข้อมูลที่มีค่าน้อยที่สุด (x_{min}) และ d_2 คือ ค่าคงที่ตามตารางที่ 1 ซึ่งขึ้นกับค่า n เมื่อ $n = 1, 2, 3, \dots, 50$ และ $d_2 = 3.4873 + 0.0250141(n) - 0.00009823(n^2)$ เมื่อ $n = 51, 52, 53, \dots, 100$

5.4 วิธี ASD เป็นการประมาณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร โดยใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างมาปรับค่าเพื่อให้ได้ตัวประมาณค่าที่ไม่เอนเอียง แทนด้วย $\hat{\sigma}_{ASD}$ มีสูตรที่ใช้คำนวณตามสมการที่ 4

$$\hat{\sigma}_{ASD} = \frac{\hat{\sigma}_{SD}}{c_4} \quad (4)$$

โดยที่ $\hat{\sigma}_{SD}$ เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่าง และ c_4 คือค่าคงที่ตามตารางที่ 1 ซึ่งขึ้นอยู่กับค่า n เมื่อ $n = 1, 2, 3, \dots, 25$ และ $c_4 = \sqrt{\frac{2}{n-1}} \frac{\Gamma(\frac{n}{2})}{\Gamma(\frac{n-1}{2})}$ เมื่อ $n = 26, 27, 28, \dots, 100$ เมื่อ $\Gamma(n)$ เป็นฟังก์ชันแกมมา (Gamma Function) ซึ่ง $\Gamma(n) = \int_0^\infty x^{n-1} e^{-x} dx$

6. เปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าพารามิเตอร์จากค่า ABS หรือ $\widehat{ABS}$ และ MSE หรือ $\widehat{MSE}$ ที่มีสูตรที่ใช้คำนวณ ตามสมการที่ 5 และ 6 ตามลำดับ

$$\widehat{ABS} = \left| \frac{\sum_{k=1}^m (\hat{\sigma})_k}{m} - \sigma \right| \quad (5)$$

$$\widehat{MSE} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m [(\hat{\sigma})_k - \sigma] \quad (6)$$

เมื่อ $(\hat{\sigma})_k$ แทนตัวประมาณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร (σ) ในแต่ละวิธีภายใต้สถานการณ์ต่าง ๆ จากการทำซ้ำในรอบที่ k และ m แทนจำนวนรอบที่ทำซ้ำในที่นี้กำหนดให้ $m = 2,000$

ตารางที่ 1 ค่าคงที่สำหรับคำนวณค่า $\hat{\sigma}_{AR}$ และ $\hat{\sigma}_{ASD}$ (Leon, 1960)

n	d_2	c_4	n	d_2
2	1.128	0.7979	26	3.964
3	1.693	0.8862	27	3.997
4	2.059	0.9213	28	4.027
5	2.326	0.9400	29	4.057
6	2.534	0.9515	30	4.086
7	2.704	0.9594	31	4.113
8	2.847	0.9650	32	4.139
9	2.970	0.9693	33	4.165
10	3.078	0.9727	34	4.189
11	3.173	0.9754	35	4.213
12	3.258	0.9776	36	4.236
13	3.336	0.9794	37	4.259
14	3.407	0.9810	38	4.280
15	3.472	0.9823	39	4.301
16	3.532	0.9835	40	4.322
17	3.588	0.9845	41	4.341
18	3.640	0.9854	42	4.361
19	3.689	0.9862	43	4.379
20	3.735	0.9869	44	4.398
21	3.778	0.9876	45	4.415
22	3.819	0.9882	46	4.433
23	3.858	0.9887	47	4.450
24	3.895	0.9892	48	4.466
25	3.931	0.9896	49	4.482
			50	4.498

ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพวิธีการประมาณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร สำหรับข้อมูลที่แจกแจงปกติ เมื่อข้อมูลมีค่านอกเกณฑ์ตามเงื่อนไขของการตรวจสอบค่านอกเกณฑ์ของ Junsawang et al. (2021) ทั้งหมด 4 วิธี ได้แก่ วิธีส่วนเบี่ยงเบนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Deviation: MAD) วิธีพิสัยที่ถูกปรับค่า (Adjusted Range: AR) วิธีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ถูกปรับค่า (Adjusted Standard Deviation: ASD) และวิธีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่าง (Sample Standard Deviation: SD) โดยใช้ค่าความเอนเอียงสัมบูรณ์ (Absolute Bias: ABS) และค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Error: MSE) ต่ำสุดมาเป็นเกณฑ์การเปรียบเทียบภายใต้สถานการณ์จำลอง 90 สถานการณ์ ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพวิธีการประมาณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากรจากค่า ABS และ MSE เมื่อจำแนกตามร้อยละของค่านอกเกณฑ์ตั้งแต่ร้อยละ 0, 10 และ 20 แสดงได้ตามตารางที่ 2 ถึง 4 ตามลำดับดังนี้

ตารางที่ 2 ค่า ABS และ MSE ของวิธีประมาณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร เมื่อไม่มีค่านอกเกณฑ์

<i>n</i>	σ	MAD		AR		ASD		SD	
		ABS	MSE	ABS	MSE	ABS	MSE	ABS	MSE
10	1	0.201502	0.062646	0.052268	0.049026	0.054078	0.036514	0.025301*	0.032421*
	5	1.174823	2.356909	0.039723	1.862444	0.123425	1.492634	0.013442*	1.427311*
	10	2.260362	8.275179	0.170957	5.547785	0.152379	5.24786	0.124781*	4.958839*
	15	2.657152	14.03503	0.288480	13.05941	0.717569	11.71952	0.183751*	10.68441*
	20	3.844282	33.21253	0.467768	21.86449	0.971260	19.95344	0.398744*	16.16658*
20	1	0.312613	0.114897	0.033471	0.051069	0.020641	0.031869	0.015042*	0.031745*
	5	0.993117	1.379923	0.147686	0.911122	0.076578	0.475432	0.010075*	0.457447*
	10	1.981525	6.588453	0.038007	4.512069	0.114178	3.868568	0.018318*	3.755514*
	15	3.309417	15.51159	1.043254	8.733755	0.80476	5.813431	0.616334*	5.683710*
	20	4.482087	28.27937	0.096081	17.94554	0.280467	12.0429	0.018712*	11.80776*
30	1	0.15687	0.032674	0.067711	0.02577	0.074840	0.01758	0.065617*	0.016080*
	5	1.052256	1.393684	0.115280	0.664717	0.068826	0.405273	0.025335*	0.394334*
	10	2.043747	5.213823	0.536362	2.516431	0.31349	1.65466	0.225000*	1.580417*
	15	2.43897	8.862411	1.145612	9.832943	0.917889	5.190306	0.781314*	4.883948*
	20	4.45125	23.06773	0.295782	18.29941	0.236148	7.261905	0.065107*	7.189425*
50	1	0.20721	0.054339	0.033048	0.02116	0.005549	0.013744	0.000431*	0.013574*
	5	1.137296	1.542947	0.405377	0.578064	0.221003	0.322684	0.196558*	0.315285*
	10	2.044377	5.030126	0.104102	2.969857	0.048757	1.240095	0.002144*	1.229878*
	15	3.259442	11.95164	0.512326	2.423303	0.287152	1.389017	0.211895*	1.364860*
	20	4.472556	22.90766	0.889105	6.720074	0.682313	4.388334	0.583502*	4.303491*
70	1	0.208251	0.047200	0.015301	0.009698	0.005551	0.005076	0.001941*	0.005067*
	5	0.96891	1.119261	0.081221	0.343326	0.085026	0.238182	0.066634*	0.233725*
	10	2.01331	4.593502	0.321739	1.56751	0.055226	0.852115	0.018856*	0.843290*
	15	2.640239	7.8665	0.47241	1.988288	0.528577	1.461678	0.418816*	1.396919*
	20	4.722874	23.80829	0.678648	6.757673	0.608509	3.029224	0.272420*	2.957627*
100	1	0.186442	0.037579	0.058099	0.016191	0.026988	0.004665	0.024398*	0.004512*
	5	1.158063	1.410282	0.269272	0.218343	0.164591	0.120287	0.152365*	0.116884*
	10	2.054227	4.436751	0.222418	1.790688	0.016772	0.260573	0.008491*	0.259053*
	15	3.156227	10.75941	0.131882	1.234199	0.055185	1.032138	0.017399*	1.029683*
	20	4.187752	18.66303	0.337925	4.482823	0.054671	1.722325	0.004242*	1.716619*

* หมายถึง ค่า ABS หรือ MSE ที่มีค่าน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบในสถานการณ์เดียวกัน

จากผลการวิจัยที่แสดงได้ตามตารางที่ 2 เมื่อไม่มีค่านอกเกณฑ์ปนเปื้อนอยู่พบว่า ค่า ABS และ MSE ของการประมาณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากรวิธี SD ให้ค่าน้อยที่สุด แสดงว่าวิธี SD เป็นวิธีการประมาณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากรที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด เมื่อไม่มีค่านอกเกณฑ์ปนเปื้อนอยู่ ทั้งนี้ยังพบว่า ค่า ABS และ MSE ของการประมาณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากรวิธี ASD มีค่าใกล้เคียงกับค่า ABS และ MSE ของ SD ทุกสถานการณ์ ดังนั้นหากเปรียบเทียบค่า ABS และ MSE ของการประมาณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากรวิธี ASD กับวิธี AR พบว่าค่า ABS และ MSE ของวิธี ASD น้อยกว่าวิธี AR ทุกสถานการณ์ แสดงว่าวิธี ASD มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธี AR เมื่อไม่มีค่านอกเกณฑ์ปนเปื้อนอยู่

ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบค่า MSE ของวิธี SD จากค่า σ เดียวกันพบว่า MSE จะมีแนวโน้มลดลงถ้าขนาดตัวอย่างใหญ่ขึ้น แต่เมื่อเปรียบเทียบค่า MSE จากขนาดตัวอย่างเดียวกันกลับพบว่า MSE มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อค่า σ มากขึ้น

ตารางที่ 3 ค่า ABS และ MSE ของวิธีประมาณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร เมื่อมีค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 10

n	σ	MAD		AR		ASD		SD	
		ABS	MSE	ABS	MSE	ABS	MSE	ABS	MSE
10	1	0.444397*	2.127662*	1.749383	3.174160	1.477691	2.330928	1.410050	0.267907
	5	0.988626*	1.111642*	2.577096	6.807672	2.724237	7.561919	2.513365	6.449893
	10	0.642392*	0.840333*	2.773871	9.330638	2.414861	6.508522	2.075935	4.950018
	15	1.549462*	3.155401*	8.584624	74.72702	7.140208	51.57871	6.535781	43.28046
	20	2.771389*	9.571256*	4.901272	25.31493	3.629561	13.87569	2.984474	9.775137
20	1	0.089515*	0.028835*	0.767979	0.590156	0.652089	0.425693	0.630446	0.397923
	5	0.707295*	0.721337*	2.31273	5.359051	2.383519	5.733604	2.286795	5.280507
	10	0.279923*	0.312861*	2.330623	5.550265	2.388828	5.926786	2.226535	5.172008
	15	2.457240*	6.947215*	9.745333	94.97799	10.12713	102.7246	9.797967	96.16163
	20	1.580740*	3.640673*	7.261596	54.35934	7.553497	58.22723	7.192546	52.87413
30	1	0.303192*	0.093850*	0.756287	0.574815	0.740172	0.549285	0.725242	0.527381
	5	0.526209*	0.343166*	2.191995	4.867157	2.349837	5.615005	2.286775	5.32102
	10	0.406183*	0.238097*	2.897679	8.396545	3.570791	12.79308	3.454353	11.97436
	15	1.699725*	3.283421*	5.637142	35.11158	6.696445	45.38420	6.510289	42.91644
	20	4.090650*	17.60610*	15.01807	228.8105	12.99938	171.0805	12.71625	163.7637
50	1	0.381946*	0.146364*	1.334045	1.779947	1.083726	1.174899	1.073122	1.152023
	5	0.651423*	0.432787*	2.49141	6.207126	2.639583	6.972845	2.600705	6.769059
	10	1.314825*	1.749506*	4.232156	17.91114	4.714714	22.24527	4.639831	21.54460
	15	1.164829*	1.534439*	4.686284	22.7673	5.790229	33.67447	5.684428	32.45894
	20	0.381977*	0.291108*	0.814319	0.663115	5.040211	25.50171	4.912782	24.23241
70	1	0.614337*	0.377736*	1.688567	2.851257	1.639981	2.689609	1.630432	2.65838
	5	0.006257*	0.004235*	1.556912	2.423975	1.781566	3.174763	1.757037	3.08796
	10	3.373077*	11.39291*	6.314935	40.12765	8.705506	75.80060	8.637848	74.62708
	15	3.149500*	10.02646*	5.208692	27.13047	8.571543	73.67908	8.486285	72.22325
	20	2.266628*	5.220576*	6.192145	38.34266	9.262085	85.84158	9.156244	83.89177
100	1	0.661654*	0.437955*	2.108481	4.450268	1.867976	3.489469	1.860743	3.462498
	5	0.603495*	0.371946*	2.532627	6.414197	2.669802	7.146637	2.650458	7.043632
	10	1.626508*	2.666338*	4.190658	17.56162	5.395988	29.13933	5.357159	28.72168
	15	0.770300*	0.593362*	0.967492	0.982274	3.023111	9.231047	2.977657	8.957824
	20	1.061042*	1.306670*	7.021769	49.30524	8.510116	72.51162	8.438213	71.29254

* หมายถึง ค่า ABS หรือ MSE ที่มีค่าน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบในสถานการณ์เดียวกัน

ตารางที่ 4 ค่า ABS และ MSE ของวิธีการประมาณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร เมื่อมีค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 20

n	σ	MAD		AR		ASD		SD	
		ABS	MSE	ABS	MSE	ABS	MSE	ABS	MSE
10	1	1.343864*	2.089195*	2.058948	4.360126	2.386109	5.982085	2.293669	5.533942
	5	1.874668*	3.664232*	3.176143	10.64950	3.768203	14.62657	3.528831	12.85686
	10	0.465381*	0.768361*	2.797927	9.909936	3.549755	13.64744	3.179847	11.10173
	15	4.556804*	23.28023*	8.807850	78.62740	11.33656	129.9771	10.61757	114.1137
	20	1.094687*	3.322667*	4.914545	26.15912	7.406625	56.97665	6.658424	46.33907
20	1	0.981474*	1.109212*	1.297091	1.683094	1.527898	2.335578	1.494782	2.235451
	5	2.345927*	6.736973*	2.814325	7.938792	3.960050	15.77026	3.842673	14.85210
	10	2.267185*	6.621373*	2.641098	7.246952	4.193006	18.42974	4.007078	16.88303
	15	10.17109*	105.1563*	10.25401	112.6014	16.42048	270.0728	16.00887	256.7131
	20	6.490676*	45.64218*	7.371689	57.23700	11.01266	123.7604	10.60640	114.9127
30	1	0.980055*	0.962652*	1.502738	2.258222	1.661890	2.763972	1.639051	2.688546
	5	1.880359*	3.704061*	2.821344	8.062617	3.724777	14.07320	3.649918	13.51774
	10	3.076199*	9.583497*	3.631894	13.19065	6.409009	41.15816	6.268220	39.37192
	15	4.277095*	18.63701*	5.604291	36.89972	9.137256	84.07990	8.930159	80.32810
	20	8.846079*	79.41772*	14.99285	230.1684	16.89849	288.4307	16.58190	277.7821
50	1	1.653218*	2.733545*	2.436165	5.935262	2.711194	7.351424	2.692308	7.249363
	5	2.835454*	8.049767*	3.603016	12.98172	5.077016	25.78039	5.025735	25.26226
	10	0.199407*	15.35231*	1.132545	27.42976	2.570234	57.36437	2.480819	56.01801
	15	4.454730*	19.96952*	5.049724	27.53721	9.482801	90.07315	9.358208	87.72417
	20	1.925924*	3.709182*	4.395854	19.51267	9.169411	84.17417	9.020968	81.47296
70	1	2.648619*	7.015227*	3.160095	9.986198	4.028343	16.22765	4.010155	16.08145
	5	2.346084*	5.511671*	2.991009	8.972757	4.507709	20.32689	4.473320	20.01799
	10	7.629458*	58.48252*	9.184180	84.36446	14.71317	216.4873	14.62378	213.8649
	15	6.680220*	44.62534*	7.716670	59.82913	13.23612	175.4930	13.13399	172.7977
	20	7.663673*	58.73189*	8.310151	69.10354	15.43290	238.2288	15.30474	234.2891
100	1	3.315719*	10.99406*	4.072133	16.58570	5.085361	25.86108	5.070014	25.70522
	5	3.464956*	12.02048*	4.377454	19.24284	6.166283	38.04117	6.138122	37.69457
	10	6.188130*	38.29295*	6.327860	40.05336	10.47644	109.7674	10.42480	108.6880
	15	2.603490*	6.844426*	2.767771	7.660556	6.681489	44.69195	6.626808	43.9640
	20	5.775657*	33.49227*	9.019240	81.34669	13.93637	194.3164	13.85078	191.9377

* หมายถึง ค่า ABS หรือ MSE ที่มีค่าน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบในสถานการณ์เดียวกัน

จากผลการวิจัยที่แสดงได้ตามตารางที่ 3 และ 4 เมื่อมีค่านอกเกณฑ์ปนเปื้อนอยู่ร้อยละ 10 และ 20 ตามลำดับพบว่า ค่า ABS และ MSE ของการประมาณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากรวิธี MAD ให้ค่าน้อยที่สุดทุกสถานการณ์ และมีความแตกต่างจากวิธีอื่น ๆ ค่อนข้างมาก แสดงว่าวิธี MAD เป็นวิธีการประมาณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากรที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดเมื่อมีค่านอกเกณฑ์ปนเปื้อนอยู่ร้อยละ 10 และ 20

เมื่อพิจารณาข้อมูลขนาดเล็กที่รวบรวมโดย Christos (2020) ดังนี้

12.29	8.88	7.27	12.51	11.33	12.04	13.94	7.61	12.57	10.07
12.22	9.42	7.84	10.72	9.75	8.86	9.88	11.39	9.98	10.09
10.86	9.78	8.1	11.98	7.71	10.62	12.03	18	11.13	20

จากการตรวจสอบค่านอกเกณฑ์ตามเงื่อนไขของ Junsawang et al. (2021) พบว่ามีค่านอกเกณฑ์ 2 จำนวน คือ 18 และ 20 โดยคำนวณค่าประมาณของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานประชากรพบว่า MAD มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 2.32 เมื่อเปรียบเทียบกับค่า AR เท่ากับ 3.11 ค่า ASD เท่ากับ 2.79 และค่า SD เท่ากับ 2.77

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาข้อมูลขนาดกลางรวบรวมโดย NIST/SEMATECH (2012) ดังนี้

30	171	184	201	212	250	265	270	272	289
305	306	322	322	336	346	351	370	390	404
409	411	436	437	439	441	444	448	451	453
470	480	482	487	494	495	499	503	514	521
522	527	548	550	559	560	570	572	574	578
585	592	592	607	616	618	621	629	637	638
640	656	668	707	709	719	737	739	752	758
766	792	792	794	802	818	830	832	843	858
860	869	918	925	953	991	1000	1005	1068	1441

เมื่อใช้เงื่อนไขของ Junsawang et al. (2021) พบว่ามีค่านอกเกณฑ์ 1 จำนวน คือ 1441 โดยคำนวณค่าประมาณส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร พบว่า MAD มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 166.72 เมื่อเปรียบเทียบกับค่า AR เท่ากับ 281.84 ค่า ASD เท่ากับ 238.20 และค่า SD เท่ากับ 237.60

ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบค่า MSE จากค่า σ เดียวกันแล้ว พบว่า MSE ของ MAD จากตารางที่ 3 และ 4 ไม่ได้มีแนวโน้มลดลงถ้าขนาดตัวอย่างใหญ่ขึ้นเช่นเดียวกับ MSE ของ SD จากตารางที่ 2 และไม่ได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อค่า σ มากขึ้นเช่นเดียวกัน

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพวิธีการประมาณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร 4 วิธี ได้แก่ วิธีส่วนเบี่ยงเบนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Deviation: MAD) วิธีพิสัยที่ถูกปรับค่า (Adjusted Range: AR) วิธีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ถูกปรับค่า (Adjusted Standard Deviation: ASD) และวิธีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่าง (Sample Standard Deviation: SD) โดยใช้ค่าความเอนเอียงสัมบูรณ์ (Absolute Bias: ABS) สำหรับข้อมูลที่แจกแจงปกติ เมื่อข้อมูลมีค่านอกเกณฑ์ตามเงื่อนไขของการตรวจสอบค่านอกเกณฑ์ของ Junsawang et al. (2021) คือค่าที่อยู่นอกช่วง

$$\left(Q_1 - 1.5 e^{\left(\frac{SIQR_L}{SIQR_U}\right)\delta} IQR, Q_3 + 1.5 e^{\left(\frac{SIQR_L}{SIQR_U}\right)\delta} IQR \right)$$

เมื่อ $SIQR_L = Q_2 - Q_1$ และ $SIQR_U = Q_3 - Q_2$ โดยที่ $\delta = \frac{Q_3+Q_1-2Q_2}{Q_3-Q_1}$ ที่มี Q_1 Q_2 และ Q_3 แทนควอนไทล์ที่ 1 ถึง 3 ตามลำดับ และ IQR แทนพิสัยระหว่างควอร์ไทล์ เมื่อใช้ค่าความเอนเอียงสัมบูรณ์ (ABS) และค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) ต่ำสุดมาเป็นเกณฑ์การพิจารณา ภายใต้สถานการณ์จำลอง 90 สถานการณ์ ที่เป็นสถานการณ์ของข้อมูลที่แจกแจงปกติ มีค่าเฉลี่ย (μ) เท่ากับ 30 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานประชากร (σ) 5 จำนวน ได้แก่ 1, 5, 10, 15 และ 20 ขนาดตัวอย่าง (n) 6 จำนวน ได้แก่ 10, 20, 30, 50, 70 และ 100 ร้อยละของค่าผิดปกติ 3 จำนวน ได้แก่ ร้อยละ 0, 10 และ 20 พบว่า เมื่อไม่มีค่าผิดปกติปนเปื้อนอยู่ วิธี SD เป็นวิธีการประมาณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากรที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด ซึ่งมีประสิทธิภาพมากขึ้นถ้าขนาดตัวอย่างใหญ่ขึ้น แต่ประสิทธิภาพจะลดลงเมื่อค่า σ เพิ่มมากขึ้น และพบว่าวิธี ASD มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธี AR และสำหรับกรณีที่มีค่าผิดปกติร้อยละ 10 และ 20 พบว่าวิธี MAD มีประสิทธิภาพมากที่สุด

อภิปรายผล

จากผลการวิจัยที่พบว่า เมื่อไม่มีค่าผิดปกติปนเปื้อนอยู่ ค่า ABS และ MSE ของการประมาณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากรวิธี SD ให้ค่าน้อยที่สุด ซึ่งแสดงว่าวิธี SD เป็นวิธีการประมาณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากรที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด เมื่อไม่มีค่าผิดปกติปนเปื้อนอยู่ แต่หากมีค่าผิดปกติปนเปื้อนอยู่วิธี SD จะไม่ใช่วิธีประมาณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากรที่ดีที่สุดแต่วิธี MAD จะเป็นวิธีวิธีการประมาณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากรที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด สอดคล้องกับ Leys et al. (2013) ที่ได้อธิบายว่า หากมีค่าผิดปกติเกิดขึ้นกับข้อมูลที่แจกแจงปกติไม่ควรใช้การวัดแนวโน้มเข้าสู่กลางจากค่าเฉลี่ย และวัดการกระจายของข้อมูลจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพราะค่าทั้งสองนี้มีผลต่อข้อมูลที่เป็นค่าผิดปกติอย่างมาก (Strongly Impact of Outlier) แต่ควรใช้การหาค่าสัมบูรณ์ (Absolute) ที่เบี่ยงเบนออกจากค่ามัธยฐาน ซึ่งในการวิจัยนี้ใช้การหาค่า MAD ซึ่งเป็นการหาค่าสัมบูรณ์จากการเบี่ยงเบนของข้อมูลกับค่าเฉลี่ย ภายใต้ค่าผิดปกติตามเงื่อนไขของการตรวจสอบค่าผิดปกติของ Junsawang et al. (2021) ที่แสดงได้อย่างชัดเจนว่ามีประสิทธิภาพมากกว่า SD แม้จะเป็นการวัดการเบี่ยงเบนของข้อมูลจากค่าเฉลี่ย

ทั้งนี้จากงานวิจัยพบว่า หากข้อมูลแจกแจงปกติและไม่มีค่าผิดปกติปนเปื้อนอยู่ ค่า ABS และ MSE ของการประมาณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากรวิธี ASD มีค่าใกล้เคียงกับค่า ABS และ MSE ของ SD ซึ่งเป็นค่าน้อยกว่าค่า ABS และ MSE วิธี AR ทุกสถานการณ์ แสดงว่าวิธี ASD มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธี AR สอดคล้องกับงานวิจัยของ Boonyavaha et al. (2018) ที่พบว่า วิธี ASD มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธี AR เมื่อข้อมูลแจกแจงปกติในตัวอย่างขนาดกลางและเล็ก และไม่มีค่าผิดปกติปนเปื้อน โดยใช้ค่าความเอนเอียงสัมบูรณ์ (Absolute Bias: ABS) มาเป็นเกณฑ์การพิจารณา ที่กำหนดให้ข้อมูลมีค่าผิดปกติในระดับปานกลาง ตามเงื่อนไขของการตรวจสอบค่าผิดปกติโดยใช้แผนภาพกล่องและหนวด ที่เป็นค่าที่อยู่นอกช่วง ($Q_3 + 1.5(IQR)$, $Q_3 + 3(IQR)$) เมื่อ Q_1 และ Q_3 แทนควอนไทล์ที่ 1 และ 3 ตามลำดับ และ IQR แทนพิสัยระหว่างควอร์ไทล์ (Interquartile Range)

ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบค่า MSE ของวิธี SD จากค่า σ เดียวกันในกรณีที่ไม่มีค่า outliers พบว่า MSE จะมีแนวโน้มลดลงถ้าขนาดตัวอย่างใหญ่ขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Montgomery (2012) ว่าวิธี SD จะมีประสิทธิภาพต่ำเมื่อใช้กับตัวอย่างขนาดเล็ก

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

การวิจัยนี้เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน สำหรับข้อมูลขนาดกลางและขนาดเล็กที่แจกแจงปกติโดยวิธีกราฟ ซึ่งเป็นการตรวจสอบโดยใช้แผนภาพกล่องตามเงื่อนไขการตรวจสอบค่า outliers วิธีของ Junsawang et al. (2021) ซึ่งเป็นค่าสังเกตที่มีค่า outliers ในระดับปานกลาง ซึ่งค่าสังเกตนั้นจะเป็นค่า outliers ถ้ามีค่ามากกว่า Q_3 ระหว่าง 1.5 ถึง 3 เท่าของ $e^{\left(\frac{SIQR_L}{SIQR_U}\right)\delta} IQR$ ดังนั้น หากมีการนำไปใช้ต้องระบุเกณฑ์ที่นำมาตรวจสอบ ซึ่งผลที่ได้อาจมีความแตกต่างจากการใช้เกณฑ์ที่อยู่นอกช่วง $(Q_3 + 1.5(IQR), Q_3 + 3(IQR))$ ของ Barnett and Lewis (1995) ที่ใช้กันในปัจจุบัน นอกจากนี้ยังเป็นการเปรียบเทียบภายใต้สถานการณ์จำลองจากการสร้างข้อมูลที่แจกแจงปกติ ที่มีค่าเฉลี่ย (μ) เท่ากับ 30 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานประชากร (σ) ต่าง ๆ ในตัวอย่างขนาดกลางและเล็กเท่านั้น ซึ่งอาจจะให้ผลแตกต่างหากอยู่ภายใต้เงื่อนไข หรือสถานการณ์ที่มีการแจกแจงปกติที่มีค่าเฉลี่ยอื่น หรือลักษณะการแจกแจงของข้อมูลแบบอื่น ๆ

2. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

2.1 ควรมีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวประมาณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร สำหรับข้อมูลขนาดกลางและขนาดเล็กที่แจกแจงปกติ เมื่อกำหนดเงื่อนไขค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร ต่าง ๆ มากขึ้น หรือเพิ่มกรณีที่มีข้อมูลขนาดใหญ่ เพื่อหาวิธีการที่เหมาะสมที่สุดในประมาณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร เมื่อข้อมูลแจกแจงปกติ

2.2 งานวิจัยนี้ได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวประมาณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร จากกรณีข้อมูลแจกแจงปกติ ดังนั้นอาจพิจารณาเปรียบเทียบประสิทธิภาพจากข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบอื่นที่มีลักษณะเบ้ เช่น การแจกแจงแกมมา (Gamma Distribution) หรือการแจกแจงไวบูล (Weibull Distribution) โดยอาจเพิ่มวิธีการประมาณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร เช่น Median Absolute Deviation

เอกสารอ้างอิง

- Aggarwal, C. (2016). *An Introduction to Outlier Analysis*. New York: Springer, Cham.
- Anscombe, F. J. (1960). Rejection of Outliers. *American Statistical Association and American Society for Quality*, 2(2), 123-147.
- Barnett, V., and Lewis, T. (1995). *Outlier in Statistical Data*. 3rd ed. New York: John Wiley.
- Beckman, R. J., and Cook, R. D. (1983). Outliers. *American Statistical Association and American Society for Quality*, 2(25), 119-149.

- Boonyavaha, P., Pratchayalamlert, N., Boonpet, B., and Sinsomboonthong, J. (2018). Efficiency Comparison of the Standard Deviation Estimation Methods for a Normal Distribution When Data Set Containing Outliers. *Science and Technology*, 27(2), 213-225. (in Thai)
- Chelishchev, P., Popov, A., and Sorby, K. (2018). An investigation of Outlier Detection Procedures for CMM Measurement Data. *The Proceedings of the 2nd International Conference on Mechanical, System and Control Engineering (ICMSC 2018)*, 29 October 2018, 1-6.
<https://doi.org/10.1051/mateconf/201822004002>
- Christos, C. (2020). *Statistical techniques to identify and handle outliers in multivariate data* [Online]. Retrieved December 5, 2022, from: <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/115316/Grentzelos%2C%20Christos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hubert, M., and Vandervieren, E. (2008). An adjusted boxplot for skewed distributions. *Comput Stat Data Anal*, 52(3), 5186-5201.
- Junsawang, P., Promwongsa, M., and Srisodaphol, M. (2021). Robust Outliers Detection Method for Skewed Distribution. *Thailand Statistician*, 19(3), 450-471.
- Leon, H. (1960). Tables of range and studentized range, *Ann. Math. Stat*, 31(4), 1122-1147.
- Ley, C., Klein, O., Bernard, P., and Licata., L. (2013). Detecting outliers: Do not use standard deviation around the mean, use absolute deviation around the median. *Experimental Social Psychology*, 49(4), 764-766.
- Montgomery, C. (2012). *Introduction to Statistical Quality Control*. 7th ed. New York: John Wiley.
- NIST/SEMATECH (2012). *Engineering Statistics*. [Online]. Retrieved December 5, 2022, from: <https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/prc/section1/prc16.htm>.
- Tukey, J. W. (1977). *Exploratory data analysis*. Massachusetts: Addison-Wesley.

การประยุกต์ใช้วิธีการวางแผนงานที่มีลักษณะซ้ำกันร่วมกับการแลกเปลี่ยนระหว่างเวลา กับต้นทุนสำหรับโครงการก่อสร้างถนน

ธนิตเชษฐ์ ดวงโสมมา^{1*}, ไพจิตร ผาวัน²

¹กองวิชาวิศวกรรมโยธา ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

²ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

Received: 26 September 2022

Revised: 2 February 2023

Accepted: 19 September 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและประยุกต์ใช้วิธีการวางแผนงานที่มีลักษณะซ้ำกัน (Repetitive Scheduling Method: RSM) ร่วมกับวิธีการแลกเปลี่ยนระหว่างเวลากับต้นทุน (Time-Cost Trade-Off) และเพื่อกำหนดการวางแผนงานให้มีความเหมาะสมทั้งทางด้านระยะเวลาและต้นทุนของโครงการก่อสร้างถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก จำนวน 2 โครงการ ทำการเก็บข้อมูลระยะเวลาและค่าใช้จ่ายของกลุ่มคนงานที่ใช้ในแต่ละกิจกรรม นำข้อมูลมาวิเคราะห์ด้วยวิธี RSM และ Time-Cost Trade-Off โดยการเพิ่มจำนวนกลุ่มคนงานและเครื่องมือหรือเครื่องจักรในกิจกรรมที่อยู่ในสายงานควบคุม ผลการศึกษาพบว่า ค่าความเหมาะสมของโครงการก่อสร้างช่วงที่ 1 อยู่ที่ระยะเวลาดำเนินงานโครงการเท่ากับ 40 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับวิธี CPM ทำให้ระยะเวลาที่ใช้ดำเนินงานโครงการลดลงร้อยละ 39.39 ค่าใช้จ่ายทั้งหมดของโครงการลดลงร้อยละ 5.11 ส่วนค่าความเหมาะสมของโครงการก่อสร้างช่วงที่ 2 อยู่ที่ระยะเวลาดำเนินงานโครงการเท่ากับ 82 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับวิธี CPM ทำให้ระยะเวลาที่ใช้ดำเนินงานโครงการลดลงร้อยละ 35.94 ค่าใช้จ่ายทั้งหมดของโครงการลดลงร้อยละ 4.74 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการวางแผนงานด้วยวิธี RSM และ Time-Cost Trade-Off สามารถช่วยลดระยะเวลาและต้นทุนในการก่อสร้างถนนคอนกรีตเสริมเหล็กได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: การวางแผนงานที่มีลักษณะซ้ำกัน การแลกเปลี่ยนระหว่างเวลากับต้นทุน การก่อสร้างถนน

* ผู้ประสานงานหลัก; อีเมล: tanitchet.do@crma.ac.th

Application of Repetitive Scheduling Method and Time-Cost Trade-Off for Road Construction Projects

Tanitchet Doungsoma^{1,*}, Pajit Pawan²

¹Department of Civil Engineering, Academic Division,
Chulachomklao Royal Military Academy

²Department of Civil Engineering, School of Engineering, Sripatum university

Received: 26 September 2022

Revised: 2 February 2023

Accepted: 19 September 2023

Abstract

This research aims to study and apply the Repetitive Scheduling Method (RSM) integrated with the Time-Cost Trade-Off method to generate a project planning that is suitable for both duration and cost for two road construction projects. The information on the duration and costs of each activity were collected and analyzed using the RSM and Time-Cost Trade-Off methods by increasing the number of group workers and equipment or machines in the Controlling Sequence. The results showed that the suitability of the first project was at the project duration of 40 days, compared to the CPM method, reducing the project duration by 39.39%, and reducing the total cost of the project by 5.11%. For the second project, the suitability was at the project duration of 82 days, compared to the CPM method, reducing the project duration by 35.94%, and reducing the total cost of the project by 4.74%. Therefore, this research illustrates the application of the Repetitive Scheduling Method (RSM) integrated with the Time-Cost Trade-Off method that can be applied to projects. The proposed method can effectively reduce the duration and cost of road construction projects.

Keywords: Repetitive Scheduling Method (RSM), Time-Cost Trade-Off, Road Construction

* Corresponding Author; E-mail: tanitchet.do@crma.ac.th

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การวางแผนงานโครงการก่อสร้าง เป็นขั้นตอนเริ่มแรกและมีบทบาทสำคัญในการที่จะกำหนดทิศทางของโครงการก่อสร้างให้สำเร็จลุล่วงตามแผนงานที่ได้วางเอาไว้ การกำหนดระยะเวลาของกิจกรรมและการวางแผนในการใช้ทรัพยากร จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อที่จะทำให้การทำงานมีความราบรื่นและสอดคล้องกัน ในปัจจุบันรูปแบบของการวางแผนงาน (Scheduling) ที่นิยมใช้ คือ วิธีการกำหนดสายงานวิกฤติ (Critical Path Method: CPM) เนื่องจากเป็นรูปแบบที่เข้าใจง่ายและสามารถนำไปใช้กับซอฟต์แวร์ได้หลายชนิด (Pawan and Lorterapong, 2016) แต่อย่างไรก็ตาม การวางแผนงานด้วยวิธี CPM อาจเป็นวิธีที่ไม่เหมาะสมเมื่อนำมาใช้ในโครงการก่อสร้างที่มีลักษณะซ้ำกัน (Repetitive project) เช่น โครงการก่อสร้างถนน โครงการก่อสร้างบ้านจัดสรร หรืองานก่อสร้างแต่ละชั้นของอาคารสูง เป็นต้น Harris and Ioannou (1998) ได้มีการพัฒนาแนวคิดวิธีการวางแผนงานที่มีลักษณะซ้ำกัน (Repetitive Scheduling Method: RSM) เพื่อใช้ในการกำหนดระยะเวลาของงานที่มีลักษณะซ้ำกัน สามารถวางแผนการใช้ทรัพยากรได้อย่างต่อเนื่องและสามารถแสดงเส้นทางวิกฤติของโครงการได้อย่างชัดเจน (Ioannou and Yang, 2016) รวมทั้งช่วยแก้ไขข้อจำกัดของวิธี CPM เมื่อถูกนำมาใช้ในโครงการที่มีลักษณะซ้ำกัน เช่น การดำเนินงานของกลุ่มคนงานขาดความต่อเนื่องหรือเกิดการขาดช่วง ทำให้ผู้ประกอบการต้องเสียค่าใช้จ่ายในช่วงเวลาที่กลุ่มคนงานต้องหยุดรอ นอกจากนี้การวางแผนทรัพยากรที่จะนำมาใช้ในวิธี CPM นั้น บางครั้งจะถูกวางแผนคนละส่วนกับแผนงานก่อสร้าง ซึ่งมักก่อให้เกิดความขัดแย้งของข้อมูลในการทำงาน อีกทั้งยังส่งผลถึงการจัดสรรทรัพยากรให้เกิดประสิทธิภาพได้ไม่เต็มที่ (Ammar, 2013; Saad et al., 2021; Hegazy and Kamarah, 2022)

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้นำเสนอแนวทางการประยุกต์ใช้วิธีการวางแผนงานแบบ RSM ร่วมกับ วิธีการแลกเปลี่ยนระหว่างเวลากับต้นทุน (Time-Cost Trade-Off) ของโครงการก่อสร้างถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก เพื่อนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการวางแผนงานให้มีความเหมาะสมทั้งทางด้านระยะเวลาและต้นทุนของโครงการก่อสร้าง ตลอดจนการบริหารจัดการทรัพยากรให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

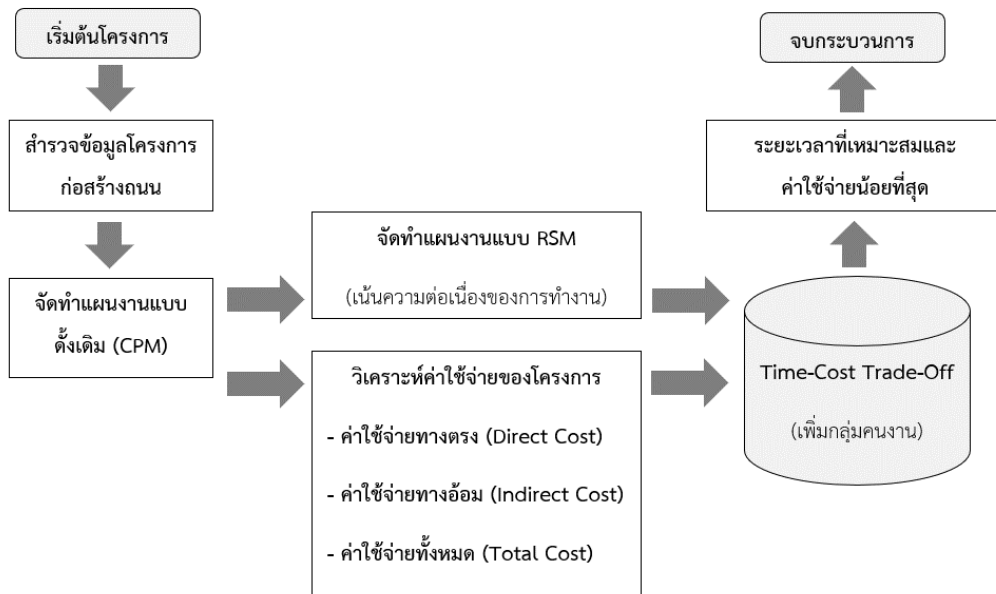
วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาและกำหนดกรอบแนวทางปฏิบัติ (Framework) การวางแผนงานด้วยวิธี RSM และ Time-Cost Trade-Off ของโครงการก่อสร้างถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก
2. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์หาระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับต้นทุนที่ต่ำที่สุดของโครงการก่อสร้างถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก ถนนสาย นย. 2011 จังหวัดนครนายก โดยการประยุกต์ใช้วิธีการวางแผนงานแบบ RSM ร่วมกับวิธี Time-Cost Trade-Off

กรอบแนวคิดในการวิจัย

ผู้วิจัยได้กำหนดกรอบแนวคิดในการวิจัย ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลัก คือ ขั้นที่หนึ่ง การสำรวจและเก็บข้อมูลโครงการก่อสร้างถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก และจัดทำแผนงานโครงการก่อสร้างแบบดั้งเดิม (CPM) ขั้นที่สอง การปรับรูปแบบแผนงานจากวิธี CPM เป็นแผนงานโครงการแบบ RSM และทำการวิเคราะห์หาค่าใช้จ่ายของโครงการซึ่งประกอบด้วย ค่าใช้จ่ายทางตรง ค่าใช้จ่ายทางอ้อม และค่าใช้จ่ายทั้งหมด ขั้นที่สาม การวิเคราะห์การแลกเปลี่ยน

ระหว่างเวลากับต้นทุน (Time-Cost Trade-Off) เพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสมและค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุดของโครงการก่อสร้าง ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัยของการวางแผนงานด้วยวิธี RSM และ Time-Cost Trade-Off

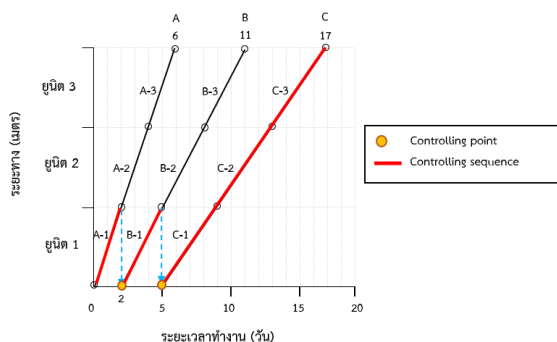
แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. วิธีการวางแผนงานที่มีลักษณะซ้ำกัน (Repetitive Scheduling Method: RSM) หมายถึง การวางแผนงานโครงการที่มีรูปแบบของการทำงานย่อยแต่ละชนิดที่มีลักษณะของการทำงานแบบทำซ้ำ ถูกพัฒนาขึ้นในปี ค.ศ. 1998 โดย Harris and Ioannou (1998) ซึ่งวิธีการแบบเก่าที่นิยมใช้หรือ CPM มีข้อจำกัดคือ อาจทำให้เกิดความไม่ต่อเนื่องของการทำงานขึ้น แต่สำหรับวิธีแบบ RSM จะสามารถจัดการทรัพยากรให้ทำงานได้อย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพมากขึ้น (Ioannou and Yang, 2016) สำหรับประเภทของงานก่อสร้างที่มีลักษณะซ้ำกัน อาจแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ประเภทที่หนึ่ง คือ ลักษณะงานซ้ำแบบหน่วยการทำงานถูกแบ่งอย่างชัดเจน (Discrete project) เช่น โครงการบ้านจัดสรร งานก่อสร้างแต่ละชั้นของอาคารสูง เป็นต้น ประเภทที่สอง คือ ลักษณะงานซ้ำแบบหน่วยการทำงานต่อเนื่อง (Continuous project) เช่น งานก่อสร้างถนน งานก่อสร้างทางรถไฟ งานวางท่อ เป็นต้น (Kusalasai, 2018)

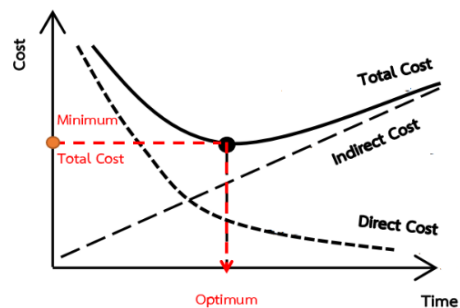
สำหรับงานก่อสร้างที่มีลักษณะซ้ำกัน ได้มีผู้วิจัยหลายท่านได้นำเสนอวิธีการวิเคราะห์ที่หลากหลายวิธี เช่น Line of Balance (LOB), Linear Scheduling Method (LSM), Location-based Scheduling และ Repetitive Scheduling Method (RSM) เป็นต้น (Ioannou and Yang, 2016) โดยวิธีเหล่านี้จะอาศัยหลักการพื้นฐานที่คล้ายกัน คือ ใช้แผนภาพในการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม แต่จะมีความแตกต่างกันในเรื่องการแสดงผลด้วยรูปแบบกราฟที่ไม่เหมือนกัน โดยที่วิธี RSM เป็นเพียงวิธีเดียวที่สามารถระบุกิจกรรมวิกฤติได้ (Jamnongnart and Kusalasai, 2019) โดยแนวความคิดที่สำคัญที่ใช้ในการวางแผนงานด้วยวิธี RSM คือ การกำหนดจุดควบคุม (Control Point, CP) และลำดับควบคุม (Controlling Sequence) เพื่อให้การดำเนินงานมีความต่อเนื่องเป็นไปตามแผนที่ได้วาง

ไว้ (Dolabi et al., 2014) ซึ่งตามหลักการของ RSM กิจกรรมที่อยู่บนสายของลำดับควบคุมจะถูกพิจารณาว่าเป็นกิจกรรมวิกฤติและมีผลกระทบต่อระยะเวลาในการก่อสร้าง (Kusalasai, 2018)

ภาพที่ 2 แสดงตัวอย่างของการวางแผนงานที่มีลักษณะซ้ำกันของ กิจกรรม A B และ C ซึ่งแต่ละกิจกรรมจะแบ่งออกเป็น 3 ยูนิตย่อย คือ A-1, A-2, A-3, B-1, B-2, B-3, C-1, C-2 และ C-3 โดยกราฟในแนวดิ่งจะแสดงระยะทางหรือลำดับยูนิตการทำงาน ส่วนกราฟในแนวนอนจะแสดงระยะเวลาการทำงาน จากภาพเมื่อกิจกรรม A-1 ดำเนินการแล้วเสร็จ กิจกรรม B-1 ก็สามารถเริ่มงานต่อจาก A-1 ได้เลย โดยที่ไม่ต้องรอให้กิจกรรม A-3 ดำเนินการเสร็จ และเมื่อกิจกรรม B-1 แล้วเสร็จ กิจกรรม C-1 ก็สามารถเริ่มงานต่อได้เลย โดยที่ไม่ต้องรอให้กิจกรรม B-3 ดำเนินการเสร็จ สำหรับกิจกรรมสายของลำดับควบคุม (Controlling Sequence) ของตัวอย่างนี้จะแสดงด้วยเส้นสีแดง ประกอบไปด้วยกิจกรรม C-3, C-2, C-1, B-1 และ A-1 โดยกิจกรรมที่อยู่ในลำดับควบคุมนี้จะถูกกำหนดด้วยจุดควบคุม (Control Point) หรือจุด CP ซึ่งแสดงด้วยจุดสีเหลือง ดังปรากฏในตัวอย่างในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แสดงตัวอย่างการวางแผนงานด้วยวิธี RSM ของกิจกรรม A B และ C



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับค่าใช้จ่ายต่ำสุด (Albayrak, 2020)

2. การแลกเปลี่ยนระหว่างเวลากับต้นทุน (Time-Cost Trade-Off) คือ หลักการการกำหนดหาต้นทุนของโครงการที่ต่ำที่สุดสำหรับค่าระยะเวลาหนึ่งของโครงการ โดยดำเนินการเร่งรัดกิจกรรมที่อยู่บนสายงานวิกฤติและเลือกกิจกรรมที่มีต้นทุนในการเร่งรัดต่ำที่สุด (Zou et al., 2017) โดยต้นทุนของโครงการก่อสร้างอาจแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ต้นทุนทางตรง (Direct Cost) และต้นทุนทางอ้อม (Indirect Cost) ต้นทุนทางตรงมีลักษณะที่แปรผันตามกับปริมาณงานที่ทำได้และทรัพยากรที่ใช้ไป ในขณะที่ต้นทุนทางอ้อมหมายถึงค่าใช้จ่ายอื่น ๆ ที่ช่วยในการสนับสนุนโครงการก่อสร้างและไม่แปรผันตามปริมาณงานที่ทำได้ แต่จะแปรผันตามระยะเวลาของโครงการ ส่วนต้นทุนทั้งหมด (Total Cost) หมายถึง ผลรวมของต้นทุนทางตรงและต้นทุนทางอ้อม (Huang et al., 2016) หากมีการเร่งงานในกิจกรรมสายงานวิกฤติจะส่งผลให้ระยะเวลารวมของโครงการลดลงและต้นทุนเปลี่ยนไป โดยต้นทุนทางตรงจะเพิ่มขึ้นและต้นทุนทางอ้อมจะลดลงเมื่อมีการเร่งรัดระยะเวลาของโครงการให้สั้นลง (Bakry et al., 2014; Agdas et al., 2018) ซึ่งในงานวิจัยนี้จะพิจารณาหาระยะเวลาเหมาะสมที่สุดของโครงการ (Optimum Project Duration) คือ ระยะเวลาของโครงการที่มีค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนต่ำที่สุด ดังกราฟแสดงความสัมพันธ์ในภาพที่ 3 (Albayrak, 2020) รวมถึงการแนะนำแนวทางวิธีการลดระยะเวลาการก่อสร้างถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก ด้วยวิธีการเพิ่มจำนวนกลุ่มคนงานและเครื่องจักรในกิจกรรมที่อยู่บนสายงานควบคุม เพื่อนำมาประกอบเป็นตัวอย่างในการประยุกต์ใช้

วิธีดำเนินการวิจัย

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บข้อมูลโครงการซ่อมสร้างผิวทางลาดยางและปรับปรุงผิวทางลาดยางเดิม (Hot mix inplace recycling แบบ Re - Paving) ถนนสาย นย. 2011 อำเภอเมืองนครนายก จังหวัดนครนายก ดำเนินการก่อสร้างและควบคุมงานโดยกรมทางหลวงชนบท โดยเก็บรวบรวมข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญที่ควบคุมงานของโครงการที่มีความรู้ ความชำนาญ และมีประสบการณ์ในงานก่อสร้างถนน จำนวน 5 ท่าน

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลในงานวิจัยนี้ใช้แบบบันทึกการสนทนากลุ่ม (Focus Group) เพื่อเก็บและรวบรวมข้อมูลขั้นตอนและเทคนิคการก่อสร้าง ระยะเวลาดำเนินการและค่าใช้จ่ายของโครงการก่อสร้างถนนคอนกรีตเสริมเหล็กจำนวน 2 ช่วงคือ โครงการช่วงที่ 1 ตั้งแต่ กม.ที่ 9+180 ถึง กม.ที่ 10+000 ระยะทาง 820 เมตร โครงการช่วงที่ 2 ตั้งแต่ กม.ที่ 0+130 ถึง กม.ที่ 1+970 ระยะทาง 1,840 เมตร โดยมีลำดับและลักษณะการทำงานของกิจกรรม ดังภาพที่ 4 จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาเขียนกิจกรรมหลักได้ทั้งหมดจำนวน 9 กิจกรรม ดังตารางที่ 1 เพื่อที่จะทำการเพิ่มจำนวนกลุ่มคนงานและเครื่องจักรลงในกิจกรรมหลักนี้ โดยระยะเวลาที่ใช้ในแต่ละกิจกรรมคิดจากการทำงานของกลุ่มคนงานหรือเครื่องจักร 1 กลุ่ม



ภาพที่ 4 ขั้นตอนการก่อสร้างถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก ถนนสาย นย. 2011

ตารางที่ 1 ขั้นตอนการก่อสร้างถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก ถนนสาย นย. 2011

ลำดับ	กิจกรรม	รายละเอียดกิจกรรม	จำนวนวันทำงาน (วัน)		กิจกรรม ก่อนหน้า
			โครงการช่วงที่ 1	โครงการช่วงที่ 2	
1	A	งานเตรียมพื้นที่	4	8	
2	B	งานขุดรื้อผิวทางเดิม	12	24	A
3	C	งานปรับเกลี่ยแต่งและบดอัด	8	12	B
4	D	งานปรับระดับทรายรองผิวทาง	4	8	C
5	E	งานเทคอนกรีตเสริมเหล็ก	36	80	D

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ลำดับ	กิจกรรม	รายละเอียดกิจกรรม	จำนวนวันทำงาน (วัน)		กิจกรรม ก่อนหน้า
			โครงการช่วงที่ 1	โครงการช่วงที่ 2	
6	F	งานตัดรอยต่อคอนกรีต	8	16	E
7	G	งานยาแนวรอยต่อคอนกรีต	12	20	F
8	H	งานปรับปรุงคันหิน	12	20	E
9	I	งานเก็บรายละเอียด	4	8	G, H

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายของโครงการ

ค่าใช้จ่ายในการจ้างแรงงานและค่าเช่าเครื่องมือ/เครื่องจักรในการดำเนินการก่อสร้างถนนคอนกรีตเสริมเหล็กทั้ง 2 ช่วง ได้มาจากการเก็บข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญของโครงการและราคากลางที่ใช้ในการว่าจ้างผู้รับเหมา ของกิจกรรมหลัก 9 กิจกรรม ซึ่งการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับค่าใช้จ่ายที่ต่ำสุด ส่วนนี้จะมีค่าใช้จ่ายทางตรง (Direct Cost) คือ ค่าจ้างแรงงานและค่าเช่าเครื่องมือ/เครื่องจักร ดังแสดงในตารางที่ 2 (คิดค่าเคลื่อนย้ายเครื่องมือ/เครื่องจักรรวมทุกกิจกรรมเท่ากับ 56,000 บาท) และค่าใช้จ่ายทางอ้อม (Indirect Cost) ได้แก่ เงินเดือนพนักงาน ค่าจ้างวิศวกร ค่าจ้างโปรแกรม ค่าที่พักของพนักงาน ค่าน้ำ ค่าไฟฟ้า และอื่น ๆ ซึ่งจากการเก็บข้อมูลมีค่าใช้จ่ายทางอ้อมเท่ากับ 8,350 บาทต่อวัน

ตารางที่ 2 ค่าใช้จ่ายทางตรง (Direct Cost) ของกิจกรรมงานก่อสร้าง

ลำดับ	รายละเอียดกิจกรรม	เครื่องมือ/เครื่องจักร	กำลังคน/วัน	ค่าแรง/ค่าเช่าต่อวัน	ค่าใช้จ่ายต่อกิจกรรม (บาท)	
					โครงการที่ 1	โครงการที่ 2
1	A. งานเตรียมพื้นที่	- รถบรรทุกติดเครน 1 คัน	- คนขับรถบรรทุกติดเครน 1 คน - คนงาน 5 คน	8,000	32,000	64,000
2	B. งานขุดร่องผิวทางเดิม	- รถขุดไฮดรอลิก 1 คัน - รถเกรด 1 คัน - รถบรรทุก 2 คัน - รถบรรทุกน้ำ 1 คัน	- คนขับรถขุดไฮดรอลิก 1 คน - คนขับรถเกรด 1 คน - คนขับรถบรรทุก 2 คน - คนขับรถบรรทุกน้ำ 1 คน - คนงาน 5 คน	55,000	660,000	1,320,000
3	C. งานปรับเกลี่ยแต่งและบดอัด	- รถเกรด 1 คัน - รถบดสันสะเทือน 1 คัน - รถบดล้อยาง 1 คัน - รถบรรทุก 2 คัน - รถบรรทุกน้ำ 1 คัน	- คนขับรถเกรด 1 คน - คนขับรถบดสันสะเทือน 1 คน - คนขับรถบดล้อยาง 1 คน - คนขับรถบรรทุก 2 คน - คนขับรถบรรทุกน้ำ 1 คน - คนงาน 5 คน	52,000	416,000	624,000

ตารางที่ 2 (ต่อ)

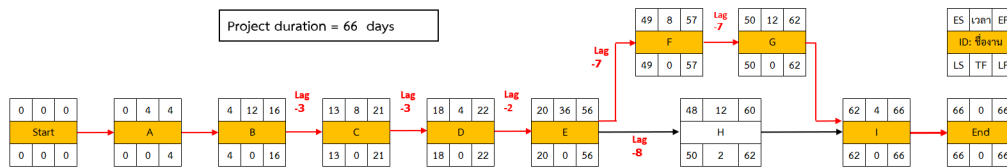
ลำดับ	รายละเอียดกิจกรรม	เครื่องมือ/เครื่องจักร	กำลังคน/วัน	ค่าแรง/ค่าเช่าต่อวัน	ค่าใช้จ่ายต่อกิจกรรม (บาท)	
					โครงการที่ 1	โครงการที่ 2
4	D. งานปรับระดับทรายรองผิวทาง	- รถแบคโฮ 1 คัน - รถเกรด 1 คัน	- คนขับรถแบคโฮ 1 คน - คนขับรถเกรด 1 คน - คนงาน 5 คน	31,000	124,000	248,000
5	E. งานเทคอนกรีตเสริมเหล็ก	- รถบรรทุกติดเครน 1 คัน - อุปกรณ์เทคอนกรีต	- คนขับรถบรรทุกติดเครน 1 คน - คนงาน 15 คน	12,000	432,000	960,000
6	F. งานตัดรอยต่อคอนกรีต	- อุปกรณ์ตัดคอนกรีต	- คนงาน 5 คน	2,000	16,000	32,000
7	G. งานยาแนวรอยต่อคอนกรีต	- อุปกรณ์ยาแนวรอยต่อ	- คนงาน 5 คน	2,000	24,000	40,000
8	H. งานปรับปรุงคันหิน	- อุปกรณ์เทคอนกรีต	- คนงาน 10 คน	4,000	48,000	80,000
9	I. งานเก็บรายละเอียด	- รถบรรทุกติดเครน 1 คัน	- คนขับรถบรรทุกติดเครน 1 คน - คนงาน 5 คน	8,000	32,000	64,000

2. การจัดทำแผนงานแบบวิธีทั่วไปหรือวิธีสายงานวิกฤต (CPM)

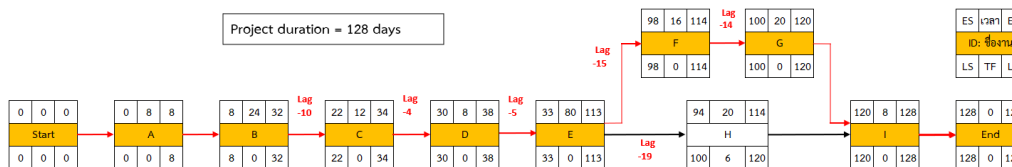
ผู้วิจัยได้จัดทำแผนงานแบบวิธีสายงานวิกฤต (Critical Path Method: CPM) ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย สามารถบอกเวลาเริ่มต้นและสิ้นสุดของโครงการ รวมถึงแสดงสายงานวิกฤติของโครงการได้ (Olivieri et al., 2019) โดยผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้ CPM ร่วมกับวิธีแผนผังเครือข่าย (Precedence Network Diagram) แบบ Activity on Node หรือ AON โดยใช้รูปแบบ Finish to Start (FS) เนื่องจากเป็นรูปแบบที่เข้าใจง่าย (Promsiri and Pawan, 2018) นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้เพิ่มเวลารอคอย (Lag time) ระหว่างกิจกรรม (Doungsoma, 2021) ซึ่งมีทั้งแบบที่เป็นค่าบวก คือ ระยะเวลาเริ่มต้นที่ช้าลงของกิจกรรมถัดไป และแบบที่เป็นค่าลบ คือ ระยะเวลาเริ่มต้นที่เร็วขึ้นของกิจกรรมถัดไป ยกตัวอย่างเช่น ถ้า Lag time ระหว่างงานเทคอนกรีตเสริมเหล็กและงานตัดรอยต่อคอนกรีตเท่ากับ “-7” หมายความว่า “งานตัดรอยต่อคอนกรีต” สามารถเริ่มก่อน “งานเทคอนกรีตเสริมเหล็ก” จะแล้วเสร็จได้ 7 วัน โดยที่ไม่ต้องรอให้งานเทคอนกรีตเสริมเหล็กแล้วเสร็จทั้งหมด และไม่ก่อให้เกิดอันตรายในการทำงาน ดังนั้น ผลจากการวางแผนงานแบบ CPM ทำให้ระยะเวลาของโครงการช่วงที่ 1 เท่ากับ 66 วัน ระยะเวลาของโครงการช่วงที่ 2 เท่ากับ 128 วัน ดังภาพที่ 5 และภาพที่ 6 ตามลำดับ

จากการวางแผนงานแบบ CPM และข้อมูลที่คำนวณจากตารางที่ 2 ค่าใช้จ่ายของโครงการช่วงที่ 1 มีค่าใช้จ่ายทางตรง 1,840,000 บาท ค่าใช้จ่ายทางอ้อม 551,100 บาท และค่าใช้จ่ายทั้งหมด 2,391,100 บาท ส่วน

โครงการช่วงที่ 2 มีค่าใช้จ่ายทางตรง 3,488,000 บาท ค่าใช้จ่ายทางอ้อม 1,068,800 บาท และค่าใช้จ่ายทั้งหมด 4,556,800 บาท



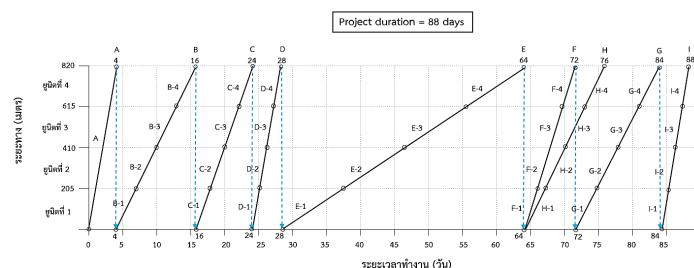
ภาพที่ 5 แผนงานแบบวิธีสายงานวิกฤต (CPM) ของโครงการช่วงที่ 1



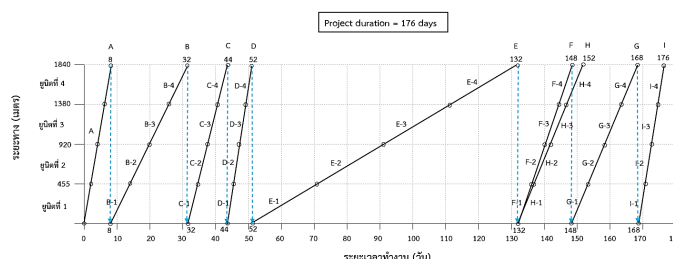
ภาพที่ 6 แผนงานแบบวิธีสายงานวิกฤต (CPM) ของโครงการช่วงที่ 2

3. จัดทำแผนงานแบบ RSM (ยังไม่ปรับเปลี่ยนกิจกรรมให้มีความต่อเนื่อง)

จากนั้นผู้วิจัยได้จัดทำแผนงานแบบ RSM โดยที่ยังไม่ปรับเปลี่ยนกิจกรรมให้มีความต่อเนื่อง และมีหลักการในการวิเคราะห์ คือ การใช้กราฟเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยงานก่อสร้าง โดยแต่ละโครงการจะแบ่งกิจกรรมต่าง ๆ ออกเป็น 4 ยุ닛ย่อย (ยกเว้น กิจกรรม A งานเตรียมพื้นที่) เช่น กิจกรรม B จะแบ่งเป็น B-1, B-2, B-3, และ B-4 เป็นต้น ผลการแบ่งกิจกรรมย่อยของทั้ง 2 โครงการ ทำให้ระยะเวลาของโครงการช่วงที่ 1 เท่ากับ 88 วัน และโครงการช่วงที่ 2 เท่ากับ 176 วัน ดังภาพที่ 7 และภาพที่ 8 ตามลำดับ และจากข้อมูลที่คำนวณจากตารางที่ 2 ของโครงการช่วงที่ 1 มีค่าใช้จ่ายทางตรง 1,840,000 บาท ค่าใช้จ่ายทางอ้อม 734,800 บาท และค่าใช้จ่ายทั้งหมด 2,574,800 บาท ส่วนโครงการช่วงที่ 2 มีค่าใช้จ่ายทางตรง 3,488,000 บาท ค่าใช้จ่ายทางอ้อม 1,469,600 บาท และค่าใช้จ่ายทั้งหมด 4,957,600 บาท



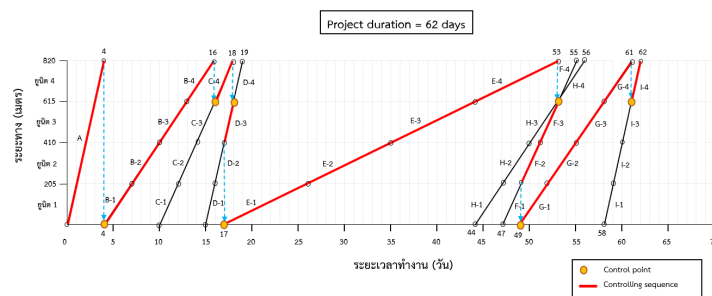
ภาพที่ 7 แผนงานแบบ RSM ตามตารางสรุปกิจกรรม ของโครงการช่วงที่ 1



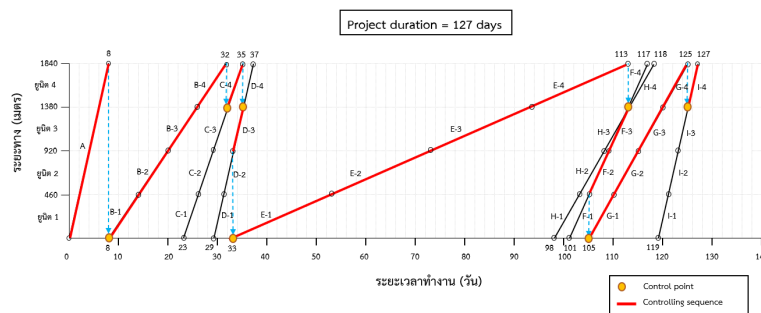
ภาพที่ 8 แผนงานแบบ RSM ตามตารางสรุปกิจกรรม ของโครงการช่วงที่ 2

4. ปรับเปลี่ยนกิจกรรมให้มีความต่อเนื่องและการหาสายงานควบคุม (Controlling Sequence)

ทำการปรับเปลี่ยนกิจกรรมให้มีความต่อเนื่อง หากกิจกรรมย่อยใดสามารถดำเนินงานก่อนได้ ก็ให้กิจกรรมถัดมาดำเนินงานต่อไปได้โดยไม่ต้องรอให้กิจกรรมนั้นดำเนินงานจนเสร็จสิ้นทั้งหมด และไม่ก่อให้เกิดความไม่ปลอดภัยในการทำงาน โดยได้จัดทำแผนงานแบบ RSM ดังภาพที่ 9 และภาพที่ 10 เมื่อทำการเปลี่ยนกิจกรรมแล้วทำให้ระยะเวลาของโครงการช่วงที่ 1 ลดลงเหลือ 62 วัน โครงการช่วงที่ 2 ลดลงเหลือ 127 วัน และมีค่าใช้จ่ายที่คำนวณจากตารางที่ 2 ของโครงการช่วงที่ 1 ซึ่งมีค่าใช้จ่ายทางตรง 1,840,000 บาท ค่าใช้จ่ายทางอ้อม 517,700 บาท และค่าใช้จ่ายทั้งหมด 2,357,700 บาท ส่วนโครงการช่วงที่ 2 มีค่าใช้จ่ายทางตรง 3,488,000 บาท ค่าใช้จ่ายทางอ้อม 1,060,450 บาท และค่าใช้จ่ายทั้งหมด 4,548,450 บาท



ภาพที่ 9 แผนงานแบบ RSM ที่ปรับเปลี่ยนกิจกรรมให้มีความต่อเนื่อง ของโครงการช่วงที่ 1



ภาพที่ 10 แผนงานแบบ RSM ที่ปรับเปลี่ยนกิจกรรมให้มีความต่อเนื่อง ของโครงการช่วงที่ 2

5. การเพิ่มจำนวนกลุ่มคนงานในกิจกรรมที่อยู่บนสายงานควบคุมในแผนงานแบบ RSM

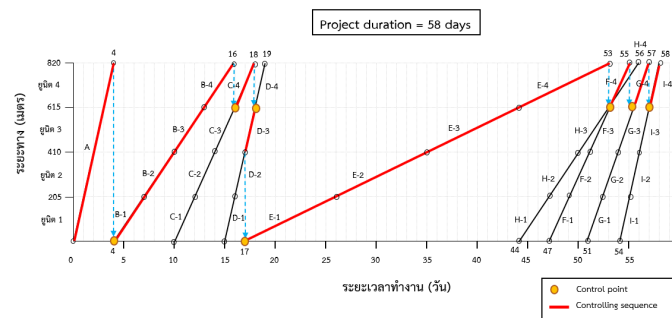
ในขั้นตอนต่อไปจะทำการเพิ่มจำนวนของกลุ่มคนงานและเครื่องจักรในกิจกรรมที่อยู่บนสายงานควบคุม โดยหลักการทั่วไป การเพิ่มจำนวนกลุ่มคนงานสามารถช่วยลดระยะเวลาการทำงานได้ (Kusalasai, 2018) และตามหลักการของ Time-Cost Trade-Off จะเริ่มจากกิจกรรมที่มีค่าใช้จ่ายจากน้อยไปหามาก (Bakry et al., 2014) จำนวนของกลุ่มคนงานที่สามารถเพิ่มได้มากที่สุด มีค่าเท่ากับจำนวนครั้งที่กลุ่มคนงาน 1 กลุ่มทำกิจกรรมนั้น เช่น ในกิจกรรมงานปรับปรุงคันหิน กลุ่มคนงาน 1 กลุ่มทำกิจกรรมนั้น 4 ครั้ง ใช้เวลาทำงาน 12 วัน ถ้าใช้จำนวนกลุ่มคนงาน 2 กลุ่ม จะใช้เวลาทำงาน 6 วัน แต่ถ้าใช้จำนวนกลุ่มคนงาน 4 กลุ่ม จะใช้เวลาทำงานเพียง 3 วันเท่านั้น

ผลการวิจัย

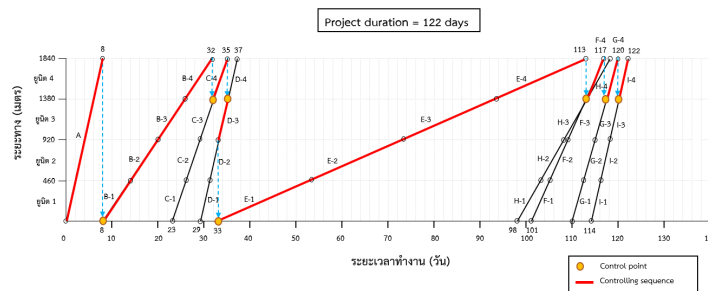
1. ดำเนินการด้วยวิธี RSM และ Time-Cost Trade-Off โดยการเพิ่มจำนวนกลุ่มคนงาน

การวิจัยครั้งนี้ได้ประยุกต์ใช้วิธีการวางแผนงานแบบ RSM ร่วมกับวิธี Time-Cost Trade-Off โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและวิเคราะห์หาระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับต้นทุนที่ต่ำที่สุดของโครงการก่อสร้างถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

เมื่อทำการเพิ่มจำนวนกลุ่มคนงานอีก 1 กลุ่มในกิจกรรมงานยาแนวรอยต่อคอนกรีต รวมเป็นจำนวน 2 กลุ่ม ในแผนงาน RSM ที่มีการปรับเปลี่ยนกิจกรรมให้มีความต่อเนื่องแล้ว จะสามารถลดระยะเวลาการดำเนินงานของโครงการช่วงที่ 1 เหลือจำนวน 58 วัน โครงการช่วงที่ 2 เหลือจำนวน 122 วัน ดังภาพที่ 11 และภาพที่ 12 มีค่าใช้จ่ายที่คำนวณจากตารางที่ 2 ของโครงการช่วงที่ 1 ซึ่งมีค่าใช้จ่ายทางตรง 1,868,000 บาท ค่าใช้จ่ายทางอ้อม 484,300 บาท และค่าใช้จ่ายทั้งหมด 2,352,300 บาท ส่วนโครงการช่วงที่ 2 ค่าใช้จ่ายทางตรง 3,528,000 บาท ค่าใช้จ่ายทางอ้อม 1,018,700 บาท และค่าใช้จ่ายทั้งหมด 4,546,700 บาท



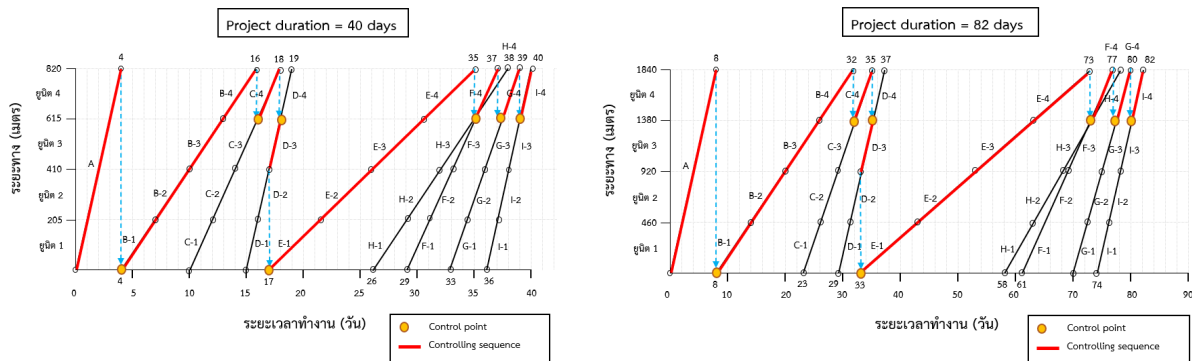
ภาพที่ 11 แผนงาน RSM ที่เพิ่มคนงาน 1 กลุ่มในกิจกรรมงานยาแนวรอยต่อคอนกรีต ของโครงการช่วงที่ 1



ภาพที่ 12 แผนงาน RSM ที่เพิ่มคนงาน 1 กลุ่มในกิจกรรมงานยาแนวรอยต่อคอนกรีต ของโครงการช่วงที่ 2

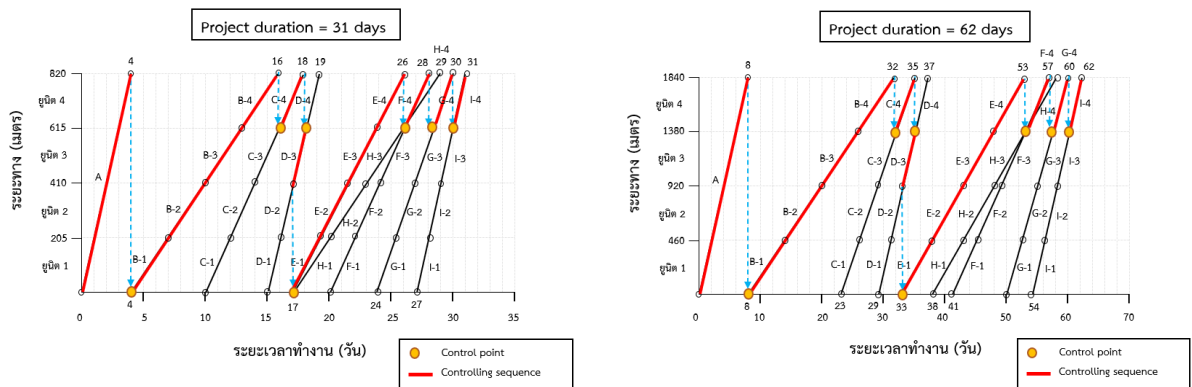
เมื่อทำการเพิ่มจำนวนกลุ่มคนงานและเครื่องจักรอีก 1 กลุ่มในกิจกรรมงานเทคอนกรีตเสริมเหล็ก รวมเป็นจำนวน 2 กลุ่มในแผนงาน RSM ทั้ง 2 โครงการ จะสามารถลดระยะเวลาการดำเนินงานของโครงการช่วงที่ 1 เหลือจำนวน 40 วัน โครงการช่วงที่ 2 เหลือจำนวน 82 วัน ดังภาพที่ 13 และมีค่าใช้จ่ายที่คำนวณจากตารางที่ 2 ของโครงการช่วงที่ 1 ซึ่งมีค่าใช้จ่ายทางตรง 1,935,000 บาท ค่าใช้จ่ายทางอ้อม 334,000 บาท และค่าใช้จ่ายทั้งหมด

2,269,000 บาท ส่วนโครงการช่วงที่ 2 ค่าใช้จ่ายทางตรง 3,656,000 บาท ค่าใช้จ่ายทางอ้อม 684,700 บาท และค่าใช้จ่ายทั้งหมด 4,340,700 บาท



ภาพที่ 13 แผนงาน RSM ที่เพิ่มคนงาน 1 กลุ่มในกิจกรรมงานเทคอนกรีตเสริมเหล็กของโครงการ
ช่วงที่ 1 (ด้านซ้าย) และช่วงที่ 2 (ด้านขวา)

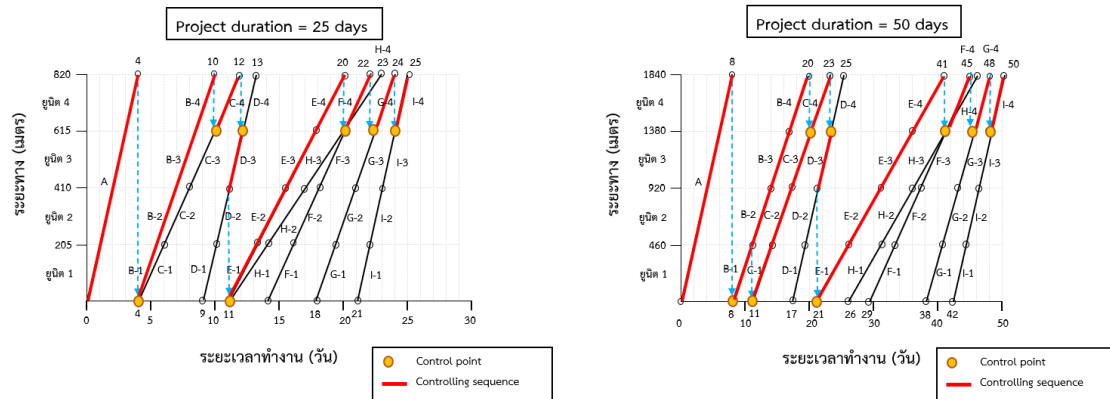
เมื่อทำการเพิ่มจำนวนกลุ่มคนงานและเครื่องจักรเพิ่มอีก 2 กลุ่มในกิจกรรมงานเทคอนกรีตเสริมเหล็ก รวมเป็นจำนวน 4 กลุ่ม ในแผนงาน RSM ทั้ง 2 โครงการ จะสามารถลดระยะเวลาการดำเนินงานของโครงการช่วงที่ 1 เหลือจำนวน 31 วัน โครงการช่วงที่ 2 เหลือจำนวน 62 วัน ดังภาพที่ 14 และมีค่าใช้จ่ายที่คำนวณจากตารางที่ 2 ของโครงการช่วงที่ 1 ซึ่งมีค่าใช้จ่ายทางตรง 2,018,500 บาท ค่าใช้จ่ายทางอ้อม 258,850 บาท และค่าใช้จ่ายทั้งหมด 2,277,350 บาท ส่วนโครงการช่วงที่ 2 ค่าใช้จ่ายทางตรง 3,836,000 บาท ค่าใช้จ่ายทางอ้อม 517,700 บาท และค่าใช้จ่ายทั้งหมด 4,353,700 บาท



ภาพที่ 14 แผนงาน RSM ที่เพิ่มคนงานอีก 2 กลุ่ม (รวมเป็น 4 กลุ่ม) ในกิจกรรมงานเทคอนกรีตเสริมเหล็ก
ของโครงการช่วงที่ 1 (ด้านซ้าย) และช่วงที่ 2 (ด้านขวา)

เมื่อทำการเพิ่มจำนวนกลุ่มคนงานและเครื่องจักรอีก 1 กลุ่มในกิจกรรมงานชุดรีดผิวทางเดิม รวมเป็นจำนวน 2 กลุ่มในแผนงาน RSM ทั้ง 2 โครงการ จะสามารถลดระยะเวลาการดำเนินงานของโครงการช่วงที่ 1 เหลือจำนวน 25 วัน โครงการช่วงที่ 2 เหลือจำนวน 50 วัน ดังภาพที่ 15 และมีค่าใช้จ่ายที่คำนวณจากตารางที่ 2 ของโครงการช่วงที่ 1 ซึ่งมีค่าใช้จ่ายทางตรง 2,087,500 บาท ค่าใช้จ่ายทางอ้อม 208,750 บาท และค่าใช้จ่ายทั้งหมด 2,296,250

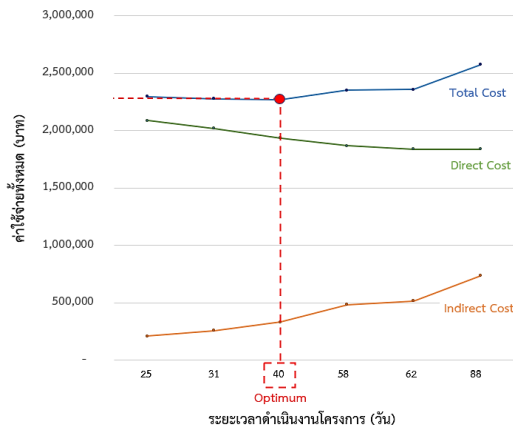
บาท ส่วนโครงการช่วงที่ 2 ค่าใช้จ่ายทางตรง 3,948,000 บาท ค่าใช้จ่ายทางอ้อม 417,500 บาท และค่าใช้จ่าย
ทั้งหมด 4,365,500 บาท



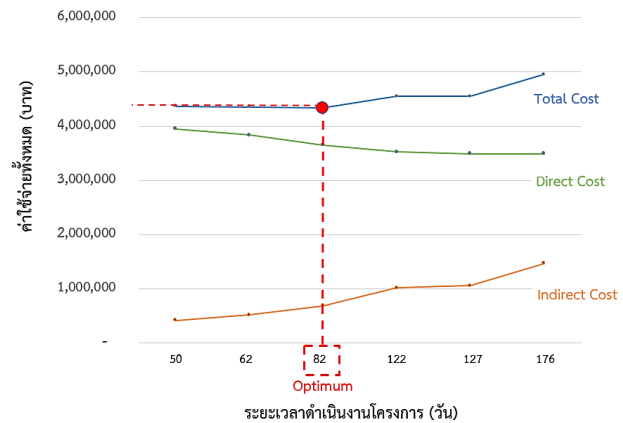
ภาพที่ 15 แผนงาน RSM ที่เพิ่มคนงาน 1 กลุ่มในกิจกรรมงานชุดเรือผิวน้ำทางเดิม ของโครงการ
ช่วงที่ 1 (ด้านซ้าย) และช่วงที่ 2 (ด้านขวา)

ตารางที่ 3 สรุปข้อมูลระยะเวลาดำเนินงานและค่าใช้จ่ายของการเพิ่มจำนวนกลุ่มคนงานในแต่ละขั้นตอน

รูปแบบการดำเนินงาน	แผนงาน	ระยะเวลา (วัน)		ค่าใช้จ่าย (บาท)					
		โครงการ ที่ 1	โครงการ ที่ 2	โครงการที่ 1			โครงการที่ 2		
				ทางตรง	ทางอ้อม	ทั้งหมด	ทางตรง	ทางอ้อม	ทั้งหมด
1. แผนการดำเนินงานปกติ หรือแบบวิธีสายงานวิกฤติ	CPM	66	128	1,840,000	551,100	2,391,100	3,488,000	1,068,800	4,556,800
2. แผนงาน RSM ที่ยังไม่ ปรับเปลี่ยนกิจกรรมให้ ต่อเนื่อง	RSM	88	176	1,840,000	734,800	2,574,800	3,488,000	1,469,600	4,957,600
3. แผนงาน RSM ที่ปรับ เปลี่ยนกิจกรรมให้ต่อเนื่อง	RSM	62	127	1,840,000	517,700	2,357,700	3,488,000	1,060,450	4,548,450
4. เพิ่มกลุ่มคนงาน กิจกรรม งานยานวอร์รอยต่อ คอนกรีตรวมเป็น 2 กลุ่ม	RSM	58	122	1,868,000	484,300	2,352,300	3,528,000	1,018,700	4,546,700
5. เพิ่มกลุ่มคนงาน กิจกรรม งานเทคอนกรีตเสริมเหล็ก รวมเป็น 2 กลุ่ม	RSM	40	82	1,935,000	334,000	2,269,000	3,656,000	684,700	4,340,700
6. เพิ่มกลุ่มคนงาน กิจกรรม งานเทคอนกรีตเสริมเหล็ก รวมเป็น 4 กลุ่ม	RSM	31	62	2,018,500	258,850	2,277,350	3,836,000	517,700	4,353,700
7. เพิ่มกลุ่มคนงาน กิจกรรม งานชุดเรือผิวน้ำทางเดิมรวม เป็น 2 กลุ่ม	RSM	25	50	2,087,500	208,750	2,296,250	3,948,000	417,500	4,365,500



ภาพที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลา
กับค่าใช้จ่ายต่ำสุด ของโครงการช่วงที่ 1



ภาพที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลา
กับค่าใช้จ่ายต่ำสุด ของโครงการช่วงที่ 2

2. การวิเคราะห์หาระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับต้นทุนที่ต่ำที่สุดของโครงการ

ดำเนินการสรุปข้อมูลระยะเวลาดำเนินงานและค่าใช้จ่ายของการเพิ่มจำนวนกลุ่มคนงานในแต่ละขั้นตอนของทั้ง 2 โครงการ ดังแสดงในตารางที่ 3 จากนั้นนำข้อมูลมาแสดงในรูปแบบของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาดำเนินงานกับค่าใช้จ่ายของโครงการ ผลการศึกษาพบว่า ค่าความเหมาะสมของโครงการช่วงที่ 1 อยู่ที่ระยะเวลาดำเนินงานโครงการเท่ากับ 40 วัน ดังภาพที่ 16 เมื่อเปรียบเทียบกับวิธี CPM ทำให้ระยะเวลาที่ใช้ดำเนินงานโครงการลดลงร้อยละ 39.39 ค่าใช้จ่ายทั้งหมดของโครงการลดลงร้อยละ 5.11 ส่วนค่าความเหมาะสมของโครงการช่วงที่ 2 อยู่ที่ระยะเวลาดำเนินงานโครงการเท่ากับ 82 วัน ดังภาพที่ 17 เมื่อเปรียบเทียบกับวิธี CPM ทำให้ระยะเวลาที่ใช้ดำเนินงานโครงการลดลงร้อยละ 35.94 ค่าใช้จ่ายทั้งหมดของโครงการลดลงร้อยละ 4.74

อภิปรายผล

จากผลการศึกษาและการวิเคราะห์การวางแผนงานด้วยวิธี RSM ร่วมกับวิธี Time-Cost Trade-Off โดยการเพิ่มจำนวนกลุ่มคนงานและเครื่องจักร พบว่าส่งผลให้ระยะเวลาดำเนินงานของโครงการลดลงและส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายของโครงการคือ ค่าใช้จ่ายทางตรง (Direct Cost) ของโครงการเพิ่มขึ้น เนื่องจากต้องเสียค่าจ้างแรงงาน ค่าเช่าเครื่องมือ/เครื่องจักรและค่าใช้จ่ายด้านอื่น ๆ เพิ่มมากขึ้นเพื่อเร่งให้งานเสร็จเร็วกว่าปกติ รวมถึงการเพิ่มขึ้นของค่าเคลื่อนย้ายแรงงานหรือเครื่องมือ/เครื่องจักร ในส่วนของค่าใช้จ่ายทางอ้อม (Indirect Cost) การเพิ่มจำนวนกลุ่มคนงานและเครื่องจักร ส่งผลให้ระยะเวลาดำเนินงานของโครงการลดลงและทำให้ค่าใช้จ่ายทางอ้อมของโครงการลดลง เนื่องจาก ค่าใช้จ่ายทางอ้อม ได้แก่ เงินเดือนพนักงาน ค่าวัสดุ ค่าที่พัก ค่าน้ำ ค่าไฟฟ้า และอื่น ๆ คิดคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยต่อวัน ดังนั้นเมื่อจำนวนวันทำงานของโครงการลดลงอันเนื่องมาจากการเพิ่มจำนวนกลุ่มคนงานและเครื่องจักร จึงส่งผลให้ค่าใช้จ่ายทางอ้อมลดลงด้วย โดยผลการวิจัยครั้งนี้มีความสอดคล้องกับหลักการพื้นฐานของวิธี Time-Cost Trade-Off ที่กล่าวถึงความสัมพันธ์ของต้นทุนทางตรงและต้นทุนทางอ้อมว่า หากมีการเร่งงานของกิจกรรมในสายงานวิกฤติจะส่งผลให้ระยะเวลารวมของโครงการลดลงและต้นทุนเปลี่ยนไป โดยต้นทุนทางตรงจะเพิ่มขึ้นและต้นทุนทางอ้อมจะลดลงเมื่อมีการเร่งรัดระยะเวลาของโครงการให้สั้นลง ดังนั้น การศึกษาในครั้งนี้ได้นำเสนอแนวทางในการวางแผนงานแบบ RSM มาประยุกต์ใช้ร่วมกับวิธี Time-Cost Trade-Off ทำให้สามารถวางแผนการใช้ทรัพยากร

ให้มีความสอดคล้องและต่อเนื่องกันได้ รวมถึงช่วยลดระยะเวลาและลดต้นทุนในการก่อสร้างถนนคอนกรีตเสริมเหล็กได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

การวิเคราะห์คำนวณและผลที่ได้จากงานวิจัยนี้เป็นกรณีศึกษา เพื่อเป็นการศึกษาแนวทางการนำวิธี RSM มาประยุกต์ใช้กับงานก่อสร้างถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก เพื่อลดระยะเวลาและค่าใช้จ่ายตามหลักการของ Time-Cost Trade-Off การที่จะช่วยลดระยะเวลาหรือค่าใช้จ่ายได้มากหรือน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับปัจจัยและเทคนิคในด้านต่าง ๆ ที่ผู้วางแผนงานได้นำมาใช้ ซึ่งอาจจะส่งผลต่อการลดระยะเวลาดำเนินงานและค่าใช้จ่ายได้แตกต่างกัน

2. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

โครงการก่อสร้างโดยส่วนใหญ่อาจจะเผชิญกับปัญหาและอุปสรรคในด้านต่าง ๆ ในระหว่างการก่อสร้าง ซึ่งสิ่งเหล่านี้อาจจะส่งผลกระทบต่อการทำงานด้วยวิธี RSM ทำให้ไม่สามารถใช้ทรัพยากรได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ สำหรับการวิจัยในอนาคต ควรที่จะเพิ่มเติมข้อมูลในเรื่องของการพิจารณาความเสี่ยงด้านต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นกับโครงการก่อสร้าง เพื่อให้ผู้วางแผนงานสามารถประเมินระยะเวลาและค่าใช้จ่ายของโครงการได้ครอบคลุมและใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด

เอกสารอ้างอิง

- Agdas, D., Warne, D. J., Norgaard, J. O., and Masters, F. J. (2018). Utility of Genetic Algorithms for Solving Large-Scale Construction Time-Cost Trade-Off Problems. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 32(1), 1-10. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000718](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000718).
- Albayrak, G. (2020). Novel Hybrid Method in Time–Cost Trade-Off for Resource-Constrained Construction Projects. *Iranian Journal of Science and Technology*, 44(1), 1295-1307.
- Ammar, M. A. (2013). LOB and CPM Integrated Method for Scheduling Repetitive Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 139(1), 44-50.
- Bakry, I., Moselhi, O., and Zayed, T. (2014). Optimized Acceleration of Repetitive Construction Projects. *Automation in Construction*, 39(1), 145-151
- Dolabi, H. R. Z., Afshar, A., and Abbasnia, R. (2014). CPM/LOB Scheduling Method for Project Deadline Constraint Satisfaction. *Automation in Construction*, 48(1), 107-118
- Dounsoma, T. (2021). Application of Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems for Evaluating Time Contingency in Tunnel Construction Project. *Sripatum Review of Science and Technology*, 13(1), 22-37. (in Thai)
- Harris, R. B., and Ioannou, P. G. (1998). Scheduling Projects with Repetitive Activities. *Journal of Construction Engineering and Management*, 124(4), 269-278.

- Hegazy, T., and Kamarah, E. (2022). Schedule Optimization for Scattered Repetitive Projects. *Automation in Construction*, 133(1), 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.104042>.
- Huang, Y., Zou, X., and Zhang, L. (2016). Genetic Algorithm-Based Method for the Deadline Problem in Repetitive Construction Projects Considering Soft Logic. *Journal of Management in Engineering*, 32(4), 1-9. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000426](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000426).
- Ioannou, P. G., and Yang, I. T. (2016). Repetitive scheduling method: Requirements, modeling, and implementation. *Journal of Construction Engineering and Management*, 142(5), 1-13. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001107](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001107).
- Jamnongnart, K., and Kusalasai, S. (2019). The Construction of a Housing Project with Repetitive Working Patterns Part 1 Working with Different Schedules Between CPM and RSM. *Engineering Journal of Research and Development*, 30(4), 45-57. (in Thai)
- Kusalasai, S. (2018). *Planning Repetitive Construction*. Nonthaburi: Matichon Pak Kret. (in Thai)
- Olivieri, H., Seppänen, O., Alves, T. D. C. L., Scala, N. M., Schiavone, V., and Liu, M. (2019). Survey Comparing Critical Path Method, Last Planner System, and Location-Based Techniques. *Journal of Construction Engineering and Management*, 145(12), 1-12. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001644](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001644).
- Pawan, P., and Lorterapong, P. (2016). A Fuzzy-Based Integrated Framework for Assessing Time Contingency in Construction Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 142(3), 1-9. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001073](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001073).
- Promsiri, A., and Pawan, P. (2018). Lag Time in Project Scheduling Network with respect to Risk Event of Weir Construction. *Sripatum Review of Science and Technology*, 10(1), 198-210. (in Thai)
- Saad, D. A., Masoud, M., and Osman, H. (2021). Multi-Objective Optimization of Lean-based Repetitive Scheduling using Batch and Pull Production. *Automation in Construction*, 127(1), 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103696>.
- Zou, X., Fang, S. C., Huang, Y. S., and Zhang, L. H. (2017). Mixed-Integer Linear Programming Approach for Scheduling Repetitive Projects with Time-Cost Trade-Off Consideration. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 31(3), 1-6.

การจำแนกชนิดอัญมณีเบื้องต้นผ่านโมบายแอปพลิเคชันด้วยกระบวนการเรียนรู้เชิงลึก

ณัฐวดี หงษ์บุญมี^{1,*}, อนุชา ทำดีแท้²

^{1,2}ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Received: 3 April 2023

Revised: 27 July 2023

Accepted: 2 October 2023

บทคัดย่อ

การตรวจสอบชนิดอัญมณีที่ได้มาตรฐานในปัจจุบันต้องส่งตรวจห้องปฏิบัติการตรวจสอบอัญมณี ซึ่งวิธีการดังกล่าวมีระยะเวลาดำเนินการและมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง จึงมีการนำเทคโนโลยีการเรียนรู้เชิงลึกที่ช่วยให้คอมพิวเตอร์สามารถจำแนกภาพได้อย่างแม่นยำมาประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงนำเสนอการพัฒนาแบบจำลองจำแนกชนิดอัญมณีด้วยการเรียนรู้เชิงลึก รวมทั้งพัฒนาโมบายแอปพลิเคชันสำหรับจำแนกชนิดอัญมณีแบบอัตโนมัติ เพื่อให้ผู้ที่ไม่มีองค์ความรู้เกี่ยวกับอัญมณีสามารถจำแนกชนิดอัญมณีได้ การดำเนินงานประกอบด้วยกระบวนการสร้างแบบจำลองจำแนกภาพโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชัน ซึ่งฝึกสอนให้คอมพิวเตอร์สามารถจำแนกภาพอัญมณีที่มีลักษณะทางกายภาพใกล้เคียงกันจำนวน 6 ชนิด ได้แก่ ทับทิม โกเมน ชีทรีน บุษราคัม เพริidot และเขียวส่อง จากการทดลองประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองพบว่า แบบจำลอง MobileNetV1 ให้ค่าประสิทธิภาพดีที่สุด โดยมีค่าความถูกต้อง 95.00% ค่าความแม่นยำ 95.00% และค่าความระลึก 95.10% มีความเหมาะสมกับการนำไปใช้งาน จากนั้นนำแบบจำลองไปพัฒนาส่วนติดต่อผู้ใช้ในรูปแบบโมบายแอปพลิเคชัน ประเมินประสิทธิภาพแอปพลิเคชันโดยใช้การหาค่าความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มบนชุดข้อมูลทดสอบ ผลการวิจัยพบว่าแอปพลิเคชันสามารถจำแนกภาพอัญมณีได้อย่างมีประสิทธิภาพและง่ายต่อการใช้งาน โดยมีค่าความถูกต้องเฉลี่ย 82.50% แสดงให้เห็นว่าแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการตรวจสอบและจำแนกชนิดอัญมณีเบื้องต้นได้

คำสำคัญ : การจำแนกชนิดอัญมณี การจำแนกหมวดหมู่ภาพ การเรียนรู้เชิงลึก โครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชัน

* ผู้ประสานงานหลัก; อีเมล: nattavadeeho@nu.ac.th

Preliminary Classification of Gemstone Types on Mobile Application using Deep Learning

Nattavadee Hongboonmee^{1,*}, Anucha Thamditae²

^{1,2}Department of Computer Science and Information Technology,
Faculty of Science, Naresuan University

Received: 3 April 2023

Revised: 27 July 2023

Accepted: 2 October 2023

Abstract

A standard method for gemstone classification requires gemstone testing in the laboratory, which is a time-consuming and expensive process. Therefore, deep learning technologies are applied in image classification to facilitate the identification process. In this research work, the development of a gemstone classification model using deep learning and a mobile application for automatic gemstone classification is proposed so that untrained people can classify the gemstones. The process consisted of creating a convolutional neural network that can classify six gemstone types with similar characteristics (ruby, garnet, citrine, yellow sapphire, peridot, and green sapphire). Evaluation of the model showed that MobileNetV1 had the best performance, with accuracy of 95.00% , precision of 95.00% , and recall of 95.10% , making it suitable for use. Then use the model to develop a user interface in the form of a mobile application. Apply the application performance evaluation method with classification accuracy to the test dataset. The evaluation results showed that the application can classify images of gemstones efficiently and user-friendly, with an average accuracy of 82.50. This demonstrated that the developed application can be used to examine and classify preliminary gemstone types.

Keywords: Gemstone Classification, Image Classification, Deep Learning, Convolutional Neural Network

* Corresponding Author; E-mail: nattavadeeho@nu.ac.th

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อัญมณี (Gemstone) เป็นที่นิยมอย่างมากทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ เนื่องจากมีความสวยงามหายากและคงทน ทำให้อัญมณีและเครื่องประดับเป็นสินค้าส่งออกที่มีมูลค่าการส่งออกในปี พ.ศ. 2565 อยู่ที่ 200,000 ล้านบาท ข้อมูลจาก Department of International Trade Promotion (2022) โดยส่งออกไปยังตลาดหลัก เช่น สหรัฐอเมริกา สวิตเซอร์แลนด์ สิงคโปร์และฮ่องกง ปัจจัยหลักที่ทำให้ประเทศไทยสามารถส่งออกอัญมณีได้เป็นจำนวนมาก เพราะมีหลายจังหวัดที่เป็นแหล่งใหญ่ของอัญมณีนานาชาติ เช่น กาญจนบุรี ตราด จันทบุรี และภูเก็ต อย่างไรก็ตามอัญมณีเกิดจากแร่ธาตุหลายตระกูลและมีหลากหลายสี บางชนิดมีลักษณะภายนอกใกล้เคียงคล้ายคลึงกันแต่ราคาแตกต่างกันมาก เม็ดหนึ่งราคาหลักร้อยส่วนอีกเม็ดอาจราคาหลักพัน ทำให้ผู้จำหน่ายอัญมณีบางรายใช้ช่องว่างดังกล่าวหลอกลวงผู้บริโภคที่ขาดความชำนาญและองค์ความรู้เกี่ยวกับอัญมณี ทำให้ผู้บริโภคสับสนและเกิดความผิดพลาดในการซื้ออัญมณี ผู้บริโภคจึงขาดความเชื่อมั่น ซึ่งกระทบต่อตลาดการค้าอัญมณี อีกทั้งยังส่งผลต่อสภาพเศรษฐกิจโดยรวมของประเทศอีกด้วย โดยปกติแล้วถ้าต้องการตรวจสอบชนิดอัญมณีและออกไปรับรองด้วยวิธีการมาตรฐานจำเป็นต้องส่งตรวจในห้องปฏิบัติการตรวจสอบอัญมณี (Gem and Jewelry Institute of Thailand, 2022) ซึ่งไม่สะดวกสำหรับประชาชนทั่วไปและผู้ขายอัญมณีในการนำมาใช้ในชีวิตประจำวัน เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายที่สูงและมีระยะเวลาดำเนินการ โดยสภาพความเป็นจริงในปัจจุบัน การตรวจสอบจำแนกชนิดอัญมณีผู้เชี่ยวชาญจะพิจารณาจากคุณลักษณะของอัญมณี ประกอบไปด้วย สีของอัญมณี รูปทรง ความวาวและความโปร่งแสงของอัญมณี ซึ่งการตรวจสอบชนิดอัญมณีจำเป็นต้องอาศัยทักษะและประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญ จึงเป็นเรื่องยากสำหรับประชาชนทั่วไปที่ไม่มีองค์ความรู้ในการตรวจสอบจำแนกชนิดอัญมณี ถ้ามีเครื่องมือที่ใช้งานง่ายสะดวกและสามารถช่วยจำแนกชนิดอัญมณีได้ก็จะช่วยให้ผู้ใช้ทั่วไปสามารถตรวจสอบจำแนกชนิดอัญมณีได้ด้วยตนเองเบื้องต้นได้

ในปัจจุบันโทรศัพท์สมาร์ทโฟนได้มีบทบาทมากขึ้นในชีวิตประจำวัน มีประสิทธิภาพที่จะประมวลผลได้ใกล้เคียงกับคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก ในขณะเดียวกันเทคโนโลยีการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) ก็กำลังได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายและมีบทบาทสำคัญในการจำแนกชนิดหรือประเภทของวัตถุ โดยการใช้วิธีโครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชัน (Convolutional Neural Network: CNN) ในการจำแนกรูปภาพ โดยเฉพาะโครงสร้างแบบโมบายเน็ต (MobileNet) ซึ่งออกแบบมาสำหรับงานที่มีทรัพยากรจำกัด แบบจำลองมีขนาดเล็กใช้พลังงานในการประมวลผลไม่มาก สามารถนำไปประยุกต์ใช้ผ่านสมาร์ทโฟนได้ อีกทั้งโทรศัพท์สมาร์ทโฟนยังมีกล้องถ่ายรูปในตัว สามารถนำไปใช้งานร่วมกับเทคโนโลยีที่กล่าวไว้ข้างต้นได้อีกด้วย

ดังนั้น จากที่กล่าวมาข้างต้นคณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะนำเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกมาประยุกต์ใช้ร่วมกับการพัฒนาโมบายแอปพลิเคชันสำหรับจำแนกชนิดอัญมณี โดยการสร้างแบบจำลองวิเคราะห์จำแนกภาพชนิดอัญมณีและนำแบบจำลองที่ได้มาพัฒนาเป็นโมบายแอปพลิเคชันบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ เพื่อช่วยให้ผู้ใช้สามารถวิเคราะห์จำแนกอัญมณีได้อย่างสะดวกรวดเร็วและแม่นยำ ลดขั้นตอนอันยุ่งยากและลดปัญหาความผิดพลาดในการเลือกชนิดอัญมณีพร้อมกับเพิ่มความเชื่อมั่นในการเลือกชนิดอัญมณีของผู้บริโภค นอกจากนี้แอปพลิเคชันที่นำเสนอจะมีประโยชน์กับผู้ที่สนใจศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับชนิดอัญมณี สามารถนำไปใช้เป็นเครื่องมือช่วยตรวจสอบชนิดอัญมณีเบื้องต้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อสร้างแบบจำลองจำแนกชนิดอัญมณีด้วยแบบจำลองการเรียนรู้เชิงลึกโมบายเน็ตและประเมินประสิทธิภาพแบบจำลอง
2. เพื่อพัฒนาโมบายแอปพลิเคชันสำหรับจำแนกชนิดอัญมณีจากภาพถ่ายผ่านสมาร์ตโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์และประเมินประสิทธิภาพความแม่นยำของโมบายแอปพลิเคชัน

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. อัญมณี

อัญมณีเรียกวารัตนชาติหรือเพชรพลอยก็ได้ ปัจจุบันทั้งสามคำนี้ใช้สื่อความหมายเดียวกันต่างกันเล็กน้อย ตรงที่อัญมณีและรัตนชาติมักจะใช้เรียกเป็นทางการ ส่วนเพชรพลอยเป็นคำเรียกทั่วไป ความหมายโดยรวมแล้วอัญมณีหรือรัตนชาติ คือ วัตถุธรรมชาติซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นสารอนินทรีย์ (Gem and Jewelry Institute of Thailand, 2022) ได้แก่ แร่ชนิดต่าง ๆ หรือเป็นสารอินทรีย์บางชนิด เช่น ไข่มุก อำพัน ฯลฯ วัตถุเหล่านี้สามารถนำมาตกแต่ง ขัดมัน เจียรไน แกะสลัก ใช้เป็นเครื่องประดับได้มีคุณสมบัติที่สำคัญ คือ ความสวยงาม ความคงทนถาวรและความหายาก อัญมณีที่สามารถพบได้ในประเทศไทย และมีราคาสูงเมื่อเทียบกับอัญมณีชนิดอื่น ๆ ได้แก่ เพชร ทับทิม โกเมน บุษราคัม ไข่มุกและเพริidot เป็นต้น

2. การเรียนรู้เชิงลึก

การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) เป็นเทคนิคในกลุ่มโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network: ANN) ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของการเรียนรู้แบบอัตโนมัติโดยเลียนแบบการทำงานของสมองมนุษย์ (Imania et al., 2021) โดยนำระบบโครงข่ายประสาทเทียมมาซ้อนกันหลายชั้น (Layer) และทำการเรียนรู้ข้อมูลตัวอย่างซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะถูกนำไปใช้ในการตรวจจับรูปแบบแพทเทิร์น การจัดหมวดหมู่ข้อมูล หรือการรู้จำภาพ การเรียนรู้เชิงลึกสามารถประมวลผลที่มีความซับซ้อนมากได้และให้ความแม่นยำสูง

3. โครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชัน

โครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชัน (Convolution Neural Network: CNN) เป็นอัลกอริทึมการเรียนรู้เชิงลึกที่นิยมนำมาใช้ในการวิเคราะห์ภาพและจดจำ จำแนกวัตถุโดยนำภาพมาแยกคุณลักษณะเพื่อที่จะดูว่าของสิ่งนั้นคืออะไร ผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องกำหนดรูปแบบในการสอนให้กับแบบจำลอง เพียงแค่ทำการเตรียมข้อมูลภาพที่ต้องการใช้งานเอาไว้ แล้วนำภาพเหล่านั้นป้อนเข้ากระบวนการ CNN จะทำการเรียนรู้โดยอัตโนมัติ (Phromrit and Waijanya, 2021) และหากผู้ใช้ต้องการทำนายรูปภาพก็เพียงแค่ป้อนรูปภาพที่ต้องการทำนายเข้าไป CNN จะทำการเรียนรู้เพื่อเปรียบเทียบรูปภาพที่ต้องการทำนายกับข้อมูลภาพที่มีอยู่เพื่อแสดงผลลัพธ์และคุณลักษณะของแต่ละภาพที่มองเห็น

4. โมบายเน็ต

โมบายเน็ต (MobileNet) เป็นแบบจำลองแบบโครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชัน ที่ออกแบบโดยถูกกักให้แบบจำลองมีขนาดเล็กสำหรับอุปกรณ์ที่มีทรัพยากรจำกัด ประมวลผลได้เร็ว (Howard et al., 2017) ซึ่งเป็นแบบจำลองที่มีความแม่นยำพอประมาณ แต่การใช้ทรัพยากรน้อยกว่าสถาปัตยกรรมแบบอื่น จึงสามารถนำไปใช้งานกับสมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตได้

5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

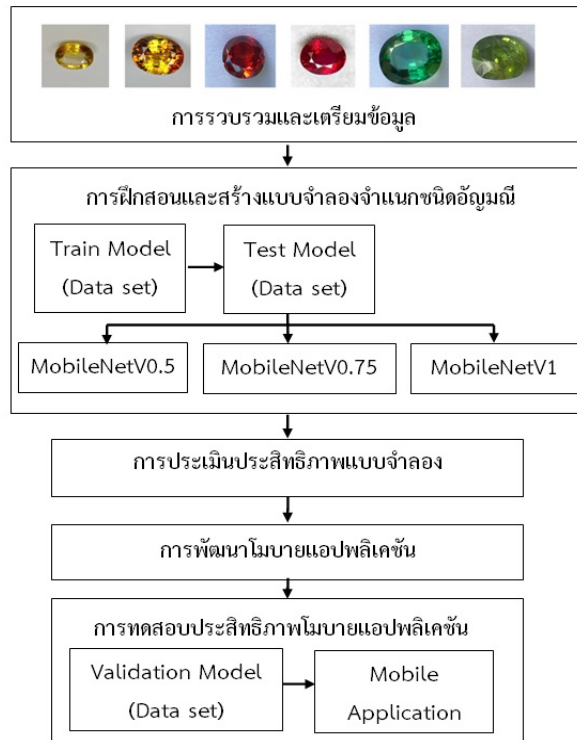
จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจำแนกภาพโดยใช้เทคโนโลยีการเรียนรู้เชิงลึก พบว่าในงานวิจัยของ Butpoy and Boonying (2020) ได้นำเสนอการจำแนกภาพพระเครื่องด้วยการเรียนรู้เชิงลึกโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชัน งานวิจัยนี้ทดลองสร้างชั้นคอนโวลูชันแบบหลายชั้นเพื่อหาสถาปัตยกรรมที่เหมาะสมสำหรับจำแนกภาพพระเครื่อง ผลที่ได้พบว่าสถาปัตยกรรมคอนโวลูชันแบบ 3 ชั้นให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดสามารถจำแนกภาพพระสมเด็จ พระนางพญา พระรอดและพระซุ้มกอถูกต้อง 80.00% พระผงจำแนกถูกต้อง 70.00% Phimpisan and Sriwiboon (2020) นำเสนอการจำแนกระดับความรุนแรงเบาหวานเข้าจอประสาทตา พบว่าเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกมีความแม่นยำมากกว่าเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง งานวิจัยของ Sae-Lim et al. (2019) ประยุกต์ใช้แบบจำลองโมบายเน็ตจำแนกโรคผิวหนังและ Abu-Jamie and Abu-Naser (2022) ประยุกต์ใช้แบบจำลองโมบายเน็ตจำแนกภาษามือ ซึ่งทั้งสองงานวิจัย พบว่าแบบจำลองโมบายเน็ตมีขนาดเล็กและมีประสิทธิภาพในการจำแนกภาพที่แม่นยำ Xuan et al. (2018) ศึกษาการสร้างอุปกรณ์สำหรับจำแนกประเภทไข่มุกโดยประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชัน ผลลัพธ์สามารถจำแนกไข่มุกได้ถูกต้อง 92.14% งานวิจัยนี้มีข้อจำกัดที่อุปกรณ์ที่สร้างขึ้นมีขนาดใหญ่เหมาะกับการใช้งานในภาคอุตสาหกรรมยังไม่สามารถนำไปใช้กับผู้ใช้ทั่วไปได้ และงานวิจัยของ Tropea et al. (2022) นำเสนอการจำแนกประเภทของหินโดยใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชัน ได้ค่าความแม่นยำ 99.00% แต่งานวิจัยนี้ยังไม่ได้พัฒนาแบบจำลองให้อยู่ในรูปแบบแอปพลิเคชันสำหรับผู้ใช้ทั่วไป นอกจากนี้ จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจำแนกชนิดอัญมณีมีการนำเทคนิคต่าง ๆ มาใช้ในการจำแนกชนิดอัญมณี เช่น งานวิจัยของ Chow and Reyes-Aldasoro (2022) ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องมาจำแนกชนิดอัญมณี ซึ่งผลลัพธ์สามารถจำแนกภาพได้แม่นยำ 69.40% ข้อจำกัดของงานวิจัยนี้คือ แบบจำลองจากการเรียนรู้ของเครื่องมีความแม่นยำค่อนข้างน้อย

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นว่าการเรียนรู้เชิงลึก โดยเฉพาะโครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชันสามารถนำมาช่วยจำแนกภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีความแม่นยำสูง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการนำเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกภายใต้โครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชันมาประยุกต์ใช้สำหรับการจำแนกภาพอัญมณีแบบอัตโนมัติผ่านแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

แบบแผนการวิจัย

งานวิจัยนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้การเรียนรู้เชิงลึกในการจำแนกภาพอัญมณี ซึ่งมีพื้นฐานอยู่บนโครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชัน เพื่อให้สามารถจำแนกภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพและสามารถนำแบบจำลองไปใช้งานบนสมาร์ตโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ จึงได้ออกแบบกรอบแนวคิดในการวิจัยประกอบด้วย 5 ขั้นตอน แสดงดังภาพที่ 1 ซึ่งแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

การรวบรวมและเตรียมข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาได้มาจากการปรึกษาผู้เชี่ยวชาญด้านอัญมณี ทำให้คัดเลือกอัญมณีที่มีลักษณะทางกายภาพใกล้เคียงกันและมีจำนวนชนิดผิดพลาดมาศึกษาจำนวน 6 ชนิด ได้แก่ ทับทิม (Ruby) โกเมน (Garnet) ชีทริน (Citrine) บุษราคัม (Yellow Sapphire) เพริidot (Peridot) และเขียวส่อง (Green Sapphire) รูปภาพที่นำมาทดลองได้มาจากการถ่ายภาพอัญมณีจากร้านอัญมณี อำเภอเมือง จังหวัดตาก กำหนดดังนี้ เก็บข้อมูลรูปภาพด้วยกล้องถ่ายรูปบนโทรศัพท์สมาร์ทโฟน การถ่ายภาพใช้ระบบอัตโนมัติ (Auto Mode) พื้นหลังเป็นกระดาษขาว รูปภาพเป็นภาพสีอาร์จีบี (RGB) ชนิดเจเป็ก (Jpeg) ขนาดของรูปภาพกำหนดค่าความละเอียดภาพให้เท่ากันทั้งหมด คือ 224x224 พิกเซล จากนั้นได้นำภาพไปให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบอีกครั้ง เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของภาพให้ตรงกับชนิดอัญมณี จำนวนรูปภาพที่ผ่านการตรวจสอบมีจำนวน 720 ภาพ ดังภาพที่ 2 จากนั้นนำข้อมูลภาพมาแบ่งด้วยวิธีการสุ่มเพื่อใช้เป็นชุดข้อมูลฝึกสอน (Train Data Set) ชุดข้อมูลทดสอบ (Test Data Set) และชุดข้อมูลตรวจสอบแอปพลิเคชัน (Validate Data Set) จำนวน 480, 120 และ 120 ภาพ ตามลำดับ ดังตารางที่ 1



ภาพที่ 2 ตัวอย่างข้อมูลภาพอัญมณีแต่ละชนิด

ปัญญา เชี่ยวชาญ เบิกบาน คุณธรรม

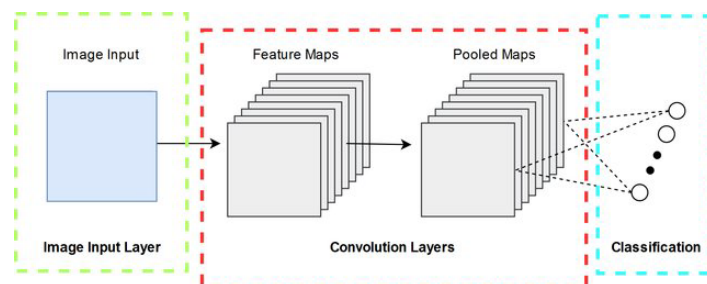
Intellectual, Professional, Cheerfulness, Morality

ตารางที่ 1 จำนวนข้อมูลภาพอัญมณีแต่ละชนิด

ชนิดอัญมณี	ข้อมูลฝึกสอน (ภาพ)	ข้อมูลทดสอบ (ภาพ)	ข้อมูลตรวจสอบ (ภาพ)
ทับทิม (Ruby)	80	20	20
โกเมน (Garnet)	80	20	20
ซิทริน (Citrine)	80	20	20
บุษราคัม (Yellow Sapphire)	80	20	20
เพริโดต (Peridot)	80	20	20
เขียวส่อง (Green Sapphire)	80	20	20
รวม	480	120	120

การฝึกสอนและสร้างแบบจำลองจำแนกชนิดอัญมณี

การฝึกสอนแบบจำลองการเรียนรู้เชิงลึก เครื่องมือสำหรับการดำเนินงาน ได้แก่ (1) ไลบรารีเทนเซอร์โฟล ซึ่งเป็นไลบรารีสำหรับงานด้านการเรียนรู้เชิงลึกมีความสามารถในการรับข้อมูลและทำการประมวลผลแบบอัตโนมัติ และ (2) ภาษาไพทอน ซึ่งมีการเรียกใช้ไลบรารีเทนเซอร์โฟลสำหรับฝึกสอนและสร้างแบบจำลอง งานวิจัยนี้เลือกศึกษาเปรียบเทียบโครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชัน (CNN) จำนวน 3 แบบจำลอง ได้แก่ แบบจำลอง MobileNetV0.5 MobileNetV0.75 และ MobileNetV1 ซึ่งมีจุดเด่นที่ไฟล์แบบจำลองมีขนาดเล็ก ให้ค่าความแม่นยำสูงและประมวลผลได้เร็วเมื่อนำไปใช้กับสมาร์ทโฟน (Saraubon, 2022) ความแตกต่างของแบบจำลองโมบายเน็ตแต่ละเวอร์ชันคือแบบจำลองจะมีโครงสร้างชั้นคอนโวลูชันที่ต่างกัน โดยแบบจำลอง MobileNetV0.5 มีโครงสร้างชั้นคอนโวลูชันน้อยกว่าแบบจำลอง MobileNetV0.75 และแบบจำลอง MobileNetV1 มีโครงสร้างชั้นคอนโวลูชันมากกว่าแบบจำลอง MobileNetV0.75



ภาพที่ 3 สถาปัตยกรรมการเรียนรู้เชิงลึกของ CNN (Abidalkareem et al., 2020)

กระบวนการเรียนรู้เชิงลึกด้วยโครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชันที่นำมาใช้สร้างแบบจำลองประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ดังแสดงในภาพที่ 3 ได้แก่ (1) การรับข้อมูลภาพ (Image Input Layer) เพื่อเข้าสู่กระบวนการเรียนรู้ เช่น ชุดข้อมูลภาพอัญมณี (2) การประมวลผลเป็นชั้น ๆ (Convolution Layers) เป็นขั้นตอนที่ประกอบด้วยโครงสร้างแบบคอนโวลูชัน ฟิเจอร์แมพและพูลแมพ โดยแบบจำลองจะเรียนรู้จากข้อมูลฝึกสอนแล้วตรวจหาคุณลักษณะเด่นของ

ภาพ (Feature Extraction) เพื่อจำแนกรูปภาพในขั้นตอนต่อไป (3) การจำแนกรูปภาพ (Classification) เป็นการแสดงผลลัพธ์การจำแนกภาพ เช่น ภาพอัญมณีชนิดต่าง ๆ

การประเมินประสิทธิภาพแบบจำลอง

การประเมินประสิทธิภาพความแม่นยำการจำแนกกลุ่ม (Classification) ของแบบจำลอง ใช้การวัดประสิทธิภาพด้วยค่าความถูกต้อง (Accuracy) ค่าความแม่นยำ (Precision) และค่าความระลึก (Recall) โดยคิดเป็นค่าร้อยละ (%) ใช้สูตรการคำนวณดังสมการที่ 1-3 (Saraubon, 2022)

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

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

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

โดยที่ True Positive (TP) คือ จำนวนข้อมูลที่ถูกจำแนกออกมาอย่างถูกต้อง True Negative (TN) คือ จำนวนข้อมูลที่ผิดพลาดที่ถูกจำแนกออกมา False Positive (FP) คือ จำนวนข้อมูลที่ต้องแต่ไม่ถูกจำแนกออกมา False Negative (FN) คือ จำนวนข้อมูลที่ผิดพลาดแต่ไม่ถูกจำแนกออกมา

สำหรับแบบจำลองแบบหลายคลาส (Multi-Class) สามารถใช้ค่า Confusion Matrix ซึ่งเป็นการวัดผลตามลักษณะจริงที่ได้ถูกจำแนกที่ถูกต้องไว้แล้วและสรุปผลการจำแนกด้วยเทคนิคหรืออัลกอริทึมต่าง ๆ ที่นำมาใช้งานเข้ามาช่วยในการคำนวณประสิทธิภาพความแม่นยำของแต่ละคลาส ตาราง Confusion Matrix แสดงได้ดังภาพที่ 4

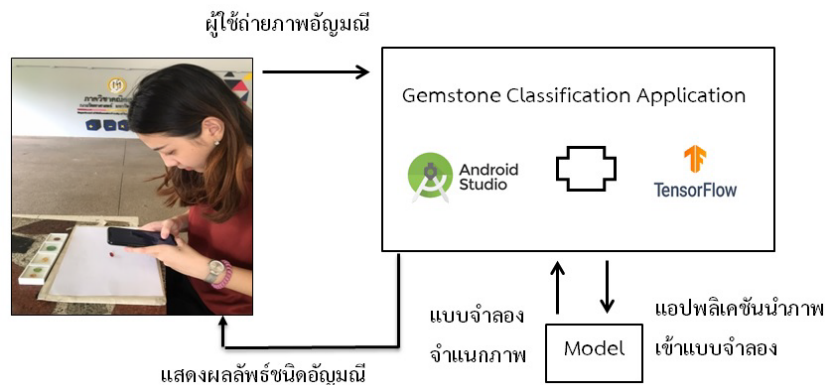
	Actually Positive	Actually Negative
Predicted Positive	TP	FP
Predicted Negative	FN	TN

ภาพที่ 4 ค่า Confusion matrix สำหรับการวัดประสิทธิภาพแบบจำลองแบบหลายคลาส

การพัฒนาโมบายแอปพลิเคชัน

เมื่อได้แบบจำลองที่เหมาะสมแล้ว จึงได้นำแบบจำลองไปพัฒนาระบบในรูปแบบแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ เครื่องมือ ได้แก่ โปรแกรมแอนดรอยด์สตูดิโอร่วมกับไลบรารีของเทนเซอร์โฟลในการพัฒนาโปรแกรมและออกแบบหน้าจอการรับและแสดงผล ขั้นตอนการทำงานของโมบายแอปพลิเคชันแสดงดังภาพที่ 5 รายละเอียดดังนี้ เริ่มจากการถ่ายภาพอัญมณีจากกล้องสมาร์ทโฟน จากนั้นแอปพลิเคชันนำข้อมูลภาพที่ได้เข้าสู่กระบวนการประมวลผลและวิเคราะห์จำแนกภาพอัญมณีด้วยแบบจำลองการเรียนรู้เชิงลึก

จากนั้นแอปพลิเคชันแสดงผลลัพธ์ระบุชนิดอัญมณีพร้อมแสดงค่าความมั่นใจ (Confidence Score) บนหน้าจอสมาร์ทโฟน



ภาพที่ 5 ขั้นตอนการตรวจสอบชนิดอัญมณีของโมบายแอปพลิเคชัน

การทดสอบประสิทธิภาพโมบายแอปพลิเคชัน

การทดสอบประสิทธิภาพของโมบายแอปพลิเคชัน ได้มีการนำระบบติดตั้งในรูปแบบแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน โดยทดสอบความแม่นยำของแอปพลิเคชันในการจำแนกภาพอัญมณีด้วยชุดข้อมูลตรวจสอบ (Validate Data Set) ทำการสรุปผลประเมินประสิทธิภาพของแอปพลิเคชันด้วยการวัดค่าร้อยละความถูกต้องในการจำแนกกลุ่ม

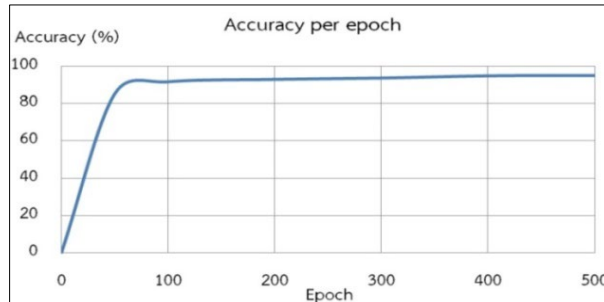
ผลการวิจัย

1. ผลลัพธ์การฝึกสอนและทดสอบประสิทธิภาพแบบจำลอง

การฝึกสอนแบบจำลองการเรียนรู้เชิงลึกเพื่อจำแนกชนิดอัญมณี ด้วยชุดข้อมูลฝึกสอนและทดสอบจำนวน 600 ภาพ ศึกษาเปรียบเทียบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชันสำหรับจำแนกภาพจำนวน 3 แบบจำลอง ได้แก่ แบบจำลอง MobileNetV0.5 MobileNetV0.75 และ MobileNetV1 กำหนดพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง คือ ขนาดรูปภาพนำเข้าเท่ากับ 224x224 พิกเซล อัตราการเรียนรู้ (Learning Rate) 0.001 และรอบการฝึกสอน (Epoch) จำนวน 500 รอบ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 2 และภาพที่ 6

ตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลอง

แบบจำลอง	ค่าความถูกต้อง (%)	ค่าความแม่นยำ (%)	ค่าความระลึก (%)
MobileNetV1	95.00	95.00	95.10
MobileNetV0.75	94.10	94.15	94.20
MobileNetV0.5	93.33	93.25	93.33

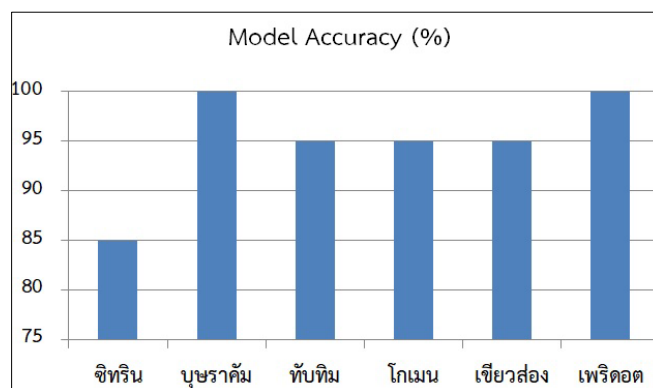


ภาพที่ 6 กราฟผลลัพธ์ค่าความถูกต้องระหว่างการฝึกสอนชุดข้อมูลของแบบจำลอง MobileNetV1

จากตารางที่ 2 พบว่าผลลัพธ์จากการฝึกสอนแบบจำลอง MobileNetV1 ให้ประสิทธิภาพในการจำแนกมากที่สุด โดยมีค่าความถูกต้อง 95.00% ค่าความแม่นยำ 95.00% และค่าความระลึก 95.10% และจากภาพที่ 6 แสดงค่าความถูกต้องในการฝึกสอนชุดข้อมูลของแบบจำลอง MobileNetV1 จะเห็นว่าการเรียนรู้ในแต่ละรอบ (Epoch) มีค่าความถูกต้องที่แตกต่างกัน โดยผลการทดลองสร้างแบบจำลองได้ค่าความถูกต้องสูงสุดที่ 500 รอบ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้แบบจำลอง MobileNetV1 ที่รอบการเรียนรู้ 500 รอบ ไปประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองต่อการทดลองให้จำแนกภาพอัญมณีในแต่ละคลาส โดยใช้ตัวชี้วัด คือ ค่า Confusion Matrix ผลการทดลองเป็นไปดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการจำแนกภาพอัญมณีในแต่ละคลาสของแบบจำลอง MobileNetV1

Class	จิวรีน	บุษราคัม	ทับทิม	โกเมน	เขียวส่อง	เพร็ดอต	Accuracy (%)
จิวรีน	17	3	0	0	0	0	85.00
บุษราคัม	0	20	0	0	0	0	100.00
ทับทิม	0	0	19	1	0	0	95.00
โกเมน	0	0	1	19	0	0	95.00
เขียวส่อง	0	0	0	0	19	1	95.00
เพร็ดอต	0	0	0	0	0	20	100.00

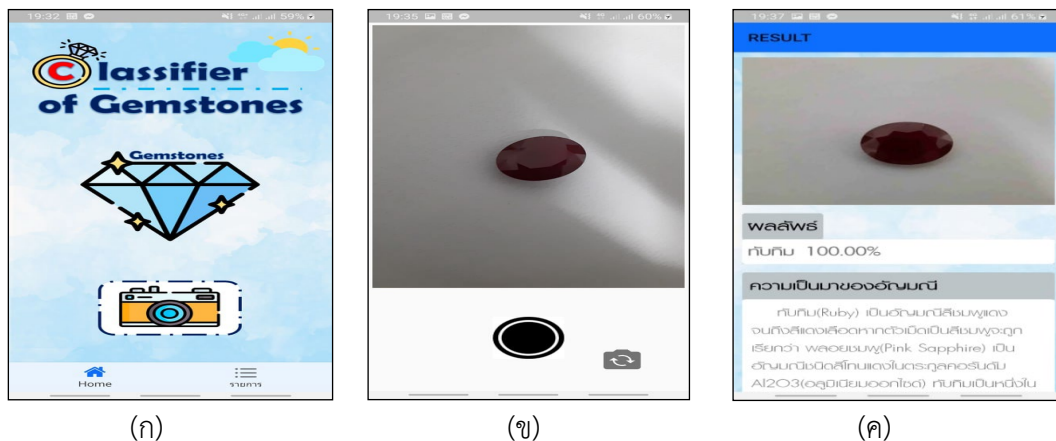


ภาพที่ 7 กราฟแสดงค่าความถูกต้องการจำแนกอัญมณีในแต่ละคลาสของแบบจำลอง MobileNetV1

จากตารางที่ 3 และภาพที่ 7 แสดงผลการประเมินความถูกต้องในแต่ละคลาสของแบบจำลองการเรียนรู้เชิงลึก MobileNetV1 กับชุดข้อมูลทดสอบ พบว่าภาพอัญมณีบุษราคัม และเพริidotจำแนกถูกต้องจริงทั้ง 20 ภาพ จาก 20 ภาพทดสอบ ได้ค่าความถูกต้องเท่ากับ 100.00% ภาพอัญมณีทับทิม โกเมน เขียวส่องจำแนกถูกต้องจริง 19 ภาพ จาก 20 ภาพทดสอบ ค่าความถูกต้องได้เท่ากับ 95.00% ส่วนชิพทรินจำแนกถูกต้องเพียง 17 ภาพ จาก 20 ภาพทดสอบ ได้ค่าความถูกต้อง 85.00% เมื่อพิจารณาในภาพรวม พบว่าค่าเฉลี่ยความถูกต้องอยู่ที่ 95.00% หมายความว่าแบบจำลองจากการเรียนรู้เชิงลึกสามารถจำแนกภาพได้ดีแต่ยังมีความผิดพลาด เนื่องจากภาพอัญมณีบางชนิดมีส่วนที่คล้ายกันทำให้มีความผิดพลาดในการทำนาย ดังนั้น สรุปได้ว่าแบบจำลอง MobileNetV1 เป็นแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพในการจำแนกภาพได้ดี มีความเหมาะสมสามารถนำไปประยุกต์ใช้พัฒนาโมบายแอปพลิเคชันช่วยวิเคราะห์ชนิดอัญมณีแบบอัตโนมัติต่อไป

2. ผลการพัฒนาโมบายแอปพลิเคชันจำแนกชนิดอัญมณี

จากขั้นตอนที่แล้ว คณะผู้วิจัยได้ทำการเลือกแบบจำลองที่ได้จากการฝึกสอนแบบจำลองด้วย MobileNetV1 เป็นแบบจำลองที่ใช้จริงในโมบายแอปพลิเคชัน เนื่องจากมีประสิทธิภาพความถูกต้องสูงสุดและขนาดของแบบจำลองที่เล็กเหมาะสมสำหรับการพัฒนาโมบายแอปพลิเคชัน จากนั้นจึงเริ่มพัฒนาแอปพลิเคชันโดยใช้โปรแกรมแอนดรอยด์สตูดิโอร่วมกับไลบรารีเทนเซอร์ฟลો โดยภาพรวมของการทำงานของแอปพลิเคชัน มีดังนี้ หน้าจอหลักแสดงดังภาพที่ 8 (ก) ผู้ใช้งานจะต้องใช้กล้องสมาร์ทโฟนถ่ายภาพอัญมณี แสดงดังภาพที่ 8 (ข) แอปพลิเคชันจะประมวลผลภาพโดยเรียกใช้แบบจำลองการเรียนรู้เชิงลึกเพื่อจำแนกภาพอัญมณีและแสดงผลลัพธ์ระบุชนิดอัญมณีกลับไปให้ผู้ใช้งาน ดังแสดงในภาพที่ 8 (ค) จากผลการพัฒนาโมบายแอปพลิเคชัน พบว่าแอปพลิเคชันสามารถจำแนกและระบุชนิดอัญมณีแต่ละภาพได้ ซึ่งจะช่วยให้ความสะดวกรวดเร็วให้ผู้ใช้งานสามารถถ่ายภาพและตรวจสอบชนิดอัญมณีด้วยตนเองเบื้องต้น



ภาพที่ 8 หน้าโมบายแอปพลิเคชัน (ก) หน้าจอหลัก (ข) หน้าจอถ่ายภาพ และ (ค) หน้าจอผลลัพธ์

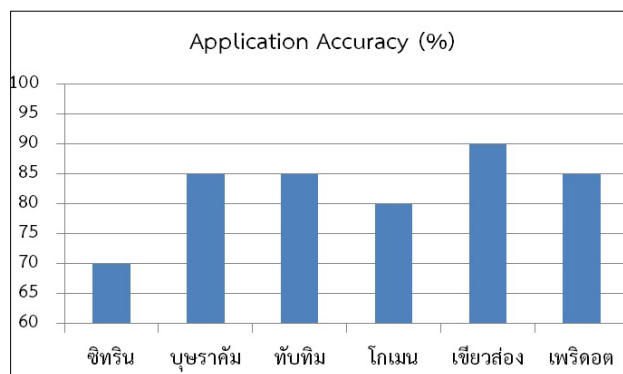
3. ผลการทดสอบประสิทธิภาพโมบายแอปพลิเคชันจำแนกชนิดอัญมณี

การทดสอบประสิทธิภาพของโมบายแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้น ในการทดลองนี้เป็นการทดสอบหาความถูกต้องของการทำนายภาพอัญมณีของแอปพลิเคชันผ่านกล้องสมาร์ทโฟน ใช้ชุดข้อมูลทดสอบ (Validate Data Set) จำนวน 120 ภาพ แบ่งเป็นภาพอัญมณีชนิดละ 20 ภาพ สมาร์ทโฟนรุ่นที่ใช้ทดสอบคือ Samsung Galaxy A31 ระบบปฏิบัติการ

แอนดรอยด์เวอร์ชัน 10 การถ่ายภาพใช้ระบบอัตโนมัติ (Auto Mode) ประเมินผลลัพธ์การถ่ายนายเปรียบเทียบกับผลลัพธ์จริง ใช้ตัวชี้วัดด้วยค่า Confusion Matrix แสดงผลลัพธ์การทดลองดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการจำแนกภาพอัญมณีในแต่ละคลาสของโมบายแอปพลิเคชัน

Class	ชิทริน	บุษราคัม	ทับทิม	โกเมน	เขียวส่อง	เพริidot	Accuracy (%)
ชิทริน	14	5	0	1	0	0	70.00
บุษราคัม	3	17	0	0	0	0	85.00
ทับทิม	0	0	17	3	0	0	85.00
โกเมน	0	0	4	16	0	0	80.00
เขียวส่อง	0	0	0	0	18	2	90.00
เพริidot	0	0	0	0	3	17	85.00



ภาพที่ 9 กราฟแสดงค่าความถูกต้องการจำแนกชนิดอัญมณีแต่ละชนิดของโมบายแอปพลิเคชัน

จากตารางที่ 4 ผลการประเมินประสิทธิภาพการจำแนกชนิดอัญมณีของโมบายแอปพลิเคชันพบว่า โมบายแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นโดยประยุกต์ใช้การเรียนรู้เชิงลึกมีประสิทธิภาพสูงสำหรับการประมวลผลภาพเพื่อจำแนกชนิดอัญมณี ผลลัพธ์การทดสอบค่าความถูกต้องเฉลี่ย (Accuracy) ของการจำแนกภาพอัญมณีทั้ง 6 ชนิดเท่ากับ 82.50% และจากภาพที่ 9 อัญมณีที่แอปพลิเคชันสามารถจำแนกได้ถูกต้องแม่นยำมากที่สุด ได้แก่ เขียวส่อง ค่าความถูกต้อง 90.00% รองลงมา ได้แก่ บุษราคัม ทับทิม เพริidot และโกเมน ได้ค่าความถูกต้อง 85.00% และ 80.00% ตามลำดับ แต่ผลการจำแนกภาพบางส่วนยังมีความคลาดเคลื่อน โดยเฉพาะภาพชิทริน เนื่องจากภาพชิทรินมีลักษณะรูปทรงและสีสันทัดกับภาพบุษราคัม จึงทำให้มีบางภาพชิทริน ถูกจำแนกผิดเป็นภาพบุษราคัม จึงทำให้ได้ค่าความถูกต้อง 70.00% จากผลลัพธ์ดังกล่าวสรุปได้ว่า แอปพลิเคชันการจำแนกชนิดอัญมณีที่สร้างขึ้นโดยใช้วิธีการเรียนรู้เชิงลึก มีความสามารถในการจำแนกชนิดอัญมณีได้อย่างมีประสิทธิภาพ

อภิปรายผล

การพัฒนาแบบจำลองการเรียนรู้เชิงลึกสำหรับจำแนกชนิดอัญมณี พบว่าแบบจำลองการเรียนรู้เชิงลึก MobileNetV1 สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ได้ค่าความถูกต้อง 95.00% ค่าความแม่นยำ 95.00%

และค่าความระลึก 95.10% แสดงถึงประสิทธิภาพในการสร้างแบบจำลองเพื่อจำแนกอารมณ์ด้วยการเรียนรู้เชิงลึก สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sae-Lim et al. (2019) และ Haritha et al. (2020) ที่แสดงให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้ การเรียนรู้เชิงลึกมีประสิทธิภาพในการจำแนกข้อมูลประเภทรูปภาพ ซึ่งสามารถสกัดคุณลักษณะเด่นจากรูปภาพได้ อย่างมีประสิทธิภาพ

ผลการทดสอบประสิทธิภาพแอปพลิเคชันเมื่อติดตั้งลงสมาร์ตโฟน พบว่า แอปพลิเคชันสามารถจำแนกและ ระบุชนิดอารมณ์ทั้ง 6 ชนิดได้อย่างแม่นยำมีค่าความถูกต้องเฉลี่ยเท่ากับ 82.50% ซึ่งมีประสิทธิภาพความแม่นยำอยู่ ในระดับดี (ตารางที่ 4) อารมณ์ที่แอปพลิเคชันสามารถจำแนกได้ถูกต้องมากที่สุด ได้แก่ เสียใจ ส่วนอารมณ์ที่ จำแนกได้ถูกต้องน้อยที่สุด ได้แก่ ชีตริ ซึ่งการจำแนกที่ผิดพลาดเนื่องจาก ภาพอารมณ์ชีตริมีลักษณะของสีเป็น สีเหลืองและรูปทรงเหลี่ยมคล้ายกับลักษณะสีและรูปทรงของอารมณ์บุรุษาคัม จึงทำให้มีบางภาพของอารมณ์ชีตริ นถูกจำแนกเป็นอารมณ์บุรุษาคัม ค่าความถูกต้องจึงต่ำกว่าภาพอารมณ์ชนิดอื่น ๆ ในทางตรงข้าม อารมณ์เสียใจมี ลักษณะที่แตกต่างจากอารมณ์อื่น ๆ อย่างชัดเจน จึงทำให้แอปพลิเคชันสามารถจำแนกลักษณะของเสียใจได้อย่าง ถูกต้องแม่นยำมากกว่า ซึ่งจากประสิทธิภาพการจำแนกจะพบว่าชุดข้อมูลฝึกสอนมีความสำคัญต่อการเรียนรู้ลักษณะ เด่นในการจำแนกภาพของแบบจำลองการเรียนรู้เชิงลึก เช่น ลักษณะของสี รูปทรง และความยาวของอารมณ์แต่ละ ชนิด สอดคล้องกับงานวิจัย (Butploy and Boonying, 2020) ซึ่งพบว่าแบบจำลองการเรียนรู้เชิงลึกจะจำแนกภาพ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ถ้าเพิ่มการจำแนกรายละเอียดของภาพแต่ละชนิดให้มากขึ้น

นอกจากนี้ จากการนำแอปพลิเคชันติดตั้งในสมาร์ตโฟนจริง พบข้อสังเกต คือ ผลการทดลองให้ค่าความถูกต้อง การจำแนกลดลงเมื่อติดตั้งแบบจำลองในแอปพลิเคชัน ซึ่งจากการวิเคราะห์ผลการทดลองพบว่า แสงสว่าง ฉากหลัง ของภาพ ความละเอียดของกล้องสมาร์ตโฟน และระยะทางการถ่ายภาพมีผลต่อความถูกต้องในการจำแนกภาพ กรณี ที่ภาพจากกล้องสมาร์ตโฟนมีแสงสว่างมากเกินไปหรือแสงสว่างน้อยเกินไป ภาพถ่ายในลักษณะมุมกว้าง และคุณภาพ ของภาพที่ถ่ายจากกล้องสมาร์ตโฟนมีความคมชัดน้อยจะส่งผลให้การวิเคราะห์ภาพมีความคลาดเคลื่อนสูง สอดคล้อง กับงานวิจัยของ Petagon and Pantho (2020) และ Promrangka et al. (2022) ซึ่งพบข้อสังเกตเดียวกันว่าการทดสอบ ระบบขณะที่มีแสงสว่างมากหรือเกิดการสะท้อนแสง และระยะทางการถ่ายภาพที่มากเกินไปจะทำให้การวิเคราะห์ จำแนกภาพมีความคลาดเคลื่อนได้

ข้อเสนอแนะ

จากปัญหาที่พบในการศึกษานี้ พบว่าแนวทางการพัฒนาในอนาคตควรต้องพัฒนาแบบจำลองและระบบให้ สามารถวิเคราะห์และจำแนกชนิดอารมณ์ให้ถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น โดยมีข้อเสนอแนะดังนี้

1. เพิ่มจำนวนของชุดข้อมูลที่นำมาใช้เป็นชุดข้อมูลฝึกสอนให้มีความหลากหลาย เพื่อสร้างแบบจำลอง การเรียนรู้เชิงลึกที่ฉลาดในการจำแนกภาพอย่างมีประสิทธิภาพและความแม่นยำเพิ่มมากขึ้น
2. ปรับปรุงคุณภาพและความละเอียดของข้อมูลภาพถ่ายที่นำมาใช้ในงานวิจัย ให้มีความชัดเจนที่มาก เพียงพอจะสามารถช่วยแก้ปัญหาที่กล่าวไว้ข้างต้นได้
3. แอปพลิเคชันจำแนกชนิดอารมณ์ที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการตรวจสอบและวิเคราะห์ ชนิดอารมณ์เบื้องต้นผ่านสมาร์ตโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ ทั้งนี้เพื่อเพิ่มความสะดวกให้กับผู้ใช้สามารถจำแนก ชนิดอารมณ์ได้ด้วยตนเอง ซึ่งทำให้ช่วยลดระยะเวลาและค่าใช้จ่ายในการตรวจสอบและวิเคราะห์ชนิดอารมณ์ได้

เอกสารอ้างอิง

- Abidalkareem, A., Abd, M., Ibrahim, A., Zhuang, H., Altaher, A., and Ali, A. (2020). Diabetic Retinopathy (DR) Severity Level Classification Using Multimodel Convolutional Neural Networks. *The Proceedings of 42nd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC)*, July 2020 at Montreal, Canada, 1404-1407.
- Abu-Jamie, T., and Abu-Naser, S. (2022). Classification of Sign-Language Using MobileNet-Deep Learning. *International Journal of Academic Information Systems Research*, 6(7), 29-40.
- Butploy, N., and Boonying, S. (2020). Classification of Benjapakee Buddha amulets image by deep learning. *RMUTSB Academic Journal*, 8(1), 100-111. (in Thai)
- Chow, B., and Reyes-Aldasoro, C. (2022). Automatic Gemstone Classification Using Computer Vision. *Minerals*, 12(1), 1-21.
- Department of International Trade Promotion. (2022). *Information on the export situation of gems and jewelry products*. [Online]. Retrieved December 1, 2022, from: https://www.ditp.go.th/ditp_web61/article_sub.php?cate=474&catetab=790&d=474 (in Thai)
- Gem and Jewelry Institute of Thailand. (2022). *Gem testing laboratory sards jewelry and precious metals*. [Online]. Retrieved Nov 12, 2022, from: <https://www.gitsdard.com> (in Thai)
- Haritha, D. Swaroop, N., and Mounika, M. (2020). Prediction of COVID-19 Cases Using CNN with X-rays. *The Proceedings of 5th International Conference on Computing, Communication and Security (ICCCS)*, October 2020 at Patna, India, 2020, 1-6.
- Howard, A., Zhu, M., Chen, B., Kalenichenko, D., Wang, W., and Weyand, T. (2017). *Mobilenets: Efficient convolutional neural networks for mobile vision applications*. [Online]. Retrieved Mar 10, 2023, from: <https://arxiv.org/abs/1704.04861>
- Imania, A., Yulinda, P., and Norfa, S. (2021). Implementation of Deep Learning Using Convolutional Neural Network Algorithm for Classification Rose Flower. *Journal of Physice: Conference Series*, 1842(1), 1-11.
- Petagon, R., and Pantho, O. (2020). Drone for Detecting Forest Fires using Deep Learning Technique. *Sripatum Review of Science and Technology*, 12(1), 65-78. (in Thai)
- Phimphisan, S., and Sriwiboon, N. (2020). Image Processing for Fundus Image Classification using Deep Learning. *Journal of Information Science and Technology*, 10(2), 19-25. (in Thai)
- Phromrit, N., and Waijanya, S. (2021). *Fundamental of Deep Learning in Practice*. Bangkok: IDC Premier Publishing. (in Thai)
- Promrangka, P., Wanthong, S., and Ratapoka, C. (2022). Mobile Application for Breeding Bird Classification using Deep Learning Technique. *Journal of Information Science and Technology*, 12(1), 37-46. (in Thai)

- Sae-Lim, W., Wettayaprasit, W., and Aiyarak, P. (2019). Convolutional Neural Networks Using MobileNet for Skin Lesion Classification. *The Proceedings of 16th International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering (JCSSE)*, 10-12 July 2019 at Chonburi, Thailand, 242-247.
- Saraubon, K. (2022). *Learn AI: Deep Learning with Python*. Bangkok: Intermedia Publishing. (in Thai)
- Tropea, M., Fedele, G., Luca, R., Miriello, D., and Rango, F. (2022). Automatic Stone Classification through a CNN-Based Approach. *Sensors*, 22(16), 1-19.
- Xuan, Q., Fang, B., Liu, Y., Wang, J., Zhang, J., Zheng, Y., and Bao, G. (2018). Automatic Perl Classification Machine Based on a Multistream Convolutional Neural Network. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 65(8), 6538-6547.

การพัฒนาระบบเฝ้าระวังช้างป่าบุกรุกในพื้นที่เกษตรกรรมเพื่อลดความขัดแย้งระหว่างคนและ ช้างด้วยเทคโนโลยีโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน

วสุพล เผือกนำผล^{1,*}, วิชาญ ทุมทอง², ปฎิคม ทองจริง³

^{1,2}สาขาวิชาเทคโนโลยีเครือข่ายคอมพิวเตอร์

³สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์

คณะวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ

มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

Received: 30 June 2022

Revised: 20 September 2023

Accepted: 24 November 2023

บทคัดย่อ

ความขัดแย้งระหว่างคนกับช้างเกิดขึ้นเนื่องจากการอพยพของช้างจากถิ่นที่อยู่อาศัย ไปยังพื้นที่เกษตรกรรมของมนุษย์เพื่อหาอาหารและแหล่งน้ำ งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอเทคโนโลยีโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันเพื่อลดความขัดแย้งระหว่างคนกับช้าง ด้วยกระบวนการทำงานที่เรียกว่า โยโลรุ่นที่ 5 เพื่อดำเนินการตรวจจับวัตถุแบบเรียลไทม์จากวิดีโอ โดยใช้อุปกรณ์สมองกลแบบฝังตัวเพื่อเฝ้าระวังช้างป่าบุกรุกในพื้นที่เกษตรกรรม ขั้นตอนแรกนักวิจัยได้รวบรวมชุดข้อมูลภาพช้างจากพื้นที่เฝ้าระวัง โดยใช้ประโยชน์จากเฟรมเวิร์คของปัญญาประดิษฐ์วิวัฒนาการเชิงลึก เพื่อพัฒนาแบบจำลองสถาปัตยกรรมเครือข่ายโวล และสร้างสถาปัตยกรรมที่เหมาะสม กับอุปกรณ์สมองกลฝังตัวที่มีทั้งความเร็วและความแม่นยำที่เหมาะสม งานนี้นักวิจัยได้ปรับค่าไฮเปอร์พารามิเตอร์สำหรับแบบจำลองโวลได้แก่ แบบจำลองโวลเอ็น โวลเอส และโวลเอ็ม ซึ่งเป็นแบบจำลองการคำนวณที่ลดความซับซ้อนลง และแบบจำลองที่ได้นำเสนอมานี้มีความเหมาะสมกับอุปกรณ์สมองกลฝังตัว หลังจากทดสอบพบว่า แบบจำลองโวลเอสมีค่าเฉลี่ยความแม่นยำอยู่ที่ 95.68% mAP@.5 โดยมีความเร็วกว่าแบบจำลองโวลเอ็มถึง 50% ที่ความแม่นยำสูงสุด 95.46% mAP@.5 จากนั้น ก่อนนำแบบจำลองไปติดตั้งที่อุปกรณ์สมองกลฝังตัว นักวิจัยได้เพิ่มชุดข้อมูลรูปภาพช้างจากอินเทอร์เน็ตให้กับโวลเอส เพื่อเพิ่มความแม่นยำจนได้ค่าใหม่คือ 98.02% mAP@.5 หลังจากติดตั้งระบบพบว่าการเรียนรู้เชิงลึกสามารถตรวจจับการบุกรุกของช้างป่าในพื้นที่เกษตรกรรมได้อย่างแม่นยำ แม้บางครั้งอาจช้ากว่าที่มนุษย์สังเกตเห็นอยู่เล็กน้อย

คำสำคัญ: ช้างป่าบุกรุก พื้นที่เกษตร ลดความขัดแย้ง โครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชัน

* ผู้ประสานงานหลัก; อีเมล: vasupon.p@rbu.ac.th

The Development of Monitoring System for Elephant Intrusion Detection in Agricultural Areas to Reduce Human-elephant Conflict with Convolutional Neural network technology

Vasupon Phueaknamphol^{1,*}, Wichan Thumthong², Patikom Thongjing³

^{1,2}Department of Computer Network Technology

³Department of Computer Science,

Faculty of Computer Science and Information Technology,

Rambhai Barni Rajabhat University

Received: 30 June 2022

Revised: 20 September 2023

Accepted: 24 November 2023

Abstract

Human-elephant conflict occurs due to the migration of elephants from their habitat to human agricultural areas in search of food and water resource. This research has therefore introduced Convolutional Neural Network Technology to reduce Human-elephant conflicts, with a framework called YOLOv5 is utilized for real-time object detection from video footage using embedded neural brain devices to monitor and prevent wild elephant intrusions into agricultural areas. First, researchers collected elephant image datasets from monitoring areas, leveraging the advancements in deep learning frameworks to develop Yolo-based architecture models suitable for embedded devices, ensuring both speed and accuracy. In this work, the researchers adjusted the hyperparameters for the YOLO model variants: YOLOv5N, YOLOv5S and YOLOv5M. The computations were conducted with reduced complexity and the proposed models are well-suited for embedded devices. After testing, it was observed that the YOLOv5S model achieved an average accuracy of 95.68% mAP@.5 with a speed increase of up to 50% compared to the YOLOv5M model, which had a maximum accuracy of 95.46% mAP@.5. Then, before deploying the models on embedded devices, researchers augmented the elephant image dataset from the internet for the YOLOv5S model. This augmentation improved the accuracy to a new value of 98.02% mAP@.5. After deployment, it was found that deep learning could accurately detect instances of wild elephant intrusions into agricultural areas, even though it may sometimes be slightly slower than human observation.

Keywords: Elephant Intrusion, Agricultural Area, Reducing Conflict, Convolutional Neural Network

*Corresponding Author; E-mail: vasupon.p@rbru.ac.th

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สถานการณ์ความขัดแย้งระหว่างคนกับช้างป่าในประเทศไทยพบมากในพื้นที่อนุรักษ์ที่มีช้างป่าอยู่ 41 แห่ง คิดเป็น 22% ของพื้นที่อนุรักษ์ทั้งหมด ปัญหาความขัดแย้งระหว่างคนกับช้างรุนแรงที่สุดมีทั้งคนและช้างบาดเจ็บ เสียชีวิต คือ กลุ่มป่าตะวันออก บริเวณป่ารอยต่อ 3 จังหวัด เมื่อพื้นที่ป่าลดลง ทรัพยากร อาหารในป่าก็เปลี่ยน การหาอาหารของช้างก็ลดลง หากินในป่าต่อไม่ได้ต้องหากินไกลออกไปถึงชายป่าหรือเขตชุมชน เมื่อพบพืชผลเกษตรทั้งพืชสวนพืชไร่และแหล่งน้ำ ช้างป่าจึงสามารถหากินหลบซ่อนในบริเวณดังกล่าวมากขึ้น เมื่อที่อยู่อาศัยของมนุษย์เพิ่มขึ้น พื้นที่เกษตรกรรมเพิ่มขึ้น เส้นทางคมนาคมมากขึ้น ส่งผลให้เกิดการเผชิญหน้ากันระหว่างคนและช้าง ในช่วงแรกต่างคนต่างเลี่ยงกันไป พอนานเข้ามักจะแก้ปัญหาด้วยความรุนแรง (Noonto et al., 2018) จากข้อมูลกรมอุทยานแห่งชาติฯ ช่วงปี 2559 - 2560 ยืนยันรายงานช้างป่าออกนอกพื้นที่อนุรักษ์ 6,213 ครั้ง ส่งผลกระทบกับทรัพย์สินชาวบ้านเสียหาย 228 ราย พืชผลเสียหาย 2,355 ราย จากปัญหาความขัดแย้งระหว่างคนกับช้างป่าในช่วงปี พ.ศ. 2555-2561 มีคนและช้างบาดเจ็บและเสียชีวิตรวมทั้งสิ้น 107 เหตุการณ์ พบว่าคนบาดเจ็บ 30 คน เสียชีวิต 45 คน ช้างบาดเจ็บ 7 เชือกและตาย 25 เชือก ซึ่งมีแนวโน้มความรุนแรงที่เพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ สาเหตุการตายหลักของช้างป่าเกิดจากรั่วไฟฟ้าถึงร้อยละ 72 และได้รับบาดเจ็บจากรถยนต์ขณะข้ามถนนร้อยละ 57 ขณะที่สาเหตุของช้างบาดเจ็บสูงที่สุดคือ ถูกรถยนต์ชน และถูกทำร้ายในขณะที่คนกำลังผลักดันช้างออกจากพื้นที่เกษตรกรรม สาเหตุของคนบาดเจ็บและเสียชีวิตมาจากถูกช้างทำร้ายขณะผลักดันหรือเผชิญหน้ากัน การพัฒนาระบบเฝ้าระวังช้างป่าบุกรุกในพื้นที่เกษตรกรรมเพื่อลดความขัดแย้งระหว่างคนและช้าง มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเทคโนโลยีการมองเห็นด้วยคอมพิวเตอร์มาเฝ้าระวังช้างป่าบุกรุกพื้นที่เกษตรกรรม แทนอาสาสมัครในพื้นที่ตำบลทุ่งควายกิน อำเภอกงหรา จังหวัดระยอง บริเวณรอยต่อ หมู่ 7 บ้านขุนนมสูง และหมู่ 8 หมู่บ้านเขาจุก เพื่อลดปัญหาการเผชิญหน้าระหว่างคนและช้าง รวมถึงการวางแผนการผลักดันช้างออกจากพื้นที่โดยให้เกิดความสูญเสียน้อยที่สุด

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาแบบจำลองตรวจจับภาพของช้างด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน
2. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการแจ้งเตือนช้างป่าบุกรุกในพื้นที่เฝ้าระวัง เพื่อลดการเผชิญหน้ากันระหว่างคนกับช้าง

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ชุดข้อมูลสำหรับการเรียนรู้เชิงลึก

ชุดข้อมูล (Dataset) ใช้ฝึกฝนการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) (Kumar et al., 2020) ที่อาศัยรูปแบบ (Pattern) ของข้อมูลที่มากเพื่อสกัดเอาคุณสมบัติ หรือความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้น การได้รับข้อมูลที่เพียงพอ อาจจะต้องอาศัยชุดข้อมูลที่เปิดเผย (Open Source Dataset) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ เช่น ชุดข้อมูลรูปภาพของอิมเมจเน็ต (Imagenet) มีรูปภาพมากกว่า 14 ล้านภาพ ครอบคลุมมากกว่า 20,000 หมวดหมู่ มีมากกว่า 1,000,000 ภาพที่มีคำอธิบายและตำแหน่งของวัตถุเป้าหมาย โคโค (COCO Common Objects in Context) เป็นชุดข้อมูลของการรู้จำมีการแบ่งส่วนและคำบรรยาย ประกอบด้วยภาพขนาดเล็ก 200,000 ภาพ ที่มีคุณสมบัติสำหรับแต่ละภาพ เช่น การแบ่งส่วนวัตถุมากกว่า

การล้อมกล่องวัตถุ และคำบรรยายหัวข้อความต้อภาพ เช่น “เครื่องบินแอร์บัส A380 ขึ้นสู่เมฆ” และ “เครื่องบินที่บินผ่านท้องฟ้าสีคราม” เป็นต้น (Zhou et al., 2017)

2. โครงข่ายงานประสาทเทียม

โครงข่ายงานประสาท (Neural Networks) คือการเรียนรู้ด้วยเครื่องที่ได้แรงบันดาลใจจากโครงข่ายประสาทชีวภาพที่เลียนแบบการทำงานของสมองสิ่งมีชีวิต ประกอบด้วยนิวรอน (Neurons) ที่ใช้เชื่อมโยงการแก้ปัญหา ในหนึ่งโครงข่ายประสาทประกอบไปด้วยข้อมูลขาเข้า (Vector x) หรือเซตของหลายเซลล์ประสาท ในแต่ละเซลล์ต่อเข้ากับชั้นซ่อนตัว (Hidden Layer) ของหลายเซลล์ ชั้นซ่อนมีผลต่อประสิทธิภาพการเรียนรู้ด้วยแบบจำลอง ผ่านเซตของน้ำหนัก (Weight) ที่ใช้ระบุความแข็งแรงในแต่ละเซลล์ประสาท (w) จำนวนชั้นและจำนวนนิวรอนส่งผลต่อความสามารถในการสกัดข้อมูล สำหรับข้อมูลขาออกของเซลล์ซ่อนตัว (Hidden Neuron Outputs) ณ j^{th} เมื่อสมการ (1) ฟังก์ชันกระตุ้น (Activation Function) รับผลรวมทั้งหมดจากทุกข้อมูลขาเข้า (Dendrite) แล้วพิจารณาว่าจะส่งต่อผลลัพธ์ (Output Neuron Outputs) ไปยังสมการ (2) ถ้าต้องการความน่าจะเป็นเหล่านั้น สามารถแปลงชั้นข้อมูลขาออก (Output Layer) ด้วยสมการ (3) ฟังก์ชันซอฟต์แม็กซ์ (SoftMax) โดยสามารถสรุปผลการทำงานเป็นดังภาพที่ 1 (Girshick et al., 2014)

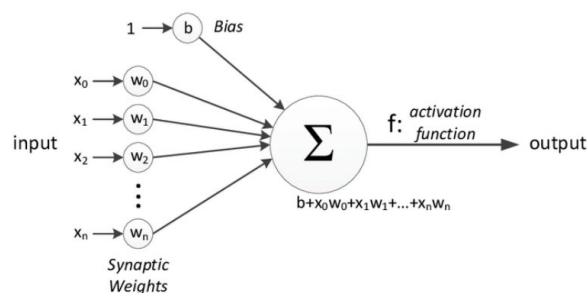
$$h_j = \phi(\sum_i w_{ij}x_i) \quad (1)$$

$$y_i = \phi(\sum_j v_{ij}h_j) \quad (2)$$

$$\text{softmax}(x_n) = \frac{e^{x_n}}{\sum_m e^{x_m}} \quad (3)$$

โดยที่ ϕ = ฟังก์ชันกระตุ้น, w = ค่าน้ำหนัก และ x = ข้อมูลขาเข้า

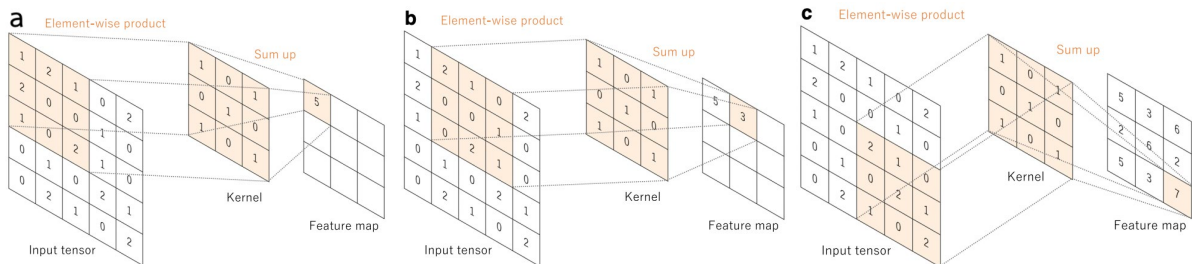
ฟังก์ชันทั่วไปของฟังก์ชันกระตุ้น (Common Activation Function) สำหรับ ϕ คือฟังก์ชันซิกมอยด์ (Sigmoid Function, $\sigma(x)$) เป็นการแปลงเลขให้อยู่ในช่วง 0 ถึง 1 หรือ hyperbolic tangent, $\tanh(x)$ สำหรับการแปลงให้อยู่ในช่วง -1 ถึง 1 หรือ rectified linear unit, $\text{ReLU}(x) = \max(0, x)$



ภาพที่ 1 การทำงานของประสาทเทียมที่รับข้อมูลขาเข้ามาคูณกับตัวน้ำหนักที่ได้จากการสุ่มหาผลรวมของแต่ละขารวมเข้ากับ Bias ป้อนเข้าสู่ฟังก์ชันกระตุ้นสรุปผลออกไปยังประสาทชั้นต่อไป (Sanguansat, 2019)

3. คอนโวลูชันนิวรอนเน็ตเวิร์ค

คอนโวลูชันนิวรอนเน็ตเวิร์ค (Convolutional Neural Network) เป็นการคำนวณทางคณิตศาสตร์เชิงเส้นที่ใช้หาความสัมพันธ์ของพิกเซล (Pixel) ที่อยู่บริเวณใกล้เคียงและจัดเก็บในรูปแบบเมทริกซ์ (Matrix) คอนโวลูชันจะอยู่ในขั้นตอนของแบบจำลองเพื่อต่อยอดความรู้ประกอบกันเป็นจุด, เส้นแนวตั้ง, เส้นแนวนอน, แนวทแยง, กากบาท, มุม, เส้นโค้ง, วงกลม, ลวดลาย, ดวงตา, หู, จมูก, ปาก, ใบหน้า เป็นต้น ด้วยฟิวเจอร์ดีเทกเตอร์ที่แตกต่างของวิธีการคำนวณแบบ dot product กับเคอร์เนล ดังภาพ 2 เช่น 3×3 , 5×5 หรือ 7×7 เป็นต้น ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณเรียกว่า ฟิวเจอร์แมปไปจนถึงขั้นลึก ๆ ที่เป็นนามธรรมมากขึ้น แบบจำลองส่วนใหญ่จะจบด้วยชั้นฟูลคอนเน็คเตด (Fully Connected Layer) (Unzueta, 2021) เพื่อปรับผลลัพธ์ (Output) ของแบบจำลองให้ตรงกับงานที่ต้องการ เช่น การจำแนกประเภทหรือคลาส จากความน่าจะเป็น (Probability) ด้วยสมการซอร์ฟแม็กซ์ ที่ให้ผลลัพธ์อยู่ในช่วง 0 ถึง 1 และเลือกใช้ฟังก์ชันกระตุ้นด้วยซิกมอยด์ หรือฟังก์ชันเรลู (ReLU) หรือฟังก์ชันไฮเพอร์โบลิคแทนเจนต์ (Tanh) ได้

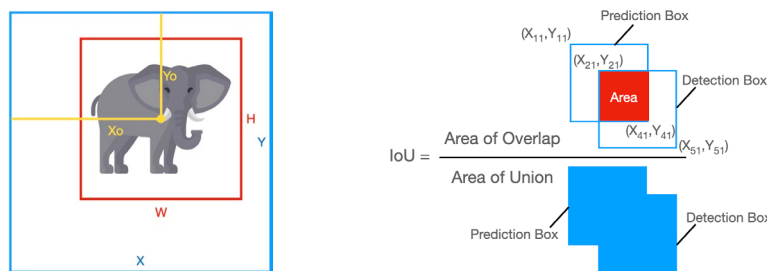


ภาพที่ 2 ขั้นตอนคอนโวลูชันที่มีขนาดเคอร์เนล 3×3 ไม่มีช่องว่างภายใน และขยับที่ 1 step. ตามลำดับภาพ a, b และ c ด้วยการคำนวณคอนโวลูชัน เพื่อสกัดหาความสัมพันธ์ของพิกเซล (Yamashita et al., 2018)

4. ขั้นตอนวิธีของโยโลเวอร์ชันที่ห้าและโรโบโฟว์

YOLO (You Only Look Once) (Gur-Arie, 2022) เป็นงานด้านคอมพิวเตอร์วิทัศน์ (Computer Vision) มีขั้นตอนวิธีการตรวจจับวัตถุที่แบ่งรูปเป็นระบบกริด แต่ละเซลล์มีหน้าที่ตรวจจับวัตถุภายในตัวเอง โดดเด่นด้านการตรวจจับ (Detect) วัตถุที่ซ้อนกัน มีโครงสร้างเป็นชั้น (Layers) ประกอบด้วยชั้นคอนโวลูชันที่ซ้อนกันหลายขนาด ในช่วงแรกของนิวรอน มีความเร็วและความแม่นยำ (Ultralytics, 2021) สามารถทำความเร็ว 140 FPS บนหน่วยประมวลผล Nvidia Tesla P100 เมื่อเทียบกับวิธีโวลัวเตกัว (YoloV4) ที่ความเร็ว 50 FPS โยโลวีไฟฟ์ (YoloV5) มีขนาด 27MB ใช้สถาปัตยกรรม Darknet ได้รับการสืบทอดคุณสมบัติที่ดีจากโยโลวีโฟว์และปรับโครงสร้างประสาทให้ทำงานเร็วขึ้น ใช้หน่วยความจำน้อยลงด้วยวิธี เช่น Mosaic training, Self-Adversarial Training (SAT) และ Multi-Channel Feature แทนที่ FPN fusion ด้วย PANet (Liu et al., 2018) แบบจำลองโครงข่ายประสาทของโยโลมีให้เลือกหลากหลายตามความเหมาะสมของงาน เช่น YOLOV5s เป็นแบบจำลองขนาดเล็กสำหรับภาพสี (RGB) ขนาด 640×640 พิกเซล

โรโบฟโฟว์ (Roboflow Platform) เป็นซอฟต์แวร์สำหรับเตรียมชุดข้อมูลให้พร้อมก่อนเข้าเน็ตเวิร์คในรูปแบบการติดฉลาก (Labeling Format) เพื่อกำหนดขอบเขตเป้าหมายในภาพ เช่น จุดศูนย์กลางวัตถุไปยังแกน x (X Center) และแกน y (Y Center) ขนาดความกว้างของกรอบ (Box Width) และความสูงของกรอบ (Box Height) เป็นกรอบสี่เหลี่ยมล้อมรอบ (Bounding-Box Box) ตำแหน่งหรือคำอธิบายจะถูกปรับให้อยู่ในมาตรฐาน 0 ถึง 1 เพื่อใช้หาค่าไอโอยู (Solawetz, 2020) ดังภาพที่ 3 การฝึกแบบจำลองจะแบ่งชุดข้อมูลออกเป็น 3 คือ (1) ส่วนฝึกอบรม (Training) (2) ส่วนตรวจสอบและเรียนรู้เพิ่มเติมจากผลการตรวจ (Validation) และ (3) ส่วนทดสอบ (Test Set) แบบจำลองที่เลือกใช้ต้องเหมาะสมกับขนาดภาพ เช่น ขนาด 640*640px ต้องใช้ YOLOv5n (นาโน), YOLOv5s (เล็ก), YOLOv5m (กลาง), YOLOv5l (ใหญ่), YOLOv5x (ใหญ่พิเศษ) ขนาด 1280*1280px ใช้ YOLOv5n6, YOLOv5s6, YOLOv5m6, YOLOv5l6, YOLOv5x6 เป็นต้น เหมาะกับงานที่ต้องการความละเอียดสูง (Ultralytics, 2021)



ภาพที่ 3 การกำหนดขอบเขตเป้าหมายของวัตถุในภาพ เพื่อใช้ทำนายผลความแม่นยำด้วยค่าไอโอยู (IoU) ระหว่างผลเฉลยของตำแหน่งวัตถุในภาพ กับผลการทำนายที่แบบจำลองทำนายได้มีหน่วยเป็น mAP

5. การประเมินประสิทธิภาพแบบจำลอง

Intersection over Union (IoU) เป็นการวัดประสิทธิภาพแบบจำลองสำหรับงานตรวจจับวัตถุ (Object Detection) หาได้จากอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ (Area) ที่ทับซ้อน (Intersection) ของพื้นที่ทั้ง 2 (Bounding Box)หารด้วยพื้นที่รวมทั้งหมด (Area) ดังภาพที่ 4 หรือเรียกว่า ดัชนี (Jaccard) เป็นวิธีในการหาเปอร์เซ็นต์ทับซ้อนระหว่างผลเฉลย (Ground Truth) และผลทำนาย (Predict) ถ้าได้ความแม่นยำที่ทับซ้อนมากกว่า 0.5 ถือว่ายอมรับได้ ค่า AP และ mean Average Precision (mAP) เป็นการหาค่าเฉลี่ยความแม่นยำ ซึ่งคำนวณจากสมการ (4) ค่าความแม่นยำ (5) ค่าความรำลึก (6) ค่าความถูกต้อง และ RMSE (Root Mean Square Error) รากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย เพื่อคำนวณความผิดพลาดการพยากรณ์เข้าใกล้ศูนย์แสดงว่าใกล้เคียงกับความจริง มากกว่า 0.5 เท่ากับจำนวน Class ที่มีค่าความแม่นยำที่ทับซ้อนมากกว่า 0.5 TP+FP มีค่าเท่ากับจำนวน Class ที่ทำนายได้ และ TP+FN เท่ากับผลเฉลย (Kumar et al., 2020)

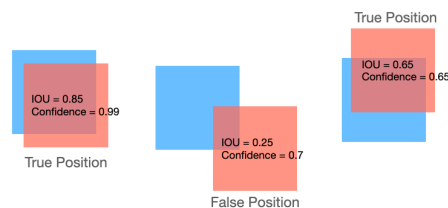
$$Accuracy = \frac{TP+TN}{TP+FP+FN+TN} \quad (4)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} = \frac{count(TP)}{\#ground truths} \quad (5)$$

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP} = \frac{count(TP)}{\#predictions} \quad (6)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i' - Y_i)^2} \quad (7)$$

โดยที่ True Positive (TP) คือข้อมูลเป็นจริง และโปรแกรมทำนายว่าจริง
True Negative (TN) คือข้อมูลไม่เป็นจริง และโปรแกรมทำนายว่าไม่จริง
False Positive (FP) คือข้อมูลเป็นจริง แต่โปรแกรมทำนายว่าไม่จริง
False Negative (FN) คือข้อมูลไม่เป็นจริง แต่โปรแกรมทำนายว่าจริง
 Y_i คือ ค่าข้อมูลที่เกิดขึ้นจริง, Y_i' คือ ค่าที่ได้จากการพยากรณ์
 n คือ จำนวนข้อมูลเข้าทั้งหมด



ภาพที่ 4 การหาความแม่นยำที่ทับซ้อนจากพื้นที่วัตถุในภาพ (สีฟ้า) และพื้นที่คำทำนาย (สีแดง)

ซึ่งมีค่า Precision = count(true positive) / count(all red boxes) = 2/3 = 0.67

และค่าของ Recall = count(true positive) / count(all blue boxes) = 2/3 = 0.67

6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Madheswaran et al. (2019) ได้สร้างเสียงผึ้งและเสียงเสือคำรามที่ช่างไม่ชอบ โดยเปรียบเทียบผลการใช้แบบจำลองตรวจจับวัตถุ 4 แบบคือ SSD mobilenet v2 model, SSDlite mobilenet v2 model, SSD inception v2 model และ Fast R-CNN inception v2 พบว่า mobilenet v2 มีความแม่นยำมากที่สุด

Jagannathan et al. (2019) และคณะได้ทดสอบเปรียบเทียบโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันแบบดั้งเดิมกับการใช้เทคนิคการสับทอดเพื่อระบุตัวช่างจากฟีดวิดีโอที่ได้รับ เสียงผึ้ง เสียงเสือคำราม เพื่อให้ช่างลดการเดินหน้าไปในพื้นที่อยู่อาศัย พบว่าแบบจำลองที่มีการสับทอดความรู้ VGG16 CNN มีความแม่นยำกว่าที่ค่าความแม่นยำ 94% สำหรับการใช้งานแบบเรียลไทม์ได้ใช้แบบจำลอง SqueezeNet CNN เนื่องจากเวลาในการคำนวณต่ำกว่า (ต่างกันที่ 0.02 – 0.05 วินาที) และมีความแม่นยำระดับกลางที่ 92.67%

Duporge et al. (2020) ได้ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันตรวจจับและนับจำนวนช่างแอฟริกาด้วยภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อเทียบความแม่นยำของ CNN กับมนุษย์ นอกจากนี้ได้ใช้แบบจำลองนี้ทดสอบภาพถ่ายดาวเทียมจากเคนยา โดยไม่ฝึกอบรมเพิ่ม เพื่อทดสอบข้อมูลประชากรช่างที่อยู่นอกพื้นที่ได้หรือไม่ ผลที่ได้คือ CNN มีความแม่นยำสูงเทียบเท่าความสามารถในการตรวจจับของมนุษย์ เช่น การตรวจจับด้วย CNN คือ 0.78 ในพื้นที่ต่างกัน และ 0.73 ในพื้นที่เดียวกัน เมื่อเทียบกับมนุษย์ คือ 0.77 ในพื้นที่ต่างกัน และ 0.80 ในพื้นที่เดียวกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่า CNN สามารถนำไปใช้สำรวจระยะไกลได้

Gur-Arie (2022) ได้ใช้การระบุวัตถุในภาพด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ ด้วยอัลกอริทึมตรวจจับวัตถุแบบเรียลไทม์ YOLO (you only look once) พัฒนาโดย Ultralytics ที่ใช้เทคนิคการสืบทอดความรู้ (Transfer Learning) เพื่อจำแนกภาพนกเพนกวิน 250 ภาพจากวิดีโอ ด้วยโรโบฟโฟว์ (Roboflow Platform) เทคนิคการถ่ายโอนความรู้ส่งผลให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการฝึกตั้งแต่เริ่มต้น ผลการวิจัยพบว่าแบบจำลองทำนายได้ถูกต้อง 98% ถ้าต้องการความแม่นยำเพิ่มสามารถทำได้โดย เพิ่มเวลาทดสอบ (Test-Time Augmentations TTA) การพลิกภาพ กลับภาพ และความเอียงภาพ (Horizontal, Rotation, Flip and Different Resolutions)

Zhou et al. (2017) นำเสนอการตรวจจับวัตถุคือ ผู้เล่นฟุตบอล ผลการแข่งขัน มุมธง และลูกฟุตบอล จากชุดข้อมูลที่สร้างขึ้นใหม่ โดยใช้เครือข่ายประสาทเทียมแบบ R-CNN (Girshick et al., 2014) ที่เร็วกว่าเครือข่ายประสาทเทียมแบบ CNN ผลการเรียนรู้แสดงให้เห็นว่าแต่ละคลาสสามารถทำได้ดีเมื่อภาพอยู่ในมุมที่ใกล้ โดยมีความแม่นยำเฉลี่ย (MAP) คือ player = 79.02, soccer goal = 83.77, corner flag = 35.08 และ football = 47.52

Hongboonmee and Sittichokchaisiri (2021) ได้จำแนกภาพด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมการเรียนรู้เชิงลึกแบบคอนโวลูชันที่ใช้แบบจำลองโมบายเน็ตผ่านไลบรารีเทนเซอร์โฟลว์ จำแนกภาพโรคตาแดง ตาгүйยัง ต้อลม ต้อเนื้อ ต้อกระจก ต้อหินและตาปกติ ประเภทละ 100 ภาพ ฝึก 500 รอบมีความแม่นยำ 96.40%

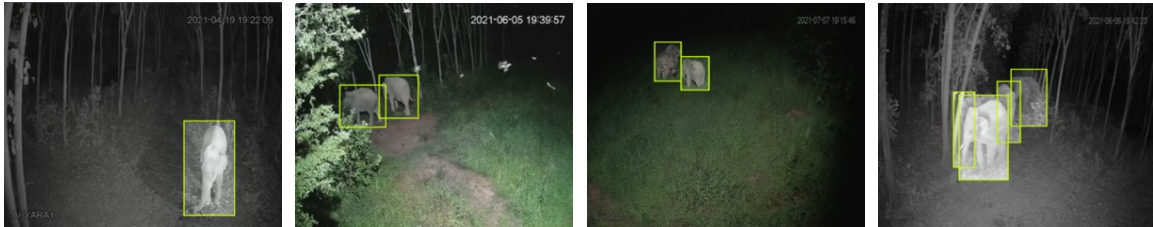
Kaewtathanawatthana and Brorewongtrakhul (2020) เสนอผลวิเคราะห์ความขัดแย้งระหว่างคนกับช้างป่าและศึกษาแนวทางการอยู่ร่วมกันอย่างยั่งยืน ตำบลพวา อำเภอแก่งหางแมว จังหวัดจันทบุรี โดยใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ (Qualitative Research) สัมภาษณ์เจาะลึก (In-Depth Interview) มีคำถามเป็นเครื่องมือเก็บข้อมูลจากผู้ใช่ 2 กลุ่ม คือผู้นำชุมชน 5 หมู่บ้าน และกลุ่มเกษตรกรที่ได้รับผลกระทบ 20ครัวเรือน ผลที่ได้แบ่งเป็นสามแนวทางคือ ระยะเร่งด่วน ตั้งชุดปฏิบัติการเฝ้าระวังจับไล่ช้างป่า ชุดปฏิบัติการเคลื่อนที่เร็วลาดตระเวนและให้คำแนะนำตลอดจนการช่วยเหลือ ระยะกลาง จัดทำแนวคูกันช้างป่าในจุดที่เป็นอันตรายมีประชาชนสัญจร และปลูกไฟให้หนาแน่นตลอดแนวคูกัน ทำรั้วไฟฟ้าพื้นที่สวนผลไม้ ระยะยาวประกอบไปด้วย 4 แนวทาง (1) สร้างทัศนคติที่ดีเพื่อการอยู่ร่วมกัน (2) ปรับรูปแบบการทำเกษตรกรรมรอบพื้นที่ (3) ปรับปรุงระเบียบราชการต้องมีแนวปฏิบัติที่ชัดเจน รวดเร็วในการให้ความช่วยเหลือ (4) ประสานกับหน่วยงานกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมเพื่อเคลื่อนย้ายช้างป่าออกไปเมื่อมีปริมาณมากขึ้น

วิธีดำเนินการวิจัย

การรวบรวมและเตรียมข้อมูล

งานวิจัยนี้ได้เก็บข้อมูลภาพช้างจากกล้องวงจรปิดในพื้นที่เฝ้าระวังจำนวน 2,278 ภาพ มีทั้งภาพ ด้านหน้า ด้านข้าง ด้านหลัง ของช้าง ช้างหลายเชือก ช้างยืนซ้อนกัน ช้างเชือกเดียว ช้างหลบหลังต้นไม้หรือพุ่มไม้ ช้างมีงา ช้างไม่มีงา ภาพส่วนใหญ่เป็นภาพถ่ายตอนกลางวัน จากนั้นแบ่งข้อมูลเป็น 3 ส่วนด้วยวิธีสุ่ม พร้อมทำป้ายกำกับช้างในภาพ (Data and Ground Truth Labels) ดังภาพที่ 5 สำหรับส่วนฝึกอบรมมีจำนวน 1,600 ภาพ คิดเป็นร้อยละ 70 ส่วนตรวจสอบผลการฝึกอบรมและเรียนรู้เพิ่มเติมจากการฝึก จำนวน 452 ภาพ คิดเป็นร้อยละ 20 และส่วนสำหรับทดสอบ ที่เป็นข้อมูลที่ไม่เคยพบมาก่อน 226 ภาพ คิดเป็นร้อยละ 10 สำหรับการทำนายผลโดยไม่มีการปรับจูนพารามิเตอร์ใด เพื่อทดสอบความสามารถว่าทำงานได้ดีเพียงใดเมื่อต้องเจอกับสถานการณ์จริง การเลือกใช้ข้อมูลในพื้นที่เพื่อให้การฝึกอบรมคล้ายกับข้อมูลที่ต้องพบมากที่สุดและลดปัญหาความสับสน (Overfitting) แบบจำลองที่ถูก

วิวัฒนาการมาแล้วสามารถช่วยเพิ่มความแม่นยำได้ โดยเพิ่มชุดข้อมูลภาพช้างจากอินเทอร์เน็ตรวมเข้าไปในชุดข้อมูลเดิมเป็นจำนวน 3,788 ภาพ และแบ่งเป็น 3 ชุด ด้วยวิธีสุ่ม คือชุดฝึกอบรม จำนวน 2,640 ภาพ คิดเป็นร้อยละ 70 ข้อมูลสำหรับตรวจสอบผลการอบรมและเรียนรู้เพิ่มเติม จำนวน 756 ภาพ คิดเป็นร้อยละ 20 และชุดข้อมูลสำหรับทดสอบ กับข้อมูลที่ไม่เคยพบมาก่อน 392 ภาพ คิดเป็นร้อยละ 10 โดยชุดข้อมูลทั้ง 2 มีขนาด 640px*640px เป็นภาพสี



ภาพที่ 5 สร้างป้ายกำกับและข้อมูลตำแหน่งวัตถุภายในภาพ ด้วยซอฟต์แวร์ของโรโบโฟร์

การฝึกอบรมและสร้างแบบจำลองที่เหมาะสมกับหน่วยประมวลผลสมองกลฝังตัว

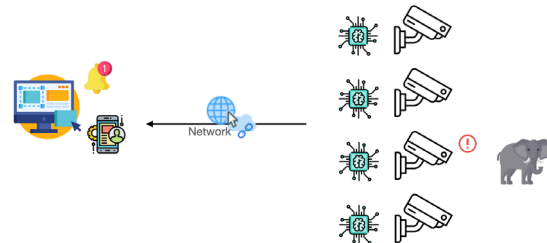
ใช้หน่วยประมวลผลกราฟิกส์ (GPU: Graphics Processing Unit) Nvidia tesla p100 หน่วยความจำ 16 GB มีขั้นตอนคือ (1) ใช้แบบจำลอง yolov5n, yolov5s และ yolov5m ที่พัฒนาโดย Ultralytics ซึ่งมีขนาดการคำนวณเล็กไปใหญ่ตามลำดับ ขนาดภาพไม่เกิน 640px ด้วยค่าไฮเปอร์พารามิเตอร์เริ่มต้น ฝึกอบรม (Epochs) 300 รอบ ป้อนภาพเข้าสู่แบบจำลอง (Batch Size) จำนวน 32 ภาพ (2) ทดลองใช้ไฮเปอร์พารามิเตอร์ที่วิวัฒนาการมาแล้ว (Hyperparameter Evolution) จากอัลกอริทึม Genetic Algorithm (GA) ไปให้กับแบบจำลอง yolov5s, yolov5n และ yolov5m จากการศึกษางานวิจัยเทคนิคการสืบทอดความรู้สำหรับการสุ่มค่าเบื้องต้นที่ดีจะให้ผลลัพธ์ในขั้นสุดท้ายที่ดีกว่า โยโลวีไฟฟ์ มีไฮเปอร์พารามิเตอร์ที่เรียกว่า VOC ที่เคยผ่านการฝึกฝนมาแล้วด้วยชุดข้อมูล COCO128 ที่ปรับแต่งมาอย่างละเอียด ด้วยแบบจำลอง yolov5s (3) ทดสอบการป้อนภาพเข้าสู่แบบจำลองที่เหมาะสมกับชุดข้อมูล คือ 16, 32, 64 และ 128 ตามลำดับ ด้วยค่าไฮเปอร์พารามิเตอร์ VOC กับแบบจำลอง yolov5n yolov5s และ yolov5m (4) ทดสอบเพิ่มประสิทธิภาพแบบจำลองจากแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดด้วยการเพิ่มชุดข้อมูลบนอินเทอร์เน็ต (5) ทดสอบเพิ่มความเร็วด้วยการลดขนาดภาพลงจาก 640 เหลือ 416 และ 320 เพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำกับความเร็วที่เพิ่มขึ้น จากนั้นนำไปใช้กับหน่วยประมวลผลฝังตัว (Embedded Device) ที่จุดเฝ้าระวัง

การประเมินประสิทธิภาพแบบจำลอง

ผลการฝึกอบรมจะใช้การหาค่าเฉลี่ย (mAP) บนค่าความแม่นยำที่ทับซ้อนที่แตกต่างกันระหว่าง 0.5 ถึง 0.95 ด้วยระยะ 0.05 (0.5, 0.55, 0.6, 0.65, 0.7, 0.75, 0.8, 0.85, 0.9, 0.95) $mAP@IoU=0.5:0.95$ ($mAP@[.95]$) และหน่วย $mAP@IoU = 0.5$ ($mAP@.5$) ซึ่งเป็นหน่วยมาตรฐานของ MS COCO ตามด้วยค่าความผิดพลาดของการฝึกอบรม train/obj_loss ค่าความผิดพลาดของการตรวจสอบผลทำนาย val/obj_loss และความน่าจะเป็นที่แบบจำลองสามารถตรวจจับ (Recall) จากนั้นประเมินการใช้หน่วยความจำ (GPU Memory) และระยะเวลาที่ใช้ประโยชน์จากหน่วยประมวลผล (GPU Utilization)

ติดตั้งแบบจำลองที่จุดเฝ้าระวังช้างป่า

นำแบบจำลองที่ได้ไปติดตั้งกับหน่วยประมวลผลแบบฝังตัวของ Nvidia รุ่น Jetson Nano สำหรับการรับภาพจากกล้องวงจรปิด (IP Camera) ขนาด 1024p 30 เฟรมต่อวินาที (30 fps) ด้วย FTP โพรโทคอล (File Transfer Protocol) พร้อมประมวลผลสำหรับเฟรมเรทที่มีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าร้อยละ 20 เพื่อประหยัดการประมวลผล โดยมีผังการติดตั้งเป็นดังภาพที่ 6



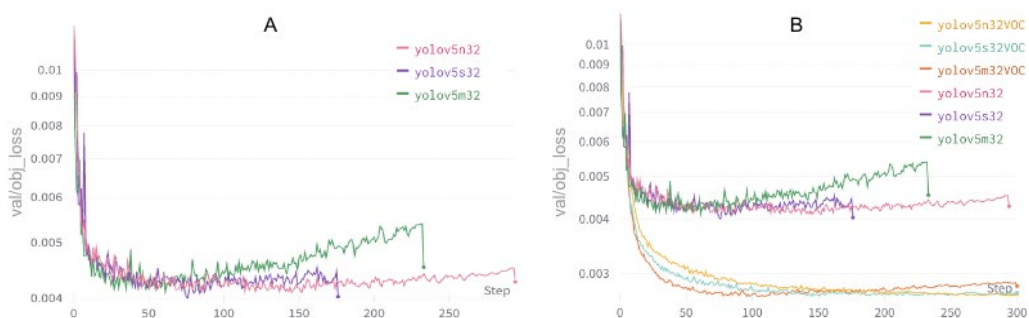
ภาพที่ 6 แพนผังการติดตั้งระบบกล้องวงจรปิดเพื่อรับภาพไปประมวลผลต่อที่หน่วยประมวลผลแบบฝังตัวเพื่อการแจ้งเตือนไปยังแอปพลิเคชันไลน์ของผู้ที่เกี่ยวข้อง

ประเมินผลการแจ้งเตือน

หลังจากติดตั้งระบบ ผู้วิจัยร่วมกับผู้นำหมู่บ้าน กลุ่มอาสาสมัครเฝ้าระวังและผลักดันช้างป่า ทำการทดสอบประสิทธิภาพการแจ้งเตือนผ่านกลุ่มไลน์ ด้วยการเฝ้าดูช้างที่เดินเข้ามาในจุดเฝ้าระวังผ่านกล้องวงจรปิดในเวลาที่ช้างชอบออกมาหากินคือ ช่วงพระอาทิตย์ตกดิน และกลับเข้าป่าก่อนพระอาทิตย์ขึ้น ตามคำบอกเล่าของชาวบ้านในพื้นที่เป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ เพื่อประเมินความน่าเชื่อถือของระบบ

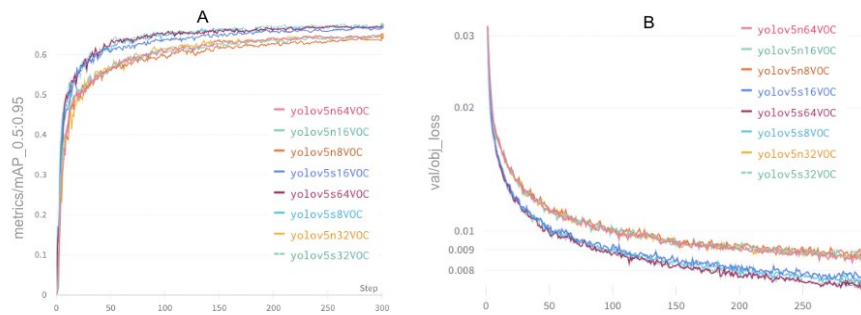
ผลการวิจัย

การฝึกด้วยไฮเปอร์พารามิเตอร์เริ่มต้นทำให้เกิดการโอเวอร์ฟิต เมื่อใช้ชุดข้อมูลสำหรับทดสอบผลฝึกอบรม ดังภาพที่ 7A กราฟแสดงความถูกต้องกับชุดข้อมูลการตรวจสอบ พบว่าเมื่อฝึกอบรมไปได้ 75 รอบ แบบจำลองทั้งสามเริ่มทำได้ไม่ดีกับข้อมูลที่ไม่เคยพบ เห็นได้ชัดว่าแบบจำลองที่มีชั้นคำนวณที่ซับซ้อน yolov5m (สีเขียว) มีปัญหาโอเวอร์ฟิตมากที่สุด จากการศึกษางานวิจัยพบว่าเทคนิคการสับทอยไฮเปอร์พารามิเตอร์สามารถช่วยให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีสำหรับการใช้ค่า VOC กับแบบจำลองทั้งสาม (สีเหลือง สีเขียวอ่อน สีส้ม) เห็นได้ว่าแบบจำลองทั้งสาม สามารถแก้ปัญหาได้ดีกับข้อมูลที่ไม่เคยพบดังภาพที่ 7B



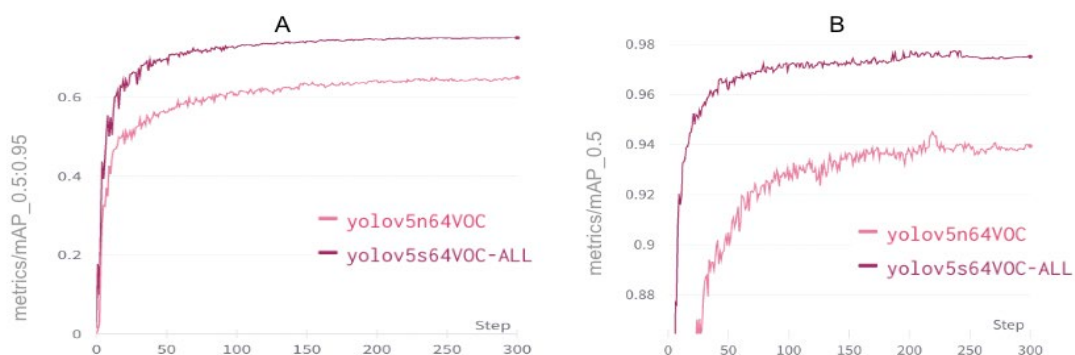
ภาพที่ 7 กราฟ (A) ผลการฝึกอบรมแบบจำลองทั้ง 3 ด้วยไฮเปอร์พารามิเตอร์เริ่มต้นที่เกิดโอเวอร์ฟิตตั้ง และกราฟ (B) ผลเปรียบเทียบการฝึกระหว่างกราฟ (A) และการสับทอยไฮเปอร์พารามิเตอร์ VOC

ทดลองแบ่งภาพเข้าสู่แบบจำลองทั้งสามด้วยขนาด 16, 32, 64 และ 128 พบว่าแบบจำลอง yolov5m ไม่สามารถใช้ขนาด 64 ได้เนื่องจากหน่วยความจำไม่พอ ที่ขนาด 32 ใช้เวลาประมวลผล 408.767 นาที นานกว่า yolov5s ที่ใช้เวลา 172.25 นาที คิดเป็นร้อยละ 57.86 และ yolov5n ที่ใช้เวลา 99.96 นาที คิดเป็นร้อยละ 75.54 การใช้หน่วยความจำ yolov5m ใช้หน่วยความจำที่ 82.84% มากกว่า yolov5s ที่ใช้หน่วยความจำ 50.03% และ yolov5n ใช้หน่วยความจำ 32.25% ดังนั้นการทดลองนี้จึงใช้เฉพาะแบบจำลอง yolov5n และ yolov5s จากภาพที่ 8A เห็นได้ชัดว่าค่าเฉลี่ยผลการฝึกอบรมระหว่าง 0.5 – 0.95 ของแบบจำลอง yolov5s ทำได้ดีกว่า yolov5n ในทุกขนาดแบท (น้ำเงิน เลือดหมู ฟ้า เส้นประเขียว) ซึ่งสอดคล้องกับ ภาพที่ 8B แบบจำลอง yolov5s มีค่าความผิดพลาดของการตรวจสอบที่น้อยกว่าแบบจำลอง yolov5n ทุกขนาดแบท



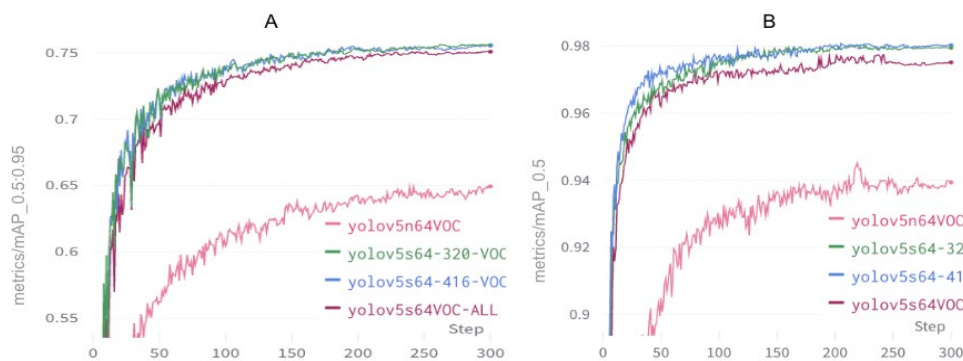
ภาพที่ 8 ผลทดสอบการแบ่งชุดข้อมูลภาพเข้าสู่แบบจำลอง yolov5s และ yolov5n

เมื่อวิเคราะห์จากภาพที่ 8 พบว่าค่า Batch 64 จาก yolov5s มีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของการตรวจสอบข้อมูลที่ไม่เคยพบมาก่อนต่ำที่สุดตามด้วย Batch 32 จาก yolov5s ที่ประมวลเร็วกว่า แต่มีค่าความแม่นยำต่ำกว่า ดังนั้นการทดสอบในขั้นตอนถัดไปจึงได้เลือกใช้แบบจำลอง yolov5s ที่ขนาดแบทเท่ากับ 64 สำหรับการทดสอบเพิ่มภาพจากอินเทอร์เน็ตพบว่า ความแม่นยำที่ทับซ้อนเฉลี่ยระหว่าง 50% ถึง 95% มีค่าสูงขึ้นจากเดิม 64.93% $mAP@.5-0.95$ เป็น 75.09% $mAP@.5-0.95$ ดังภาพ 9A ส่วนความแม่นยำที่ทับซ้อนมากกว่า 50% คือจากเดิม 93.94% $mAP@.5$ เป็น 97.51% $mAP@.5$ ดังภาพ 9B

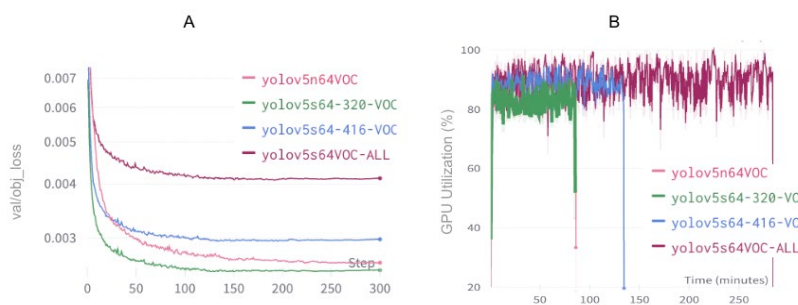


ภาพที่ 9 ผลการเพิ่มภาพจากอินเทอร์เน็ตพบว่าความแม่นยำเฉลี่ย mAP สูงขึ้น ทั้งค่าที่ได้จาก IoU ของพื้นที่ทับซ้อนระหว่าง 50% ถึง 95% และความแม่นยำที่ทับซ้อนมากกว่า 50% ด้วย yolov5s ที่ batch 64

จากนั้นลดขนาดรูปภาพจาก 640 เป็น 416 และ 320 เพื่อทดสอบผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นพบว่าขนาด 416 ดังภาพที่ 10 กราฟสีฟ้า มีคะแนนที่สูงกว่าเดิมทั้ง mAP ที่ 50-95% มีความแม่นยำเฉลี่ยอยู่ที่ 75.55 mAP@.5-0.95 และ mAP ที่ 50% มีความแม่นยำอยู่ที่ 98.02mAP@.5 สำหรับภาพขนาด 320 ดังภาพที่ 10 กราฟสีเขียว มีความแม่นยำเฉลี่ยอยู่ที่ 75.59 mAP@.5-0.95 แทบไม่ต่างกับภาพขนาด 416 และ mAP ที่ 50% มีความแม่นยำอยู่ที่ 97.95mAP@.5 น้อยกว่าภาพ 416 อยู่เล็กน้อย เมื่อไปดูที่ค่าความผิดพลาดของการตรวจสอบพบว่าภาพขนาด 320 สามารถรับมือกับข้อมูลที่ไม่เคยพบเจอมาก่อนได้ดีที่สุดดังภาพที่ 11A กราฟสีเขียวมีคะแนน 0.002531 ตามด้วยกราฟสีชมพูที่ใช้ภาพขนาด 640 มีคะแนน 0.002634 ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ยังไม่ได้เพิ่มภาพจากอินเทอร์เน็ตเข้าไปจึงอนุมานได้ว่าความสับสนจากชุดข้อมูลมีน้อยกว่าชุดข้อมูลภาพข้างที่มาจากอินเทอร์เน็ตที่หลากหลายกว่า ตามด้วยกราฟสีน้ำเงินที่ใช้ภาพขนาด 416 มีคะแนน 0.002981 สุดท้ายกราฟสีเลือดหมูมีคะแนน 0.004121 เมื่อดูที่การใช้งานหน่วยประมวลผล ภาพที่ 11B พบว่าแบบจำลองที่ใช้ภาพ 320 (สีเขียว) มีการใช้งานหน่วยประมวลผลน้อยมาก ซึ่งใกล้เคียงกับแบบจำลองที่ยังไม่ได้เพิ่มภาพจากอินเทอร์เน็ต (สีชมพู) ตามด้วยแบบจำลองที่ใช้ภาพ 416 และ 640 ตามลำดับ



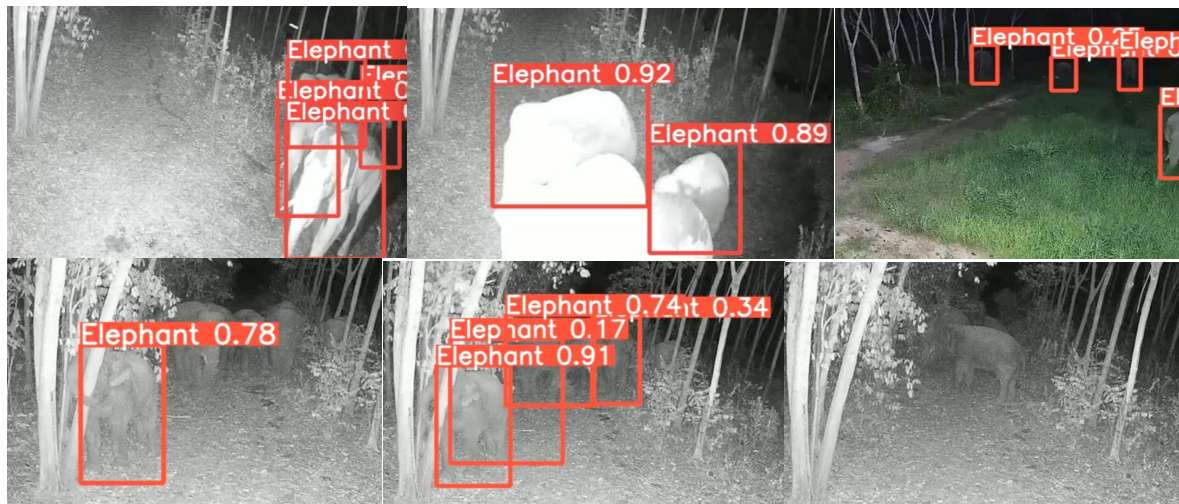
ภาพที่ 10 กราฟเปรียบเทียบการลดขนาดรูปภาพที่เพิ่มรูปจากอินเทอร์เน็ตเข้าไปกับ แบบจำลองที่ยังไม่ได้เพิ่ม



ภาพที่ 11 กราฟแสดงการแก้ปัญหาของแบบจำลองเมื่อเจอข้อมูลที่ไม่เคยพบกับการใช้งานหน่วยประมวลผล

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้แบบจำลอง Yolov5s ที่ใช้การสับทอไฮเปอร์พารามิเตอร์ VOC และขนาดแบทเท่ากับ 32 ประมวลผลภาพที่ 320px หลังจากติดตั้งระบบ 1 สัปดาห์ พบว่ากล้องวงจรปิดทั้ง 4 ตัวในจุดติดตั้งสามารถตรวจจับข้างได้ทันทีที่ข้างเดินผ่านกล้อง ซึ่งใกล้เคียงกับการมองเห็นของมนุษย์ที่สามารถระบุได้ว่าเป็นข้างจากภาพที่ 12 (ซ้ายบน) ระบบสามารถตรวจจับข้างได้ 4 เชือก ตรงตามที่มนุษย์เห็น เมื่อเดินเข้ามากลางภาพระบบตรวจจับได้ 2 เชือก (กลางบน) เนื่องจากแสงตกกระทบบนตัวข้างทำให้แยกไม่ออก ระบบสามารถตรวจจับข้างที่อยู่ไกลออกไปในมุมมืดได้ (ขวาบน) ข้างหลบหลังต้นไม้ ยืนซ้อนกันก็สามารถแจ้งเตือนได้ (ซ้ายและกลางล่าง) แต่เมื่อข้าง

อยู่หนึ่ง ๆ ระบบจะไม่ดักจับ (ขว้าง) ข้อสังเกตระบบสามารถแจ้งเตือนได้ดีถึงแม้จะเป็นภาพขนาดเล็ก ซึ่งต่างกับการมองเห็นของมนุษย์ที่รับรู้ว่าเป็นช้างได้เมื่อมองที่จอภาพขนาดใหญ่



ภาพที่ 12 ช้าง 4 เชือกเดินเข้ามาหากล้องจากมุมมืด และภาพช้างระยะไกลในมุมมืด ช้างยืนซ้อนและอยู่หนึ่ง

อภิปรายผล

โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันสามารถใช้ในงานเฝ้าระวัง เพื่อลดการเผชิญหน้ากันระหว่างช้างกับคนได้ ชุดข้อมูลที่ดีทำให้การประมวลผลด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน สามารถฝึกให้มีความแม่นยำสูงกับหน่วยประมวลผลขนาดเล็กได้ ด้วยขนาดช้างที่ใหญ่กับพื้นหลังที่แตกต่าง และการเคลื่อนไหวที่ แม้สภาพแสง และพฤติกรรมของช้างที่ชอบออกหากินเวลากลางคืน แบบจำลองขนาดเล็กสามารถทำงานได้ดี แม้ในสภาพแสงน้อยได้ โดยมีความแม่นยำเฉลี่ย $mAP_{0.5:0.95}$ อยู่ที่ 0.7559 $mAP_{0.5}$ อยู่ที่ 0.9795 และค่า Recall อยู่ที่ 0.957 มีค่าความผิดพลาดการทำนายผลอยู่ที่ 0.002531 และการสูญเสียการถดถอยขอบเขต (box_loss) อยู่ที่ 0.0071 เมื่อเทียบกับการมองด้วยสายตามนุษย์พบว่า การแจ้งเตือนช้างถูกต้อง แต่บางครั้งอาจจะช้ากว่าที่คนเห็นเล็กน้อย โดยเฉพาะช้างในมุมมืดที่อยู่ห่างไกลออกไป ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสามารถช่วยลดการทำงานของมนุษย์ลงได้ด้วยการแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ ทำให้ผู้ที่เกี่ยวข้องสามารถรับทราบข้อมูลเพื่อวางแผนผลักดันช้างได้รวดเร็ว จากงานวิจัยของ Kaewtathanawatthana and Brorewongtrakhul (2020) ชี้ให้เห็นว่างานวิจัยนี้สามารถแก้ไขปัญหาในระยะต้นที่ช่วยให้มนุษย์สามารถอาศัยอยู่ร่วมกับช้างโดยลดการเผชิญหน้าลงได้

ข้อเสนอแนะ

1. แบบจำลองที่ใช้มีขนาดเล็กเหมาะกับหน่วยประมวลผลขนาดเล็ก ซึ่งมีความแม่นยำไม่มาก ถ้ามีชุดข้อมูลการเรียนรู้ที่ดี ตรงตามเป้าหมายที่ระบบต้องเจอ จะทำให้สามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้ดี ถ้าต้องเพิ่มคลาสอื่น เช่น คน หรือยานพาหนะ อาจจะต้องเพิ่มข้อมูลให้ครอบคลุม ถ้าความแม่นยำไม่เป็นที่พอใจอาจต้องเปลี่ยนแบบจำลองให้ใหญ่ขึ้นเพื่อสกัดคุณลักษณะเฉพาะของภาพนั้นออกมา

2. แบบจำลองนี้ถูกฝึกฝนด้วยข้อมูลภาพในพื้นที่เฝ้าระวัง เมื่อนำไปใช้ในจุดอื่น พบว่ามีความผิดพลาดเกิดขึ้น เช่น เห็นเสาไฟฟ้าหรือใบไม้ขยับ ระบบคิดว่าเป็นช้าง ดังนั้นควรที่จะรวบรวม ชุดข้อมูลรูปภาพช้างในจุดติดตั้งอื่นใหม่เพื่อฝึกฝนเพิ่มเติมเสริมความแข็งแกร่งให้กับแบบจำลอง

3. ระบบดังกล่าวต้องอาศัยไฟฟ้าและอินเทอร์เน็ต ดังนั้นถ้าในพื้นที่ไม่มีไฟฟ้าอาจต้องอาศัยพลังงานแสงอาทิตย์ รวมถึงสัญญาณอินเทอร์เน็ตมือถือ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้ใหญ่บ้านหมู่ 10 และหมู่ 12 ตำบลทุ่งควายกิน อำเภอแกลง จังหวัดระยอง อาสาสมัครเฝ้าระวัง และผลักดันช้างป่า ที่อนุเคราะห์ข้อมูล และอำนวยความสะดวกในการลงพื้นที่ศึกษาเก็บข้อมูลการวิจัยและบริการวิชาการในครั้งนี้ รวมถึงบริษัท 3bb บริษัท Things Analytic และมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณีที่ได้สนับสนุนทั้งสัญญาณอินเทอร์เน็ต อุปกรณ์ และงบประมาณ

เอกสารอ้างอิง

- Duporge, L., Isupova, O., Reece, S., Macdonald, D., and Wang, T. (2020). Using very-high-resolution satellite imagery and deep learning to detect and count African elephants in heterogeneous landscapes. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 7, 369-381.
- Girshick, R., Donahue, J., Darrell, T., and Malik, J. (2014). Rich Feature Hierarchies for Accurate Object Detection and Semantic Segmentation. *The Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 23-28 June 2014, at USA, 580-587.
- Gur-Arie, L. (2022). *The practical guide for Object Detection with YOLOv5 algorithm* [Online]. Retrieved December 11, 2021, from: <https://towardsdatascience.com/the-practical-guide-for-object-detection-with-yolov5-algorithm-74c04aac4843>.
- Hongboonmee, N., and Sitthichokchaisiri, T. (2021). The Development of Application for Analysis of Eye Health with Image Recognition Using Deep Learning Technique. *Sripatum Review of Science and Technology*, 13(1), 7-21. (in Thai)
- Jagannathan, S., Kumar, V., and Meganathan, D. (2019). Design and implementation of in-situ human-elephant conflict management system. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 3, 2005-2013.
- Kaewtathanawatthana, P., and Broewongtrakhul, S. (2020). Guidelines for Solving Conflicts between human and Wild Elephants A case study: Phawa Sub-district, Kaeng Hang Maeo District, Chanthaburi. *Journal of Humanities and Social Sciences*, 12(2), 113-127. (in Thai)
- Kumar, V., Recupero, D., Riboni, D., and Helaoui, R. (2020). Ensembling Classical Machine Learning and learning approaches for Morbidity Identification from Clinical Notes. *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE 2021)*, 9, 7107-7126.

- Liu, S., Qi, L., Qin, H., Shi, J., and Jia, J. (2018). Path Aggregation Network for Instance Segmentation. *The Proceedings of the 2018 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 18-23 June 2018 at Salt Lake City, Utah, USA, 8759-8768.
- Madheswaran, K.M.S., Veerappan, K., and Kumar, V. (2019). Region Based Convolutional Neural Network for Human-Elephant Conflict Management System. *The Proceedings of the International Conference on Computational Intelligence in Data Science (ICCIDS 2019)*, 21-23 February 2019 at Chennai in India. (IEEE 2019), 1, 1-5.
- Noonto, B., Savini, C., Srikrachang, M., and Maneesrikum, C. (2018). *The Voice of the People, the Voice of the Wild Elephants: The Trend of Community Responses to the Management of Human-Elephant Conflict in Thailand*. Bangkok: Community-Based Research Division, The Thailand Research Fund (TRF). (in Thai)
- Sanguansat, P. (2019). *Artificial Intelligence with Machine Learning, AI can be created using machine learning*. Nonthaburi: ICD-premier. (in Thai)
- Solawetz, J. (2020). *yolov5 improvements and evaluation*. [Online]. Retrieved January 22, 2022, from: <https://blog.roboflow.com/yolov5-improvements-and-evaluation>.
- Ultralytics. (2021). *yolov5*. [Online]. Retrieved January 22, 2022, from: <https://github.com/ultralytics/yolov5>
- Unzueta, D. (2021). *Convolutional Layers vs Fully Connected Layers*. [Online]. Retrieved January 12, 2022, from: www.towardsdatascience.com/convolutional-layers-vs-fully-connected-layers
- Yamashita, R., Nishio, M., Kinh Gian Do, R., and Togashi, K. (2018). Convolutional neural networks: an overview and application in radiology. *Insights into Imaging*, 9(4), 611–629.
- Zhou, X., Gong, W., Fu, W., and Du, F. (2017). Application of deep learning in object detection. *The Proceedings of the IEEE/ACIS 16th International Conference on Computer and Information Science (ICIS 2017)*, 10-13 December 2017 at COEX Convention Centre (Seoul) in South Korea, 631-634.

การประยุกต์ดัชนีความแตกต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์จากอากาศยานไร้คนขับ เพื่อลดต้นทุนการใช้ปุ๋ยในการเพาะปลูกข้าวเจ้าพันธุ์ กข33

เกียรติกุลไชย จิตต์เอื้อ¹, เกรียงไกร ทานา^{2*}, ดี จันทรศุภฤกษ์³, พันธ์ชิตา เวชสาร⁴, ยศวริศ พันธุ์เสนีย์⁵

^{1,2}โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

³วิสาหกิจชุมชน หัวตะพานโมเดล ต.สร้างถ่อน้อย อ.หัวตะพาน จ.อำนาจเจริญ

^{4,5}ศูนย์วิจัยข้าวอุบลราชธานี ต.หนองขอน อ.เมือง จ.อุบลราชธานี

Received: 6 February 2023

Revised: 8 August 2023

Accepted: 24 November 2023

บทคัดย่อ

เนื่องจากเทคโนโลยีที่ล้ำสมัยในยุคปัจจุบัน เกษตรกรและหน่วยงานภาครัฐได้มีแนวโน้มการนำโดรนมาใช้ช่วยเหลือในกระบวนการการเพาะปลูกและการเกษตรมากขึ้น โดยเฉพาะเพื่อการลดต้นทุนแรงงานและการเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร คณะผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาการใช้ข้อมูลระยะไกลจากโดรนร่วมกับการใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องประเภทการจำแนกข้อมูลแบบกำกับดูแล (Supervised machine learning classification) เพื่อการช่วยในการบริหารจัดการการเพาะปลูกข้าวเจ้าให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ (1) เพื่อวิเคราะห์การเจริญเติบโตของข้าวเจ้าพันธุ์ กข33 ด้วยดัชนีพืชพรรณแบบ NDVI จากอากาศยานไร้คนขับ และ (2) เพื่อจำแนกพื้นที่เพาะปลูกข้าวเจ้าพันธุ์ กข33 จากภาพ NDVI และวิเคราะห์ความเหมาะสมของการใส่ปุ๋ย โดยพื้นที่ศึกษาเป็นแปลงทดลองปลูกข้าวของโครงการหัวตะพานโมเดล ณ อำเภอหัวตะพาน จังหวัดอำนาจเจริญ ผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยของ NDVI ของข้าวเจ้าพันธุ์ กข33 สูงสุดในวัฏภาคการเจริญเติบโตโดยไม่อาศัยเพศ และวัฏภาคสุกแก่ (NDVI มีค่า 0.2-0.4) และต่อมา NDVI มีค่าลดลงเนื่องจากต้นข้าวและรวงข้าวเปลี่ยนไปเป็นสีเหลือง ส่วนผลการวิเคราะห์การจำแนกข้อมูลสามารถจำแนกพื้นที่แปลงปลูกข้าวเป็น 3 ประเภท คือ พื้นที่ไม่มีต้นข้าว พื้นที่ต้นข้าวเบาบาง และพื้นที่ข้าวอุดมสมบูรณ์ ผลการทดสอบความแม่นยำด้วยเมตริกซ์ความคลาดเคลื่อน พบว่า มีค่าความถูกต้องโดยรวมร้อยละ 80 และได้ค่าสัมประสิทธิ์ความสอดคล้อง 0.68 นอกจากนี้งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์เทคนิคการจำแนกนี้เพื่อทดลองหาปริมาณปุ๋ยที่เหมาะสมตามประเภทพื้นที่ในแปลงทดลอง ผลการวิเคราะห์พบว่าสามารถลดปริมาณปุ๋ยในช่วงการเจริญเติบโตทางเมล็ดหรือช่วงกำลังออกรวงได้ถึงร้อยละ 6.67

คำสำคัญ: การรับรู้ระยะไกล ข้าวเจ้าพันธุ์ กข33 ดัชนีความแตกต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ การจำแนกข้อมูลแบบกำกับดูแล การเรียนรู้ของเครื่อง

* ผู้ประสานงานหลัก; อีเมล: kriengkrai_thana@rtaf.mi.th

Applying Normalized Difference Vegetation Index from UAV for Fertilizer Cost Reduction in Rice RD33 Cultivation

Kiatkulchai Jitt-Aer^{1,*}, Kriengkrai Thana², Dee Chunsuparer³, Phanchita Vejchasarn⁴,
Yotwarit Phansenee⁵

^{1,2}Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Air Force Academy

³Hua Thaphan Model community enterprise, Sang Tho Noi,
Hua Taphan, Amnat Charoen

^{4,5}Ubon Ratchathani Rice Research Center, Mueang, Ubon Ratchathani

Received: 6 February 2023

Revised: 8 August 2023

Accepted: 24 November 2023

Abstract

Due to the advanced technology in this era, farmers and government agencies are increasingly using UAVs to assist in cultivation and agriculture management, especially to reduce labor costs while increase agricultural productivity. Thus, we use of remote sensing data obtained from a drone and supervised classification for rice cultivation management to be more efficient. The specific objectives include 1) to analyze the growth of rice RD33 using the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) from an UAV and 2) to classify the cultivated area of rice RD33 from the NDVI image for analyzing the cost of fertilizer. Hua Taphan Model in Amnat Charoen Province is used as the study area in this study. Regarding the results, NDVI of rice RD33 showed the highest values during the reproductive phase (NDVI values between 0.2-0.4), and gradually decreases during the flowering and maturity phase. For data classification, the experimental farm was categorized into 3 classes: bare soil, low-density rice growing and high-density rice growing. Confusion matrix was used for assessing the overall accuracy and the Kappa coefficient which are 80 percent and 0.68 respectively. This research has applied the classification technique to determine the appropriate amount of fertilizer. The results of the research can reduce the amount of fertilizer during rice ripening phase by 6.67 percent.

Keywords: Remote Sensing, Rice RD33, Normalized Difference Vegetation Index,
Supervised Classification, Machine Learning

* Corresponding Author; E-mail: kriengkrai_thana@rtaf.mi.th

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันภาพถ่ายทางอากาศและข้อมูลดาวเทียมถูกนำมาใช้แก้ปัญหาและพัฒนางานด้านต่าง ๆ โดยใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ (Geo-informatics) แต่พบว่าข้อมูลการรับรู้ระยะไกลดังกล่าวมีต้นทุนค่อนข้างสูงในการนำมาประยุกต์ใช้งาน (Jitt-Aer et al., 2020) ซึ่งในปัจจุบันอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle หรือ UAV) กำลังได้รับความนิยมและใช้ประโยชน์ในทั้งภาครัฐและเอกชน เช่น งานด้านสำรวจและทำแผนที่ งานแก้ไขปัญหาล้างแ้วดล้อม โดยเฉพาะงานทางด้านการเกษตรเนื่องจากใช้ต้นทุนดำเนินการไม่สูงนัก (Phrommas and Chaiwong, 2021; Nattharith, 2021) และที่สำคัญข้อมูลที่ได้จากดาวเทียมยังมีข้อจำกัดในด้านเวลาและสภาพอากาศ ดังนั้นอากาศยานไร้คนขับจึงถูกนำมาใช้สำหรับงานด้านการเกษตรมากขึ้น (Charoonpatrapong et al., 2021) เช่น การฉีดพ่นปุ๋ย และการพ่นสารเพื่อป้องกันและกำจัดโรคพืช (Punyawattee et al., 2019) ซึ่งอากาศยานไร้คนขับในปัจจุบันสามารถติดตั้งระบบเซ็นเซอร์ (Sensor) ที่มีขีดความสามารถมากขึ้น เช่น กล้องแบบมัลติสเปกตรัม (Multispectral) ที่สามารถวัดค่าดัชนีความแตกต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ (Normalized Difference Vegetation Index หรือ NDVI) (Suksirisak, 2019) ที่สามารถนำไปวิเคราะห์สุขภาพและความสมบูรณ์ของพืชพรรณ ทำให้เกษตรกรสามารถตรวจพบพื้นที่การเพาะปลูกที่มีปัญหาได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพมากขึ้น นอกจากนี้ การใช้ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial intelligence หรือ AI) ควบคู่กับภาพถ่ายทางอากาศในงานการเกษตรทำให้บริหารจัดการแปลงพืชผักขนาดใหญ่ได้ง่ายดายและรวดเร็วมากขึ้น เช่น การประยุกต์ใช้การเรียนรู้เชิงลึก (Deep learning) ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทแบบคอนโวลูชัน (Convolutional Neural Network หรือ CNN) สำหรับการประเมินชีพลักษณะของข้าวเจ้า (Rice phenology) จากภาพถ่ายของอากาศยานไร้คนขับ (Yang et al., 2020)

ด้วยปัจจัยของการปลูกข้าวในประเทศไทยมีมากมายหลายอย่าง ตั้งแต่ปัญหาปัจจัยการผลิตราคาสูง ต้องพึ่งพาจากต่างประเทศ ทั้งปุ๋ยและสารเคมี การถ่ายทอดเทคโนโลยีการปลูกข้าวตามวิธีเกษตรกรรมที่ถูกต้องยังอยู่ในวงจำกัด ทำให้เกษตรกรต้องใช้ต้นทุนที่ค่อนข้างสูงในการปลูกข้าว เช่น การใส่ปุ๋ยและการใช้ยาฆ่าแมลงแบบทั่วพื้นที่แทนที่จะใช้เฉพาะพื้นที่ที่จำเป็นเท่านั้น ซึ่งต้องเสียค่าใช้จ่ายไม่เพียงแต่ค่าวัตถุดิบต่าง ๆ แต่รวมถึงเวลาและแรงงานด้วย (Qiu et al., 2021) ซึ่งการสำรวจและติดตามพื้นที่เพาะปลูกข้าวโดยใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ โดยเฉพาะการใช้ข้อมูลการรับรู้ระยะไกลนั้น พบว่ามีประสิทธิภาพมากกว่าทั้งในด้านแรงงาน เวลา และงบประมาณ (Jitt-Aer et al., 2020) งานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาค่าดัชนี NDVI จากข้าวเจ้าพันธุ์ กข33 (หอมอุบล 80) โดยการประยุกต์ใช้ดัชนี NDVI มาจำแนกข้อมูลพื้นที่เพาะปลูกแบบกำกับดูแล (Supervised machine learning classification) ทำให้เกษตรกรสามารถระบุจุดหรือพื้นที่การเพาะปลูกข้าวเจ้าที่มีปัญหาได้ง่าย รวดเร็ว และแม่นยำขึ้น หรือระบุพื้นที่เพาะปลูกข้าวเจ้าที่ควรได้รับการบำรุงรักษา เช่น การใส่ปุ๋ย ทำให้เกษตรกรลดเวลาและต้นทุนในการเพาะปลูกข้าวเจ้ามากขึ้น

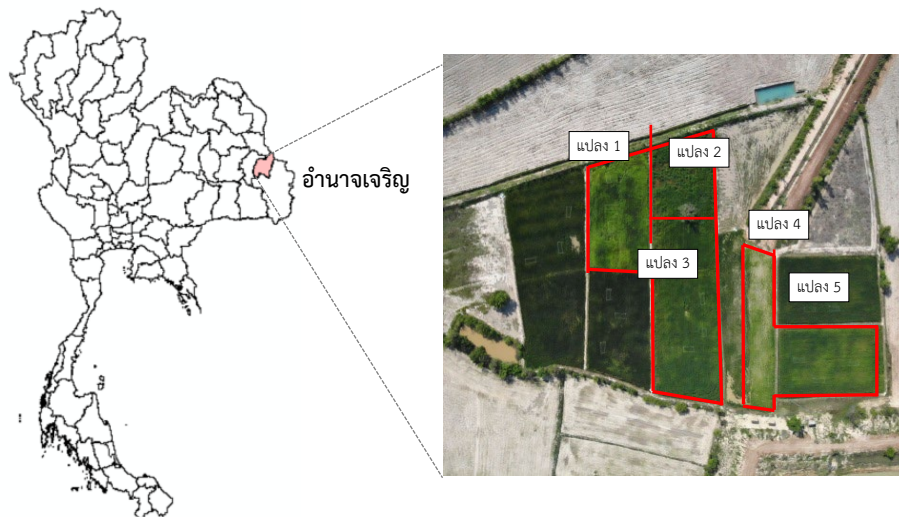
วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อวิเคราะห์การเจริญเติบโตของข้าวเจ้าพันธุ์ กข33 ด้วยดัชนีพืชพรรณแบบ NDVI จากอากาศยานไร้คนขับ
2. เพื่อจำแนกพื้นที่เพาะปลูกข้าวเจ้าพันธุ์ กข33 จากภาพ NDVI และวิเคราะห์ความเหมาะสมของการใส่ปุ๋ย

ขอบเขตการวิจัย

ขอบเขตพื้นที่ศึกษา

คณะผู้วิจัยนี้ได้ศึกษาแปลงปลูกข้าวทดลองในพื้นที่โครงการห้วยตะพานโมเดล ตั้งอยู่ที่หมู่บ้านค่าน้อย หมู่ 2 ตำบลสร้างถ่อน้อย อำเภอห้วยตะพาน จังหวัดอำนาจเจริญ โดยแปลงปลูกข้าวทดลองในพื้นที่โครงการห้วยตะพานโมเดล มีพื้นที่สำหรับปลูกข้าวเจ้าพันธุ์ กข33 จำนวน 5 แปลง เนื้อที่ประมาณ 7,200 ตารางเมตร หรือประมาณ 4.5 ไร่ ดังแสดงตามภาพที่ 1 โดยพื้นที่ของแปลงที่ 1 ถึง 5 มีขนาด 0.88, 1.1, 1.1, 0.5 และ 0.92 ไร่ ตามลำดับ



ภาพที่ 1 พื้นที่แปลงทดลองเพาะปลูกข้าวเจ้าพันธุ์ กข33 ในโครงการห้วยตะพานโมเดล จังหวัดอำนาจเจริญ

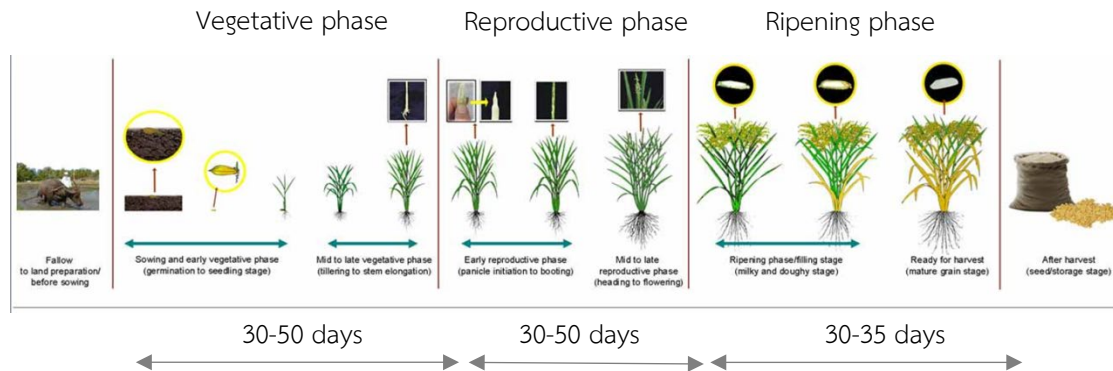
ขอบเขตด้านเนื้อหา

ผู้วิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาค่าดัชนี NDVI ของข้าวเจ้าพันธุ์ กข33 จากเซ็นเซอร์มัลติสเปกตรัมที่ติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับ โดยสำรวจเก็บค่าดัชนี NDVI ในหลายช่วงเวลาการเพาะปลูก และนำค่า NDVI มาใช้จำแนกข้อมูลแบบกำกับดูแลด้วยอัลกอริทึม Maximum likelihood สำหรับการทดลองหาปริมาณการใส่ปุ๋ยครั้งที่ 3 ในช่วงวัฏภาคเจริญพันธุ์ และเครื่องมือที่ใช้ดำเนินการวิจัยและวิเคราะห์ผลวิจัยประกอบไปด้วยซอฟต์แวร์ ArcGIS 10.7 สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS)

แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ข้าวเจ้าพันธุ์ กข33

ข้าวพันธุ์ กข33 เป็นข้าวเจ้าประเภทไม่ไวต่อช่วงแสง ที่พบในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคภาคเหนือตอนบน วัฏจักรการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ กข33 แบ่งเป็น 3 วัฏภาค คือ วัฏภาคการเจริญเติบโตโดยไม่อาศัยเพศ (Vegetative phase) วัฏภาคเจริญพันธุ์ (Reproductive phase) และวัฏภาคสุกแก่ (Ripening phase) ดังแสดงตามภาพที่ 2 โดยแต่ละระยะการเจริญเติบโต มีรายละเอียดดังนี้



ภาพที่ 2 วัฏจักรการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ กข33
(Rice Knowledge Bank, 2016)

- (1) วัฏภาคการเจริญเติบโตโดยไม่อาศัยเพศ เริ่มต้นตั้งแต่เมล็ดข้าวเริ่มงอก ประมาณ 20 วันหลังหว่าน และระยะแตกกอ เริ่มต้นตั้งแต่มีการปักดำข้าวจนถึงข้าวสร้างรวงอ่อน หรือประมาณ 30-50 วันหลังปักดำ
- (2) วัฏภาคเจริญพันธุ์ จะใช้เวลาประมาณ 30-50 วัน หลังข้าวแตกกอสูงสุด ระยะแรกคือระยะสร้างรวงอ่อน เป็นช่วงที่ข้าวมีการเจริญเติบโตเต็มที่ ระยะต่อมาคือระยะตั้งท้อง ระยะนี้จะเห็นต้นข้าวมีลักษณะกลมพอง ขึ้นอย่างชัดเจน และระยะออกดอกและผสมพันธุ์ เป็นช่วงที่ข้าวจะส่งรวงพ้นจากกาบใบ ดอกข้าวจะบานและละอองเกสรตัวผู้จะร่วงลงบนเกสรตัวเมีย
- (3) วัฏภาคสุกแก่ เริ่มจากการผสมเกสรของดอกข้าว ภายในเมล็ดข้าวมีลักษณะคล้ายน้ำมันแล้วจะเปลี่ยนเป็นแป้งแข็งจนกระทั่งสุกแก่ ในระยะนี้จะใช้เวลาประมาณ 30-35 วัน

การสะท้อนเชิงสเปกตรัมของพืชพรรณ

วัตถุต่าง ๆ ที่ปกคลุมบนพื้นผิวโลก จะมีปฏิสัมพันธ์กับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในการสะท้อน การดูดกลืน และการส่งผ่านพลังงานที่แตกต่างกัน จากสมบัติดังกล่าวจะสามารถจำแนกวัตถุชนิดต่าง ๆ ในรูปแบบของลายเซ็นเชิงคลื่น (Spectral signature) ที่มีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกันไป (Srithalam et al., 2018)

ค่าดัชนีความแตกต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์

โดยพืชปกติที่แข็งแรงจะมีการนำแสงในช่วงคลื่นที่ตามองเห็น (RGB) ไปใช้ในการสังเคราะห์แสง และจะสะท้อนแสงในช่วงคลื่นอินฟราเรดออกไปมาก ส่วนพืชที่อ่อนแอหรืออยู่ในสภาพเครียดจะไม่สามารถนำแสงในช่วงคลื่นที่ตามองเห็นไปใช้ในการสังเคราะห์แสงได้เต็มที่และสะท้อนกลับออกมา นอกจากนี้จะสะท้อนแสงในช่วงคลื่นอินฟราเรดออกไปน้อยกว่าปกติด้วย ดังนั้น จึงสามารถนำหลักการดังกล่าวไปประยุกต์ตรวจสอบคุณภาพของพืชได้ (Beisel et al., 2018) โดยกระบวนการการวิเคราะห์ดัชนีพืชพรรณใช้คุณสมบัติของช่วงคลื่นแสงสีแดง (Red) โดยที่พืชมีการสะท้อนในช่วงนี้น้อย และคุณสมบัติของช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (NIR) โดยที่พืชมีการสะท้อนในช่วงนี้มาก และนำทั้ง 2 ช่วงคลื่นมาสร้างสมการอัตราส่วนทางคณิตศาสตร์เพื่อหาค่าดัชนี NDVI ได้ดังนี้

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

โดยที่ NIR คือ ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ และ Red คือ ช่วงคลื่นแสงสีแดง โดยที่ค่าดัชนี NDVI จะอยู่ในช่วง -1 ไปจนถึง +1 ซึ่งแปลผลถึงคุณภาพพืชพรรณหรือปริมาณพืชพรรณได้ ตัวอย่างเช่น ค่าดัชนี NDVI น้อยกว่า 0.1 หมายถึงไม่มีพืชพรรณอยู่ในพื้นที่สำรวจ ค่าดัชนี NDVI ระหว่าง 0.10-0.59 หมายถึงมีพืชพรรณอยู่น้อยหรือแบบกระจัดกระจาย ในขณะที่ค่าดัชนี NDVI มีค่าสูงระหว่าง 0.8 หรือ 0.9 หมายถึงมีพืชพรรณหนาแน่นมากในพื้นที่ (Yasowong and Charasakulchai, 2013)

วิธีดำเนินการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

คณะผู้วิจัยใช้อากาศยานไร้คนขับในการรวบรวมข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ คือ อากาศยานไร้คนขับยี่ห้อ DJI Phantom 4 Multispectral ที่มีเซ็นเซอร์แบบหลายช่วงคลื่นในการบันทึกภาพ (Band 1: Blue, Band 2: Green, Band 3: Red, Band 4: Red Edge, Band 5 : Near Infrared) สำหรับแผนการบินสามารถสร้างแนวการบินบันทึกภาพอัตโนมัติในแอปพลิเคชัน Pix4D Capture ซึ่งการบินสำรวจจะดำเนินการระหว่าง 10.00 ถึง 11.00 นาฬิกา และบินที่ความสูง 20 เมตร ซึ่งให้ความละเอียดเชิงพื้นที่ 0.55 เซนติเมตร

การรวบรวมข้อมูล

การทดลองได้ดำเนินการในฤดูการปลูกข้าวนาปี (ระหว่างเดือนพฤษภาคม-กรกฎาคม) โดยทำการเพาะปลูกข้าวเจ้าพันธุ์ กข33 ด้วยวิธีการหว่าน โดยเริ่มหว่านในวันที่ 11 กุมภาพันธ์ 2564 และการเก็บข้อมูลแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนที่ 1 เป็นการเก็บภาพถ่ายมัลติสเปกตรัมของแปลงปลูกข้าวทดลอง โดยการเก็บข้อมูลนี้แบ่งออกเป็น 3 ช่วงเวลา เพื่อให้ครอบคลุมวัฏภาคการเจริญเติบโต (Growth phase) ของข้าวทั้ง 3 วัฏภาคของระยะการเจริญเติบโต รายละเอียดตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การเก็บข้อมูลภาพมัลติสเปกตรัมด้วยอากาศยานไร้คนขับ

ระยะการเจริญเติบโตของข้าว	วันที่สำรวจ	ระยะเวลาหลังการหว่าน
วัฏภาคการเจริญเติบโตโดยไม่อาศัยเพศ	4 และ 10 เมษายน 2564	52 และ 58 วัน ตามลำดับ
วัฏภาคเจริญพันธุ์	25 และ 28 พฤษภาคม 2564	103 และ 106 วัน ตามลำดับ
วัฏภาคสุกแก่	15 และ 19 มิถุนายน 2564	124 และ 128 วัน ตามลำดับ

การเก็บข้อมูลขั้นตอนที่ 2 เป็นการเก็บข้อมูลการหว่านปุ๋ยในแปลงข้าวทดลอง โดยการเก็บข้อมูลนี้แบ่งออกเป็น 3 ครั้ง ตามคำแนะนำของศูนย์วิจัยข้าวอุบลราชธานี คือ ครั้งที่ 1 ใส่ปุ๋ยสูตร 16-20-0 อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ หลังหว่าน 20 วัน ครั้งที่ 2 ใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0 อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ ในระยะแตกกอ ครั้งที่ 3 ใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0 อัตรา 10 กิโลกรัมต่อไร่ ในระยะสร้างรวงอ่อน โดยการคำนวณอัตราการหว่านปุ๋ยในช่วงเวลาดังกล่าว ดังแสดงในตารางที่ 2

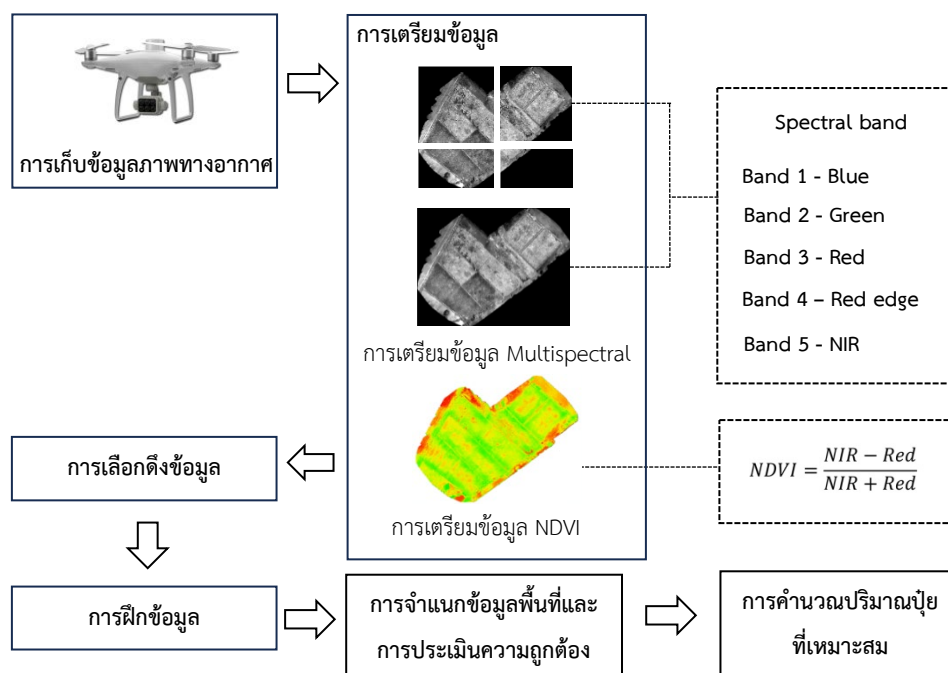
ตารางที่ 2 ข้อมูลการใส่ปุ๋ยในแปลงทดลอง

รายละเอียดปุ๋ย	วันที่ใส่ปุ๋ย	ปริมาณปุ๋ยที่ใช้ (กก.)				
		แปลง 1	แปลง 2	แปลง 3	แปลง 4	แปลง 5
ครั้งที่ 1 สูตร 16-2-0 (30 กก./ไร่)	3 มีนาคม 2564	26.4	33.0	33.0	15.0	27.6
ครั้งที่ 2 สูตร 46-0-0 (15 กก./ไร่)	6 เมษายน 2564	13.2	16.5	16.5	7.5	13.8
ครั้งที่ 3 สูตร 46-0-0 (10 กก./ไร่)	20 พฤษภาคม 2564	8.8	11.0	11.0	5.0	9.2

โดยลักษณะดินบริเวณพื้นที่การทดลองมีลักษณะเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง (SiCL) ซึ่งมีลักษณะ คือ เป็นกลุ่มชุดดินที่เกิดจากวัตถุดิบกำเนิดดินพวกตะกอนลำนํ้า อย่างไรก็ตาม ได้ส่งตัวอย่างดินไปวิเคราะห์คุณภาพเพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการปรับปรุงดินก่อนทำการทดลอง พบว่าเป็นดินที่เหมาะสมกับการเพาะปลูกข้าว รวมถึงในระหว่างการทดลองช่วงการให้ปุ๋ยตามคำแนะนำของศูนย์วิจัยข้าวอุบลราชธานี

การดำเนินการจำแนกข้อมูล

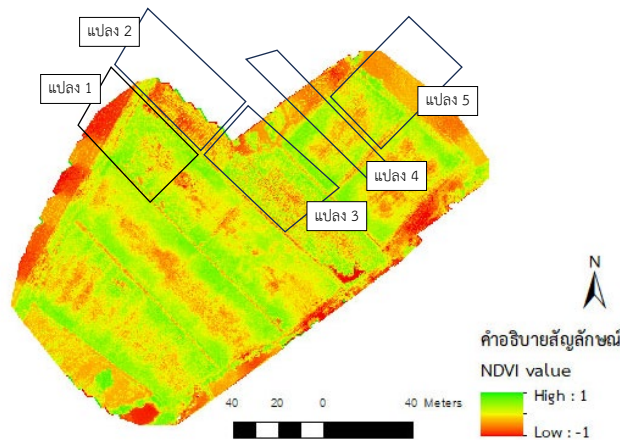
เริ่มจากการใช้อากาศยานไร้คนขับถ่ายภาพเก็บข้อมูลภาพของแปลงทดลอง โดยมีขั้นตอนการประมวลผลภาพ เริ่มจากการนำภาพมัลติสเปกตรัมที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับหลาย ๆ ภาพมารวมกันด้วยวิธีโมเสคภาพ (Mosaic) ซึ่งวิธีการนี้ใช้การซ้อนทับกัน (Overlap) ที่บริเวณรอยต่อของแต่ละภาพเข้าด้วยกันเพื่อรวมกันเป็นภาพเดียว คือ ภาพถ่ายออร์โธ (Orthophoto photo) ที่ระยะพื้นต่อพิกเซล (Ground sample distance หรือ GSD) ขนาด 2 เซนติเมตร จากนั้นใช้ภาพช่วงความยาวคลื่นแสงสีแดง (Red) และช่วงความยาวคลื่นอินฟราเรดใกล้ (NIR) มาดำเนินการคำนวณเพื่อให้ได้ภาพแสดงดัชนีความแตกต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ (NDVI) จากนั้นจึงใช้เทคนิคการจำแนกข้อมูลภาพ เพื่อคำนวณหาปริมาณปุ๋ยที่ใช้อย่างเหมาะสม โดยมีขั้นตอนดังแสดงตามภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

การคำนวณดัชนีความแตกต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์

ในขั้นตอนนี้เป็นการนำภาพมัลติสเปกตรัมที่ได้จากการถ่ายภาพของอากาศยานไร้คนขับบนพื้นที่แปลงทดลอง มาผสมกันให้เป็นภาพแสดงดัชนี NDVI ซึ่งเกิดจากการคำนวณจากช่วงความยาวคลื่น 2 ช่วง คือ band 3 (Red) และ band 5 (NIR) การได้มาซึ่งภาพแสดงดัชนี NDVI และการคำนวณได้จากสมการคณิตศาสตร์ ดังแสดงตามภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ภาพแสดงค่าดัชนีความแตกต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์

การเลือกและการฝึกข้อมูลสำหรับการจำแนกข้อมูล

งานวิจัยนี้ใช้การจำแนกข้อมูลแบบกำกับดูแลในการจำแนกพื้นที่เพาะปลูกข้าวเจ้าพันธุ์ กข33 โดยขั้นตอนการจำแนกพื้นที่นั้นเริ่มจากการเลือกดึงประเภข้อมูล (Feature extraction) ออกเป็น 3 กลุ่ม (Class) คือ สิ่งปกคลุมอื่นที่ไม่ใช่ต้นข้าว (พื้นดินและพื้นน้ำ) พื้นที่ต้นข้าวเบาบาง และพื้นที่ข้าวอุดมสมบูรณ์ โดยแต่ละกลุ่มถูกเลือกเก็บแบบวิธีสุ่ม (Random) เพื่อนำไปใช้เป็นชุดข้อมูลสำหรับการฝึก

การประเมินความถูกต้องของการจำแนกข้อมูล

งานวิจัยนี้ใช้วิธีการประเมินผลการจำแนกด้วยการใช้เมตริกซ์ความคลาดเคลื่อน (Confusion matrix) ซึ่งเป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลอ้างอิงกับผลลัพธ์ที่ได้จากการจำแนกข้อมูล โดยจะจัดข้อมูลอ้างอิงให้อยู่ในแถว และจัดข้อมูลที่ได้จากการจำแนกอยู่ในคอลัมน์ของตารางเมตริกซ์ความคลาดเคลื่อน ซึ่งสามารถหาค่าความถูกต้องโดยรวม (Overall accuracy) ความถูกต้องของผู้ใช้ (User's accuracy) ความถูกต้องของผู้ผลิตแผนที่ (Producer's accuracy) และค่าสัมประสิทธิ์ความสอดคล้อง (Kappa coefficient) เพื่อใช้สำหรับการประเมิน

ผลการวิจัย

การศึกษาการประยุกต์ภาพมัลติสเปกตรัมจากอากาศยานไร้คนขับสำหรับการปลูกข้าวเจ้าพันธุ์ กข33 ด้วยเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง ซึ่งได้แบ่งผลการวิจัยเป็น 2 ส่วน คือ (1) การวิเคราะห์ดัชนี NDVI ของข้าวเจ้า และ (2) ผลการจำแนกพื้นที่เพาะปลูกข้าวเจ้าสำหรับการบริหารจัดการต้นทุนการใช้น้ำ ดังแสดงรายละเอียดต่อไปนี้

1. การวิเคราะห์ค่าดัชนีความแตกต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ของข้าวเจ้าพันธุ์ กข33

ผลจากการรวมวิธีประมวลผลภาพทำให้ได้ค่าการสะท้อนช่วงคลื่นของข้าวพันธุ์ กข33 จากนั้นนำไปคำนวณดัชนี NDVI ในระยะการเจริญเติบโตซึ่งประกอบด้วย 3 ภูมิภาคซึ่งผลจากการเก็บข้อมูลภาพมัลติสเปกตรัมจำนวนทั้งหมด 6 วัน สามารถแสดงผลทางสถิติของค่าดัชนี NDVI ได้ตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าทางสถิติของดัชนีความแตกต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ของข้าวเจ้าพันธุ์ กข33

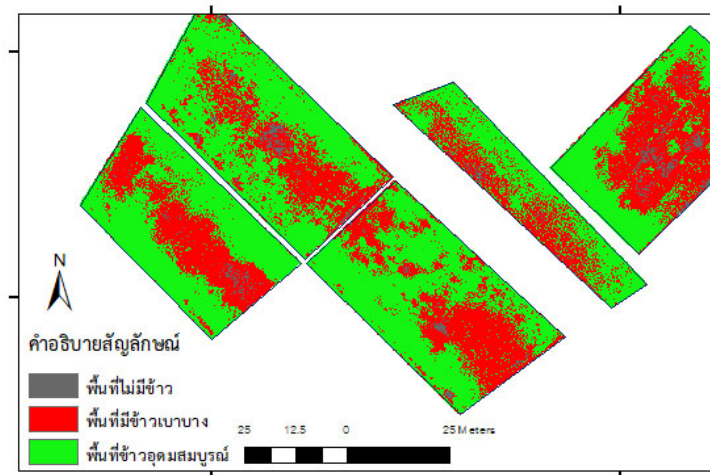
วันที่	อายุข้าว (วัน)	ค่าทางสถิติของดัชนี NDVI			
		ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
4 เมษายน 2564	52	-0.6692	0.7179	0.1101	0.0909
10 เมษายน 2564	58	-0.6181	0.7106	0.1864	0.0887
25 พฤษภาคม 2564	103	-0.4794	0.6670	0.1987	0.0866
28 พฤษภาคม 2564	106	-0.4395	0.7410	0.2438	0.0843
15 มิถุนายน 2564	124	-0.4031	0.6457	0.1057	0.0611
19 มิถุนายน 2564	128	-0.3150	0.7148	0.1070	0.0323

ผลการจำแนกข้อมูล

จากข้อมูลที่ใช้ในการฝึกทั้ง 3 กลุ่มนั้น ทำให้ได้ผลค่าสถิติต่าง ๆ ของดัชนี NDVI ในชุดข้อมูลที่ใช้สำหรับฝึกดังแสดงในตารางที่ 4 และผลการจำแนกข้อมูลทั้ง 3 กลุ่มด้วยการเรียนรู้ของเครื่องสามารถแสดงได้ตามภาพที่ 5

ตารางที่ 4 ค่าทางสถิติของชุดข้อมูลสำหรับการฝึกของแต่ละกลุ่มข้อมูล

ชื่อกลุ่มข้อมูล (Class)	ค่าทางสถิติ NDVI			
	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
พื้นที่ไม่มีต้นข้าว	-0.54	0.37	-0.22	0.08
พื้นที่ต้นข้าวเบาบาง	-0.36	0.54	0.00	0.08
พื้นที่ข้าวอุดมสมบูรณ์	0.01	0.71	0.45	0.05



ภาพที่ 5 ผลการจำแนกข้อมูลพื้นที่ด้วยเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง

ผลการจำแนกข้อมูลพื้นที่ทั้ง 3 กลุ่มด้วยเทคนิคการเรียนรู้ด้วยเครื่องสามารถตรวจสอบความถูกต้องเบื้องต้นด้วยการเทียบกับภาพถ่ายทางอากาศบนแปลงทดลองจริงเมื่อวันที่ 25 พฤษภาคม 2564 แต่อย่างไรก็ตาม ผลการวิเคราะห์การจำแนกข้อมูลด้วยการเรียนรู้ของเครื่อง สามารถดำเนินการทดสอบความแม่นยำด้วยการใช้ข้อมูลอ้างอิง (Reference data) ซึ่งในการศึกษานี้ข้อมูลอ้างอิงคือสภาพจริงของแปลงข้าวทั้ง 5 แปลง โดยกำหนดจุดตำแหน่งโดยวิธีสร้างจุดสุ่ม (Random points) ในโปรแกรม ArcGIS 10.7 สำหรับตรวจสอบความถูกต้องจำนวน 60 จุด และใช้ตารางเมตริกซ์ความคลาดเคลื่อน (Confusion matrix) หาค่าความแม่นยำ แสดงตามตารางที่ 5

ตารางที่ 5 เมตริกซ์ความคลาดเคลื่อนของการจำแนกข้อมูล

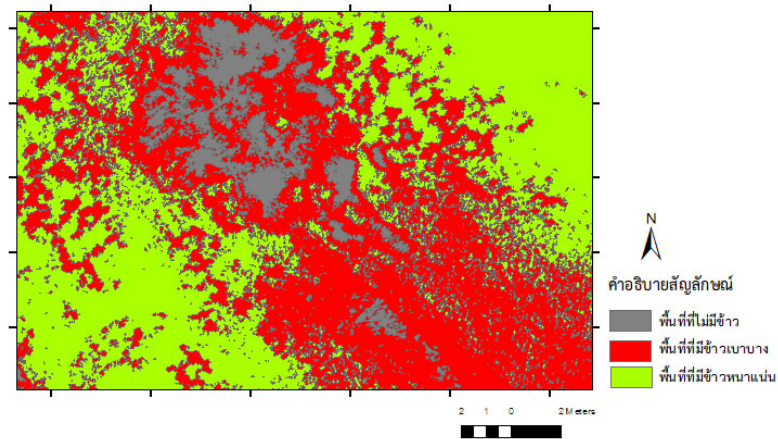
		Observed Classes				
Predict Classes	Class	พื้นที่ไม่มีต้นข้าว	พื้นที่ต้นข้าวเบาบาง	พื้นที่ข้าวอุดมสมบูรณ์	Total	User's accuracy
	พื้นที่ไม่มีต้นข้าว	8	7	0	15	53%
	พื้นที่ต้นข้าวเบาบาง	1	21	2	24	88%
	พื้นที่ข้าวอุดมสมบูรณ์	0	2	19	21	90%
	Total	9	30	21	Overall Accuracy	
	Producer's accuracy	89%	70%	90%	80%	

จากผลการทดสอบความแม่นยำของการใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องด้วยวิธี Maximum likelihood เพื่อจำแนกข้อมูลในพื้นที่แปลงข้าวเจ้าพันธุ์ กข33 พบว่า มีค่าความถูกต้องโดยรวม (Overall accuracy) ร้อยละ 80 และได้ค่าสัมประสิทธิ์ความสอดคล้อง (Kappa coefficient) เท่ากับ 0.68

2. ผลการนำเทคนิคการจำแนกข้อมูลไปใช้เพื่อจัดการปริมาณการใช้น้ำ

ในขั้นตอนนี้เป็นการประมวลผลภาพที่มีคุณสมบัติเป็นข้อมูลแบบกริด (Raster data) จึงต้องทำการปรับเปลี่ยนข้อมูลแบบกริดให้เป็นข้อมูลแบบเวกเตอร์ (Vector data) โดยใช้เครื่องมือประมวลผล (Raster to Polygon)

ในโปรแกรม ArcGIS 10.7 ได้ผลลัพธ์ตามภาพที่ 6 ซึ่งเป็นข้อมูลเวกเตอร์ที่จำแนกพื้นที่ทั้ง 3 กลุ่ม คือ พื้นที่ที่ไม่มีข้าว พื้นที่ที่มีข้าวเบาบาง และพื้นที่ที่มีข้าวหนาแน่น และนำไปหาขนาดพื้นที่แต่ละกลุ่มพื้นที่ในตารางข้อมูลอรรถาธิบาย (Attribute table) ได้ผลลัพธ์ตามตารางที่ 6



ภาพที่ 6 ข้อมูลเวกเตอร์พื้นที่ที่ไม่มีต้นข้าว พื้นที่ที่มีต้นข้าวเบาบาง และพื้นที่ข้าวอุดมสมบูรณ์

ตารางที่ 6 ขนาดพื้นที่จำแนกตามกลุ่มข้อมูล

ชื่อกลุ่มข้อมูล	สัญลักษณ์	พื้นที่ (ตร.ม.)	พื้นที่ (ไร่)
พื้นที่ไม่มีต้นข้าว		486	0.30
พื้นที่ต้นข้าวเบาบาง		2,280	1.42
พื้นที่ข้าวอุดมสมบูรณ์		4,377	2.74

โดยงานวิจัยนี้จำกัดการศึกษาที่การใส่ปุ๋ยครั้งที่ 3 ในช่วงข้าวอยู่ในระยะข้าวออกรวง (วัฏภาคเจริญพันธุ์) ซึ่งในระยะที่เกษตรกรต้องใส่ปุ๋ย ครั้งที่ 3 เป็นปุ๋ยสูตร 46-0-0 อัตรา 10 กิโลกรัมต่อไร่ (ตารางที่ 2) ซึ่งพื้นที่แปลงทดลองปลูกข้าวมีขนาด 4.5 ไร่ จะต้องใช้ปุ๋ยปริมาณ 45 กิโลกรัม ดังนั้นการประยุกต์รวมกับการจำแนกข้อมูลด้วยเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง การคำนวณอัตราการใส่ปุ๋ยในช่วงเวลาดังกล่าว จะสามารถวางแผนเตรียมปุ๋ยเฉพาะบริเวณที่เหมาะสมกับพื้นที่ปลูกข้าวเท่านั้น โดยผลการวิเคราะห์ข้อมูลการจำแนกพื้นที่ทำให้ทราบว่าพื้นที่ว่างเปล่าที่ไม่มีความจำเป็นต้องหว่านปุ๋ยซึ่งมีขนาด 0.3 ไร่ (ตารางที่ 6) คิดเป็นปริมาณปุ๋ยที่ลดได้เป็น 3 กิโลกรัม ดังนั้น การบริหารจัดการปริมาณปุ๋ยที่เหมาะสมสามารถคำนวณได้ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 อัตราการหว่านปุ๋ยในแปลงทดลอง

รายละเอียดปุ๋ย	ช่วงเวลา	ปริมาณปุ๋ยวิธีเดิม	ปริมาณปุ๋ยใช้เฉพาะพื้นที่	ร้อยละที่ลดลง
สูตร 46-0-0 (10 กก./ไร่)	ระยะสร้าง รวงอ่อน	45 กก.	42 กก.	6.67

อภิปรายผล

จากการประมวลผลค่าดัชนี NDVI เห็นได้ว่าเมื่ออายุข้าวมากขึ้น ค่าต่ำสุดของดัชนี NDVI มีแนวโน้มสูงขึ้น ซึ่งการที่ค่าต่ำสุดของดัชนี NDVI มีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุของข้าวสามารถแปลความได้ว่าข้าวเกิดการแตกใบและกระจุกตัว เป็นก่อให้เกิดบังสิ่งปกคลุมดินมากขึ้น (NDVI -0.6692 ถึง -0.4395) โดยสอดคล้องกับค่าเฉลี่ยของดัชนี NDVI ในวัฏภาคการเจริญเติบโตโดยไม่อาศัยเพศและในวัฏภาคเจริญพันธุ์ (52-106 วัน) ที่มีแนวโน้มค่าเฉลี่ยสูงขึ้น (NDVI 0.1101 ถึง 0.2438) หมายถึงข้าวมีการเจริญเติบโตทั้งทางลำต้นและใบที่มีสีเขียวและแตกกอหนาขึ้น โดยสังเกตได้จากข้อมูลค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่มีแนวโน้มดีขึ้น (แนวโน้มลดลง) นั่นคือเมื่ออายุข้าวมากขึ้นจะมีการกระจุกตัวของข้าวมากขึ้นด้วย แต่อย่างไรก็ตาม หลังข้าวเริ่มออกรวงในวัฏภาคการเจริญเติบโตโดยไม่อาศัยเพศ ค่าเฉลี่ยดัชนี NDVI มีค่าลดลงตามลำดับ (NDVI 0.2438 ถึงประมาณ 0.1) ตีความได้ว่าใบต้นข้าวและรวงข้าวมีการเปลี่ยนจากสีเขียวไปเป็นสีเหลืองทำให้ค่าเฉลี่ยลดลง (วันที่ 125-128) ซึ่งไม่สอดคล้องกับค่าต่ำสุดของดัชนี NDVI ในช่วงเดียวกันนี้ ทั้งนี้ แม้ว่าสีเขียวของข้าวลดลง แต่ความหนาแน่นของต้นข้าวและรวงข้าวยังคงทำให้สิ่งปกคลุมดินอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ข้าวคงมีพื้นที่เท่าเดิมกับวัฏภาคเจริญพันธุ์ ทำให้ค่าต่ำสุดของดัชนี NDVI มีแนวโน้มไม่แตกต่างจากเดิมมากนัก (NDVI -0.4031 ถึง -0.3150) ในขณะที่ค่าสูงสุดของดัชนี NDVI แสดงข้อมูลสอดคล้องกับค่าเฉลี่ย คือ ตลอดระยะเวลาการเจริญเติบโตของข้าว ค่าสูงสุดของดัชนี NDVI จะอยู่ในวัฏภาคสุกแก่ที่ประมาณ 106 วัน ซึ่งค่าเฉลี่ยของดัชนี NDVI สูงกว่าช่วงอื่น ๆ (NDVI เฉลี่ยที่ 0.2438) และลดลงในช่วงเวลาใกล้เคียงกับเกี่ยว (NDVI เฉลี่ยที่ประมาณ 0.1 เมื่อใกล้วันที่ 128)

การประยุกต์เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องประเภทการจำแนกข้อมูลแบบกำกับดูแลกับแปลงปลูกข้าวทดลอง เพื่อจำแนกข้อมูลเชิงพื้นที่ 3 กลุ่ม คือ พื้นที่ไม่มีต้นข้าว (ค่าเฉลี่ย NDVI -0.22) พื้นที่มีต้นข้าวเบาบาง (ค่าเฉลี่ย NDVI 0.00) และพื้นที่ข้าวอุดมสมบูรณ์ (ค่าเฉลี่ย NDVI 0.45) นั้น ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทำให้ทราบว่า การจำแนกมีความถูกต้องโดยรวมอยู่ในเกณฑ์ดี โดยค่าสัมประสิทธิ์ความสอดคล้องได้จากการเปรียบเทียบจากข้อมูลอ้างอิงที่ทำการสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศมีความสอดคล้องกับค่าที่เครื่องได้ทำนายบนพื้นฐานของชุดข้อมูลการฝึก โดยปัจจัยด้านอัลกอริทึมและคุณภาพของข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศจึงส่งผลกระทบต่อความแม่นยำในการจำแนกข้อมูลพื้นที่ อย่างไรก็ตาม ความแม่นยำของการจำแนกอาจดีขึ้นหากใช้ดัชนีอื่น ๆ เพิ่มเติมจาก NDVI เช่น NDRI (Normalized Difference Red Edge Index) และ RECI (Red Edge Chlorophyll Index) (Wang et al., 2022) หรือการประยุกต์ใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก (Deep learning) เช่น การใช้อัลกอริทึมโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน (Convolutional neural network : CNN) (Cheewaparakobkit, 2019) และประยุกต์ CNN ในการตรวจจับชีพลักษณะของการเจริญเติบโตของข้าว (Yang et al., 2020) นอกจากนี้ หากนำวิธีการวิจัยนี้ประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ประมวลผลดัชนี NDVI จากสัญญาณภาพจากอากาศยานไร้คนขับแบบเวลาจริง (Suksirisak, 2019; Yang et al., 2020) จะทำให้ประหยัดเวลาในการดำเนินการในขณะที่เพิ่มความแม่นยำในการจำแนกและสามารถส่งผลการลดต้นทุนด้านการเกษตร เช่น การใช้ปริมาณปุ๋ยที่เหมาะสม ดังนั้น การประยุกต์ใช้อากาศยานไร้คนขับและเทคนิคการประมวลผลภาพด้วยปัญญาประดิษฐ์ จะช่วยให้การบริหารจัดการสำหรับการลดต้นทุนไม่เฉพาะการใช้แรงงานคนในการสำรวจพื้นที่การเกษตร แต่สามารถนำภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับมาวิเคราะห์และประมวลผลเพื่อหาพื้นที่สำหรับการใส่ปุ๋ยให้เกิดความคุ้มค่ามากที่สุดด้วย

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยในอนาคตควรนำข้อมูลการรับรู้ระยะไกลอื่น ๆ เช่น ภาพถ่ายดาวเทียมที่มีความละเอียดสูง ข้อมูลดัชนีการสะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแบบอื่นนอกเหนือจากดัชนี NDVI มาใช้ประกอบ รวมถึงการควบคุมตัวแปรสภาพแวดล้อมต่าง ๆ และที่สำคัญการเลือกใช้อัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องอื่นๆ เช่น Support Vector Machine (SVM), Random Forest (RF) หรือ Artificial Neural Network (ANN) มาเปรียบเทียบผลลัพธ์ และวัดความแม่นยำของผลลัพธ์ นอกจากนี้งานวิจัยในอนาคตอาจนำแนวทางการประยุกต์ข้อมูลการรับรู้ระยะไกล การใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องกับข้าวเจ้าพันธุ์ต่าง ๆ ในพื้นที่ปลูกข้าวเจ้าในภูมิภาคอื่น ๆ ของประเทศไทย รวมถึงการประยุกต์ใช้กับพืชการเกษตรประเภทอื่น ๆ ที่มีความสำคัญกับเศรษฐกิจไทยด้วย

เอกสารอ้างอิง

- Beisel, N. S., Callaham, J. B., Sng, N. J., Taylor, D. J., Paul, A. L., and Ferl, R. J. (2018). Utilization of Single-Image Normalized Difference Vegetation Index (SI-NDVI) for Early Plant Stress Detection. *Applications in plant sciences*, 6(10), 1-10.
- Charoonpatrapong, T., Namsang, A., and Kongsamutr, N. (2021). A Comparison of Regulations for Agricultural Unmanned Aerial Vehicles in Thailand and Foreign Countries. *Sripatum Review of Humanities and Social Sciences*, 21(1), 105-121. (in Thai)
- Cheewaparakobkit, P. (2019). Improving the Performance of an Image Classification with Convolutional Neural Network Model by Using Image Augmentations Technique. *TNI Journal of Engineering and Technology*, 7, 59-64. (in Thai)
- Jitt-Aer, K., Buaphiban, T., and Sriprsert, A. (2020). Applying Aerial Imagery from Unmanned Aerial Vehicle for Digital Maps. *Sripatum Review of Science and Technology*, 12, 93-105. (in Thai)
- Nattharith, P. (2021). Unmanned Aerial Vehicle Navigation using a Behaviour Based Control Architecture. *Naresuan University Engineering Journal*, 16(1), 140-154. (in Thai)
- Phrommas, R., and Chaiwong, C. (2021). Application of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for Land Use Monitoring and Mapping in Maechaem District with Community Participation. *Journal of Communication Arts Review*, 25(2), 110-125. (in Thai)
- Punyawattho, P., Sutjaritthammajariyangkun, W., Chaiyasing, N., and Supornsin, S. (2019). The Efficacy of the Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for Controlling Rice Dirty Panicle Disease. *Thai Agricultural Research Journal*, 37(1), 27-36. (in Thai)
- Qiu, Z., Ma, F., Li, Z., Xu, X., Ge, H., and Du, C. (2021). Estimation of Nitrogen Nutrition Index in Rice from UAV RGB Images Coupled with Machine Learning Algorithms. *Computers and Electronics in Agriculture*, 189, 1-9.
- Rice Knowledge Bank (2016). *How to Develop a Crop Calendar*. [Online]. Retrieved June 18, 2021, from: <http://www.knowledgebank.irri.org/step-by-step-production/pre-planting>

- Srichalam, K., Karnchanasutham, S., Nualchawee, K., and Pleerux, N. (2018). The Study of Spectral Reflectance Characteristics of Cassava Plantation from Satellite Data in Chokchai District, Nakhon Ratchasima Province. *VRU Research and Development Journal: Science and Technology*, 13(3), 12-22. (in Thai)
- Suksirisak, P. (2019). A Real-Time Image Processing from Multispectral Camera for Agriculture. *CRMA Journal*, 17, 75-85. (in Thai)
- Wang, Y., Chang, Y., and Shen Y. (2022). Estimation of Nitrogen Status of Paddy Rice at Vegetative Phase using Unmanned Aerial Vehicle Based Multispectral Imagery. *Precision Agriculture*, 23, 1-17.
- Yang, Q., Shi, L., Han, J., Yu, J., and Huang, K. (2020). A Near Real-Time Deep Learning Approach for Detecting Rice Phenology Based on UAV Images. *Agricultural and Forest Meteorology*, 287, 1-17.
- Yasowong, P., and Charasakulchai, C. (2013). Indexing Remote Sensing Image Retrieval using Clustering and Vegetation Indices. *Journal of Information Science and Technology*, 4(2), 1-8. (in Thai)

การสร้างแบบจำลองการวัดประสิทธิภาพการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกิจกรรมคลังสินค้า

ชุตติเดช มั่นคงธรรม^{1,*}, ชณิชา หมอยาตี²

^{1,2}สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชน วิทยาลัยโลจิสติกส์และซัพพลายเชน

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

Received: 14 June 2023

Revised: 25 August 2023

Accepted: 8 December 2023

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์ (1) เพื่อศึกษากิจกรรมที่มีผลการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกิจกรรมคลังสินค้า (2) เพื่อสร้างแบบจำลองการวัดประสิทธิภาพการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกิจกรรมคลังสินค้า และ (3) เพื่อนำเสนอแนวทางการจัดการเพื่อลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกิจกรรมคลังสินค้า การศึกษานี้เป็นการวิจัยและพัฒนา โดยใช้วิธีวิจัยเชิงคุณภาพ ใช้การสัมภาษณ์เชิงลึก เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูล โดยเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง มีผู้ให้ข้อมูลหลักจำนวน 17 คน ตามเกณฑ์การกำหนดและคัดเลือกผู้ที่มีความรู้หรือมีประสบการณ์หรือมีความเชี่ยวชาญด้านคลังสินค้า ใช้การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพรรณนาและวิธีการตรวจสอบสามเส้า ผลการวิจัยพบว่า (1) กิจกรรมในคลังสินค้า ได้แก่ การรับ จัดเก็บ หยิบ จัดส่ง และส่งมอบสินค้า ส่งผลต่อการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ การจัดการกิจกรรมเหล่านี้ย่อมมีประสิทธิภาพสามารถช่วยลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมได้ (2) แบบจำลองการวัดประสิทธิภาพการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในคลังสินค้าถูกสร้างขึ้นโดยอ้างอิงข้อมูลจากผลการศึกษากิจกรรมในคลังสินค้าและโปรแกรมการวัดขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) แบบจำลองนี้ช่วยประเมินการปล่อยคาร์บอนในแต่ละกิจกรรมภายในคลังสินค้า โดยประเมินจากการใช้พลังงานทั้งหมดในหน่วยงาน และ (3) แนวทาง การจัดการเพื่อลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกิจกรรมคลังสินค้า ได้แก่ ต้องกำหนดขอบเขตแหล่งที่มาของการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ครอบคลุมกระบวนการจัดการคลังสินค้าและการใช้พลังงานที่เป็นแหล่งปล่อยพลังงานก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดจนถึงน้อยที่สุดทั้งทางตรงและทางอ้อม รวมถึงการมุ่งเน้นที่การปรับปรุงและพัฒนาวิธีการขนส่ง การใช้วัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน

คำสำคัญ: การสร้างแบบจำลอง การวัดประสิทธิภาพการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ กิจกรรมคลังสินค้า

* ผู้ประสานงานหลัก; อีเมล: chutidaj.mun@bkkthon.ac.th

Modeling Carbon Footprint Measurement Performance in Warehouse Activities

Chutidaj Munkongtum^{1,*}, Chanicha Moryadee²

^{1,2}Department of Logistics and Supply Chain Management

College of Logistics and Supply Chain, Suan Sunandha Rajabhat University

Received: 14 June 2023

Revised: 25 August 2023

Accepted: 8 December 2023

Abstract

The objectives of this research were (1) to study activities that effect on carbon footprint emissions in warehouse, (2) to create a model for measuring the efficiency of carbon footprint emissions in warehouse activities, and (3) to develop guidelines for reduce carbon footprint in warehouse activities. This study was research and development by using qualitative research. In-depth Interview was used to collect data with 17 samples that obtained by purposive sampling, according to the criteria for determining and selecting experts. Descriptive data analysis and triangulation methods were used to analyze data. The results found that (1) warehouse activities include receiving, storing, picking, shipping, and delivering goods effects on carbon footprint emissions. However, effective management of these activities could reduce environmental impacts (2) a warehouse carbon footprint efficiency measurement model was created based on data from a study of warehouse activities and the measurement program of the Thailand Greenhouse Gas Management Organization, the model could assess the carbon footprint of each activity in warehouse by evaluating the total energy use (3) the guidelines for reducing carbon footprints in warehouse activities consist of using determine the source of carbon footprint emissions in warehouse processes and energy using that emits the highest to the lowest, direct and indirect of greenhouse gas emissions, as well as improving and developing transportation methods, using environmentally friendly materials and increasing efficiency in saving energy.

Keywords: Measurement Modeling, Carbon Footprint, Warehouse Activities

* Corresponding Author; E-mail: chutidaj.mun@bkkthon.ac.th

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

แนวโน้มคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทั่วโลกเพิ่มขึ้นตั้งแต่การปฏิวัติอุตสาหกรรมพร้อมกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่มีแนวโน้มจะรุนแรงขึ้นในทุกภูมิภาคของโลก เช่น อุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มขึ้นทั่วโลกในขณะที่ปริมาณน้ำฝนที่เพิ่มขึ้นในช่วงฤดูฝนลดลงในบางพื้นที่ฤดูแล้งและวันที่ร้อนกำลังกลายเป็นเรื่องธรรมดามากขึ้นพร้อมกับเหตุการณ์ที่รุนแรง เช่น คลื่นความร้อน ภัยแล้ง น้ำท่วม พายุไซโคลน และไฟป่า การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อสังคมมนุษย์ระบบนิเวศและเศรษฐกิจ โดยเน้นย้ำถึงความสำคัญของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการปรับตัวให้เข้ากับสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลง ซึ่งส่งผลกระทบต่อภาคเศรษฐกิจ สังคมและระบบนิเวศทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม องค์กรต่าง ๆ ได้หันมาให้ความสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและความยั่งยืนด้านสิ่งแวดล้อม มีนโยบายออกมาควบคุมการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านการกิจกรรมคลังสินค้าที่มีบทบาทสำคัญในภาคโลจิสติกส์และซัพพลายเชน การจัดการภายในคลังสินค้าและประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม (Smith et al., 2022) จากการวัดปริมาณการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์จะช่วยระบุปัญหาที่ควรได้รับการปรับปรุงได้อย่างชัดเจน

กิจกรรมคลังสินค้าเป็นธุรกิจที่สำคัญต่อการขับเคลื่อนเศรษฐกิจในอุตสาหกรรมโลจิสติกส์และซัพพลายเชนและยังเป็นดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานคลังสินค้าที่ชัดเจนที่สุด โดยพบการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทั้งทางตรงและทางอ้อม การศึกษาที่ผ่านมาได้มีการศึกษาด้านการวัดและประเมินการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ในคลังสินค้าน้อยมาก (Ries et al., 2017) เพื่อการพัฒนานโยบายด้านการควบคุมการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์และส่งเสริมความยั่งยืนของอุตสาหกรรมโลจิสติกส์และซัพพลายเชน ดังนั้น การวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การศึกษาการสร้างแบบจำลองการวัดประสิทธิภาพการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกิจกรรมคลังสินค้า เพื่อพัฒนาแนวทางในการวัดและจัดการปริมาณการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผู้ประกอบการคลังสินค้าในประเทศไทย สำหรับใช้เป็นแนวในการบริหารจัดการการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของแต่ละกิจกรรมในคลังสินค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและนำไปประยุกต์ใช้เป็นมาตรฐานการยกระดับธุรกิจและการพัฒนาองค์กรอย่างยั่งยืน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษากิจกรรมที่มีผลต่อการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกิจกรรมคลังสินค้า
2. เพื่อสร้างแบบจำลองการวัดประสิทธิภาพการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกิจกรรมคลังสินค้า
3. เพื่อเสนอแนวทางการจัดการเพื่อลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกิจกรรมคลังสินค้า

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวกับคาร์บอนฟุตพริ้นท์

1.1 ความหมายของคาร์บอนฟุตพริ้นท์

คาร์บอนฟุตพริ้นท์ หมายถึง การวัดผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์ที่มีต่อระบบสิ่งแวดล้อม ในแง่ของปริมาณแก๊สเรือนกระจกที่สร้างขึ้นมาจากกิจกรรม โดยวัดคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมา คาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ใช้สำหรับประมาณว่าคน ประเทศ หรือองค์กรหนึ่ง ๆ มีผลกระทบต่อภาวะโลกร้อนมากน้อยเพียงใด

การวัดคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากกิจกรรมภายในคลังสินค้า เป็นการแสดงข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินงานขององค์กรในกิจกรรมคลังสินค้า (Smith et al., 2022) โดยเป็นส่วนสำคัญของโซ่อุปทานและโลจิสติกส์ ซึ่งร้อยละ 20 ของต้นทุนโลจิสติกส์ทั้งหมดมาจากภาคอเมริกา ซึ่งกำลังขยายตัวมีความต้องการสูงเกี่ยวกับพื้นที่คลังสินค้า อุตสาหกรรมจะต้องหาวิธีปรับปรุงประสิทธิภาพและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การวัดคาร์บอนฟุตพริ้นท์เป็นวิธีที่ช่วยประเมินผลกระทบและดำเนินการเพื่อลดการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์

1.2 แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร

แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรภายใต้โครงการส่งเสริมคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) เป็นหน่วยงานที่จดทะเบียนและได้รับการรับรองสำหรับข้อมูลก๊าซเรือนกระจก โดยกำหนดวิธีการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการดูกลับที่เกิดจากกิจกรรมขององค์กรหรือที่เรียกว่า “คาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร” โดยพิจารณาจาก 3 ส่วนหลัก แบ่งเป็นขอบเขต ดังนี้

ขอบเขตที่ 1 การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทางตรงจากกิจกรรม ขององค์กรโดยตรง เช่น การเผาไหม้ของเครื่องจักร การใช้พาหนะขององค์กร (ที่องค์กรเป็นเจ้าของเอง) การใช้สารเคมีในการบำบัดน้ำเสีย การรั่วซึมหรือรั่วไหล จากกระบวนการหรือกิจกรรม เป็นต้นโดยขอบเขตการดำเนินงานการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร

ขอบเขตที่ 2 การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทางอ้อมจากการใช้พลังงาน ได้แก่ การซื้อพลังงานมาใช้ในองค์กร ได้แก่ พลังงานไฟฟ้า พลังงานความร้อน พลังงานไอน้ำ เป็นต้น

ขอบเขตที่ 3 การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทางอ้อมด้านอื่น ๆ การเดินทางของพนักงานด้วยพาหนะที่ไม่ใช่ขององค์กร การเดินทางไปสมมนานอกสถานที่ การใช้วัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆ เป็นต้น

อย่างไรก็ตาม ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรที่ประเมินได้จะบ่งชี้ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมต่าง ๆ ขององค์กรเฉพาะส่วนที่เกี่ยวข้องกับศักยภาพการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนเท่านั้น ไม่ได้นำผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมประเด็นอื่น ๆ เช่น ความหลากหลายทางชีวภาพ การเกิดฝนกรด หรือความเป็นพิษ มาประเมินร่วมด้วย

1.3 หลักการแสดงปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร

การแสดงปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปล่อยและดูดกลับจากกิจกรรมขององค์กร หรือคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรจะต้องอยู่บนพื้นฐานของหลักการที่สำคัญ 5 ประการ ได้แก่ (1) ความตรงประเด็น (Relevance) คือ การใช้ข้อมูลและวิธีการเลือกแหล่งกำเนิด ดูดกลับ กักเก็บ ก๊าซเรือนกระจกที่ตรงกับความเป็นจริงในการใช้งาน โดยต้องเลือกแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจก แหล่งดูดกลับก๊าซเรือนกระจก แหล่งกักเก็บก๊าซเรือนกระจก ข้อมูล รวมถึงวิธีการวัดและคำนวณที่เหมาะสมกับความต้องการของกลุ่มเป้าหมาย ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เก็บรวบรวมหรือประเมินได้นั้นควรที่จะสะท้อนถึงปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นภายในองค์กรหรือเกี่ยวข้องกับองค์กร และเป็นส่วนหนึ่งของข้อมูลที่สามารถสนับสนุนการตัดสินใจในการวางนโยบายขององค์กร (2) ความสมบูรณ์ (Completeness) คือ ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับก๊าซเรือนกระจกต้องครอบคลุมการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจก ทั้งปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกที่ทำการเก็บรวบรวมหรือประเมินได้ ควรเป็นปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกจากทุกกิจกรรมที่เกิดขึ้นภายในองค์กรหรือเกี่ยวข้องกับองค์กร (3) ความคงเส้นคงวา (Consistency) คือ ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการเก็บรวบรวมหรือคำนวณปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกที่ได้ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกันแล้วต้องมีความสอดคล้อง เชื่อมโยงและเทียบเคียงกันได้ (4) ความถูกต้อง (Accuracy) คือ การลดความผิดพลาด และความไม่แน่นอนในการรวบรวม หรือคำนวณปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกให้

ได้มากที่สุด ด้วยวิธีการที่สามารถปฏิบัติได้ และ (5) ความโปร่งใส (Transparency) คือ การเปิดเผยข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการรวบรวมหรือคำนวณปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกที่เพียงพอและเหมาะสม สามารถตรวจสอบได้เพื่อให้กลุ่มเป้าหมายสามารถใช้อ้างอิงข้อมูลดังกล่าวในการตัดสินใจด้วยความเชื่อมั่นอย่างสมเหตุสมผล

1.4 การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร เป็นเครื่องมือที่เน้นการวัดปริมาณการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากกิจกรรมภายในองค์กร (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2022) มีวิธีการคำนวณได้แก่ (1) กำหนดขอบเขตกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์เพื่อความชัดเจน (2) ระบุรายละเอียดของกิจกรรมเพื่อความถูกต้องในการดำเนินงาน (3) คำนวณปริมาณการปล่อยโดยใช้ข้อมูลกิจกรรม และสัมประสิทธิ์การปล่อย

สูตรการคำนวณ คือ ปริมาณการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ = ข้อมูลกิจกรรม (Activity Data) × สัมประสิทธิ์การปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Emission Factor) โดยข้อมูลกิจกรรม คือ ปริมาณกิจกรรมภายในองค์กร เช่น การใช้พลังงาน การเดินทาง ระบบการดำเนินงาน ทรัพยากรที่ใช้ เป็นต้น และสัมประสิทธิ์การปล่อย คือ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO₂e) ที่ปล่อยออกมาต่อหน่วยสินค้าหรือบริการหนึ่งหน่วย

2. แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับการจัดการคลังสินค้า

คลังสินค้า หมายถึง คลังสินค้าเป็นอาคารหรือสิ่งอำนวยความสะดวกขนาดใหญ่ที่ออกแบบมาสำหรับการจัดเก็บสินค้าวัสดุหรือสินค้า โดยทั่วไปจะใช้โดยธุรกิจหรือองค์กร เพื่อจัดเก็บสินค้าของตนก่อนที่จะขาย จัดส่ง หรือแจกจ่ายให้กับลูกค้า คลังสินค้านี้มักจะตั้งอยู่ในเขตอุตสาหกรรมหรือใกล้ศูนย์กลางการขนส่ง เพื่ออำนวยความสะดวกในการเคลื่อนย้ายสินค้าเข้าและออกจากโรงงาน (Naudé and Biljon, 2019)

การจัดการคลังสินค้า หมายถึง กระบวนการจัดระเบียบควบคุมและจัดการกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในคลังสินค้า เช่น การรับ จัดเก็บสินค้า การจัดการสินค้าคงคลัง การประมวลผลคำสั่งซื้อ และการจัดส่ง การจัดการคลังสินค้าที่มีประสิทธิภาพเป็นสิ่งสำคัญที่ช่วยให้ได้รับสินค้าและจัดส่งตรงเวลา ระดับสินค้าคงคลังจะได้รับการดูแลและคลังสินค้าทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Cagliano et al., 2020)

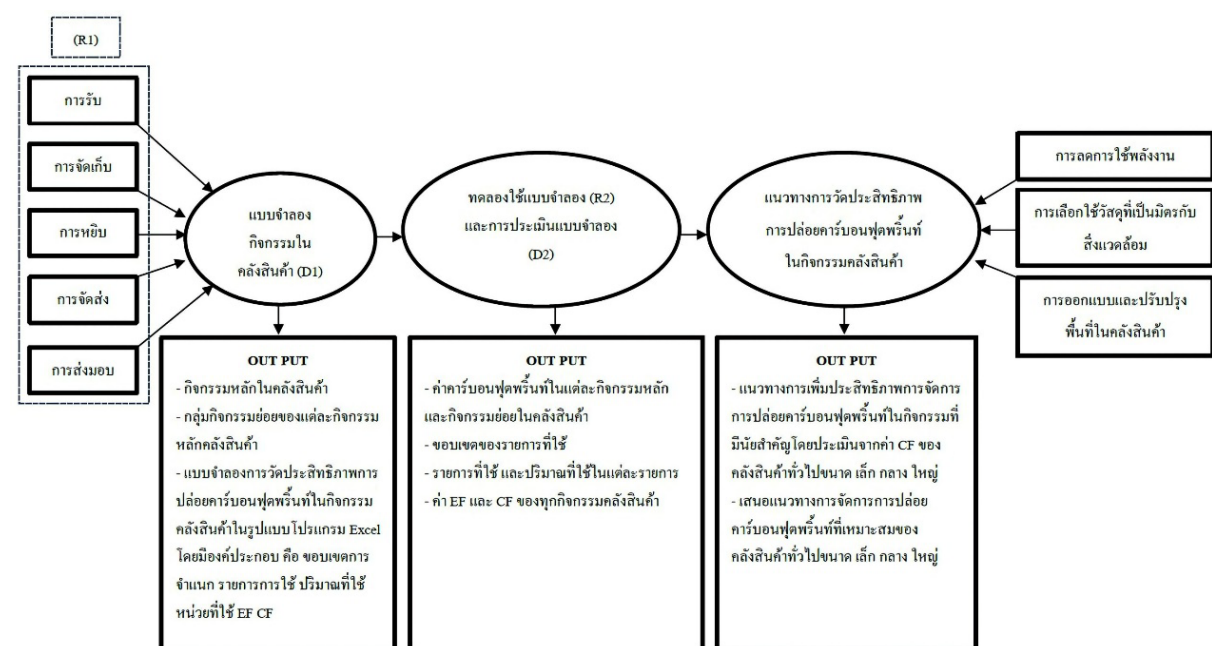
การจัดการคลังสินค้าเกี่ยวข้องกับทรัพยากรต่าง ๆ เพื่อให้แน่ใจว่าการดำเนินงานมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล ได้แก่ (1) ระบบการจัดการคลังสินค้า (Warehouse Management System: WMS) คือ แอปพลิเคชันซอฟต์แวร์ที่ใช้สำหรับการจัดการการดำเนินงานประจำวันของคลังสินค้า รวมถึงการติดตามสินค้าคงคลัง การประมวลผลคำสั่งซื้อ และการจัดการโลจิสติกส์ (2) อุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุ คือ อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการเคลื่อนย้ายและจัดเก็บวัสดุภายในคลังสินค้า เช่น รถยก สายพานลำเลียง แม่แรง พาเลท ระบบจัดเก็บและเรียกค้นอัตโนมัติ (3) ระบบการจัดการสินค้าคงคลัง คือ ระบบซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการติดตามระดับสินค้าคงคลัง จุดสั่งซื้อใหม่ และเวลานำส่ง เพื่อให้แน่ใจว่าคลังสินค้ามีสต็อกเพียงพอต่อความต้องการของลูกค้าเสมอ (4) โครงสร้างและการออกแบบคลังสินค้า คือ การจัดวางและการออกแบบคลังสินค้ามีความสำคัญต่อการดำเนินงานที่มีประสิทธิภาพ ปัจจัยต่าง ๆ เช่น การไหลของสินค้า การใช้พื้นที่และการเข้าถึงล้วนมีบทบาทในการกำหนดเค้าโครงและการออกแบบที่เหมาะสมที่สุด (5) บุคลากร คือ บุคลากรคลังสินค้านี้รวมถึงผู้จัดการ หัวหน้างาน และคนงาน ที่รับผิดชอบงานต่าง ๆ เช่น การรับ การจัดเก็บ การหยิบ การบรรจุ การจัดส่ง การฝึกอบรม อุปกรณ์ และเครื่องมือ ที่เหมาะสมเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อให้แน่ใจว่าการดำเนินงานที่ปลอดภัยและมีประสิทธิภาพของคลังสินค้า (6) การขนส่ง คือ ทรัพยากรการขนส่ง เช่น รถบรรทุก รถพ่วง และตู้คอนเทนเนอร์ เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการเคลื่อนย้ายสินค้าเข้าและออกจากคลังสินค้า และ (7) ระบบควบคุมคุณภาพ

คือ ระบบและกระบวนการที่ใช้เพื่อให้มั่นใจในความถูกต้องและคุณภาพของสินค้าคงคลัง และการปฏิบัติตามคำสั่งซื้อ เช่น ขั้นตอนการตรวจสอบ ทดสอบ และคู่มือการปฏิบัติงานการพัฒนาการจัดการคลังสินค้า

Staudt et al. (2015) ได้กล่าวถึง กิจกรรมหลักภายในคลังสินค้า ได้แก่ (1) การรับ (Receiving) คือ กระบวนการรับและบันทึกสินค้าเข้าคลัง ซึ่งประกอบด้วย การตรวจรับ ตรวจนับ และงานธุรการ (2) การจัดเก็บ (Storing) คือ กระบวนการเก็บและบำรุงรักษาสินค้าในคลังสินค้า โดยมุ่งเน้นการจัดระเบียบและควบคุมทรัพยากร เพื่อให้สามารถเข้าถึงได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อจำเป็น รวมถึงการนำสินค้าไปเก็บ การควบคุมสินค้า การรักษาระดับสินค้า การตรวจสอบ และการซื้อ (3) การหยิบสินค้า (Picking) คือ การเลือกสินค้าตามใบสั่งซื้อและจัดส่งภายในคลัง โดยมุ่งเน้นความถูกต้องและความรวดเร็ว มีกิจกรรมย่อย คือ การคัดเลือกสินค้า (4) การจัดส่ง (Shipping) คือ การจัดเตรียมสินค้าเพื่อส่งมอบให้ลูกค้า มีกิจกรรมย่อย คือ การส่งจ่ายสินค้า การรวมสินค้า การบรรจุภัณฑ์ทำเครื่องหมาย และการจัดจำหน่าย และ (5) การส่งมอบ (Delivering) คือ การขนส่งสินค้าจากคลังไปยังปลายทางที่ต้องการ ไม่ว่าจะเป็นร้านค้าปลีกหรือจุดจัดส่งอื่น ๆ

เป้าหมายหลักของคลังสินค้าส่วนใหญ่คือการเป็นจุดพักในการเคลื่อนที่ของสินค้าผ่านโซ่อุปทานถึงลูกค้าปลายทาง โดยมีการถือครองสินค้าที่แตกต่างกันตามวัตถุประสงค์ เช่น ศูนย์กระจายสินค้าจะมีการถือครองสินค้า ณ จุดพักสินค้า น้อยกว่าคลังสินค้าอื่น ๆ เช่น คลังสินค้าทัณฑ์บน เนื่องจากการถือครองสินค้าเป็นเวลานานใน Modern Trade นั้นนอกจากจะไม่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มอันใดให้กับลูกค้าแล้วยังจะเป็นการทำให้ต้นทุนเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเก็บสินค้าเป็นเวลานานก่อให้เกิดต้นทุนตามที่สูงขึ้นตามระยะเวลาที่สินค้าคงอยู่ในคลังสินค้าการเข้าใจกิจกรรมเหล่านี้เป็นสิ่งสำคัญในการบริหารจัดการคลังสินค้าอย่างมีประสิทธิภาพ

กรอบแนวคิดในการวิจัย



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย

แบบแผนการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการวิจัยและพัฒนา (Research and Development) โดยใช้ระเบียบวิธีวิจัยเชิงคุณภาพ ใช้การสัมภาษณ์เชิงลึก (In-depth Interview) เป็นเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูลและใช้การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพรรณนาและวิธีการตรวจสอบสามเส้า มีขั้นตอนในการศึกษา ดังนี้

การวิจัยเชิงสำรวจ ระยะที่ 1 (R1)

1. ศึกษาเอกสารและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมคลังสินค้า โดยใช้การวิเคราะห์และสังเคราะห์แนวคิด ทฤษฎี และวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยการสร้างแบบจำลองการวัดประสิทธิภาพการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกิจกรรมคลังสินค้า จากตำรา เอกสารวิชาการ ข้อมูลสารสนเทศ งานวิจัยทั้งในประเทศและต่างประเทศ

2. สัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่างผู้ที่มีความรู้หรือมีประสบการณ์หรือมีความเชี่ยวชาญด้านคลังสินค้า จำนวน 17 คน โดยใช้แบบการสัมภาษณ์เชิงลึก (In-depth Interview) เพื่อยืนยันและประเมินปัจจัยในการสร้างแบบจำลองการวัดประสิทธิภาพการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกิจกรรมคลังสินค้าที่ได้จากการวิเคราะห์และสังเคราะห์แนวคิด ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยเชิงพัฒนา ระยะที่ 1 (D1)

3. ศึกษาโปรแกรมการวัดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก Greenhouse Gas Management Organization (2022) เพื่อนำมาใช้เป็นต้นแบบในการพัฒนา ออกแบบ และสร้างแบบจำลองการวัดประสิทธิภาพการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกิจกรรมคลังสินค้า ประกอบด้วย กิจกรรมหลักและกิจกรรมย่อยในคลังสินค้า

การวิจัยเชิงสำรวจ ระยะที่ 2 (R2)

4. ทดลองใช้แบบจำลอง โดยการนำตัวอย่างข้อมูลรายการและปริมาณการใช้ทรัพยากรที่เกี่ยวข้องกับการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากกลุ่มผู้ประกอบการคลังสินค้า ขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ มาทดสอบในแบบจำลองการวัดประสิทธิภาพการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกิจกรรมคลังสินค้า

การวิจัยเชิงพัฒนา ระยะที่ 2 (D2)

5. ประเมินผลการทดลองใช้แบบจำลองการวัดประสิทธิภาพการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกิจกรรมคลังสินค้า ด้วยวิธีการตรวจสอบสามเส้า โดยนำแบบจำลองและผลการทดลองไปให้กลุ่มตัวอย่างผู้ประกอบการ นักวิชาการ และผู้เชี่ยวชาญด้านการวัดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ จำนวน 17 ท่าน เพื่อตรวจสอบและประเมินความเหมาะสมและความถูกต้องของผลการทดลองใช้ จากนั้นนำผลการประเมินมาปรับปรุงแบบจำลองการวัดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกิจกรรมคลังสินค้าให้ดียิ่งขึ้น

6. นำเสนอแบบจำลองการวัดประสิทธิภาพการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกิจกรรมคลังสินค้าและแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกิจกรรมคลังสินค้า โดยสรุปข้อค้นพบ เชื่อมโยงแนวคิด และทฤษฎีในกรอบการวิจัยเพื่อตอบวัตถุประสงค์ในแต่ละข้อ

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร ประกอบด้วย 3 กลุ่มหลัก ได้แก่ ผู้ประกอบการในธุรกิจผู้ให้บริการคลังสินค้าขนาด ขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ ที่จดทะเบียนจัดตั้งเป็นนิติบุคคลและดำเนินกิจการอยู่ นักวิชาการที่เป็นผู้เชี่ยวชาญในด้าน

คลังสินค้า และผู้เชี่ยวชาญด้านการวัดคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรที่ได้รับการขึ้นทะเบียนจากองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) (อบก.)

กลุ่มตัวอย่าง คือ ผู้ให้ข้อมูลหลัก จำนวน 17 ท่าน โดยเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) ตามเกณฑ์การกำหนดและคัดเลือกผู้ให้ข้อมูลหลักที่มีความรู้หรือมีประสบการณ์หรือมีความเชี่ยวชาญในประเด็นตามแนวคิดกรอบการวิจัย เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เป็นจริงและถูกต้องตามวัตถุประสงค์อย่างลึกซึ้งที่สุด ซึ่งขนาดของผู้ให้ข้อมูลสำคัญควรมีไม่ต่ำกว่า 8 คน (Moser and Korstjens, 2018) โดยงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีตรวจสอบสามเส้าเพื่อเปรียบเทียบข้อค้นพบของงานวิจัยจากแหล่งและมุมมองที่แตกต่างกัน ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้คัดเลือกตัวแทนจากผู้ประกอบการในธุรกิจผู้ให้บริการคลังสินค้า ขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ รวมจำนวน 11 ท่าน นักวิชาการด้านคลังสินค้า จำนวน 3 ท่าน และผู้เชี่ยวชาญด้านการวัดคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กร จำนวน 3 ท่าน เพื่อยืนยันความน่าเชื่อถือของข้อมูลหรือสิ่งที่ค้นพบ ในการวิจัย โดยผู้วิจัยได้ทำการกำหนดคุณสมบัติของกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ (1) ผู้บริหารระดับสูงในธุรกิจผู้ให้บริการคลังสินค้าไม่น้อยกว่า 5 ปี ที่มีความรู้ความเข้าใจในกิจกรรมคลังสินค้าเป็นอย่างดี (2) นักวิชาการที่มีความรู้ความเชี่ยวชาญในด้านคลังสินค้าที่มีประสบการณ์สอนในมหาวิทยาลัยหรือสังกัดหน่วยงานภาครัฐไม่น้อยกว่า 5 ปี และ (3) กลุ่มผู้เชี่ยวชาญด้านการวัดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ได้รับการรับรองจาก อบก. ไม่น้อยกว่า 5 ปี

เครื่องมือวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยนี้ คือ แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างเกี่ยวกับการวัดประสิทธิภาพการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกิจกรรมคลังสินค้า โดยคำถามเป็นรูปแบบของการปฏิสัมพันธ์ เปิดโอกาสให้ผู้ให้ข้อมูลสำคัญแสดงความคิดเห็นได้อย่างอิสระ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้มาซึ่งความคิดเห็นต่อปัจจัยในการสร้างแบบจำลองการวัดประสิทธิภาพการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกิจกรรมคลังสินค้า และใช้การวิเคราะห์เนื้อหาเพื่อสรุปผลการสัมภาษณ์เชิงลึก โดยข้อคำถามในแบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างนั้น ผ่านการตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือจากผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน ซึ่งพิจารณาให้ค่าคะแนนด้านความตรงเชิงเนื้อหา โดยมีค่าดัชนีความสอดคล้อง (Index of Item Objective Congruency: IOC) ของแต่ละข้อคำถามอยู่ระหว่าง 0.60 - 1.00 ของทุกข้อคำถาม ซึ่งมากกว่า 0.50 (Silcharu, 2017) และหาค่าความเชื่อมั่น (Reliability) ด้วยวิธีประมาณค่า Cronbach's Alpha Coefficient (Cronbach, 1984) ได้ค่าเท่ากับ 0.923 ซึ่งมากกว่า 0.80 ถือว่าข้อคำถามได้รับความเชื่อมั่นในการนำไปใช้เก็บข้อมูลจริงได้ (McNeish, 2018)

การเก็บรวบรวมข้อมูล

การวิจัยนี้ใช้กระบวนการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลจากเอกสาร รวมถึงการสัมภาษณ์เชิงลึกจากผู้ให้ข้อมูลหลักเพื่อสังเคราะห์และสกัดตัวแปร โดยการนำเอาข้อมูลที่ได้จากการรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิจากเอกสารทางวิชาการ บทความ วารสาร รายงานการวิจัย รวมถึงข้อมูลทางอินเทอร์เน็ตที่เกี่ยวข้อง และข้อมูลปฐมภูมิจากการสัมภาษณ์เชิงลึกมาจัดทำและเรียบเรียงให้เป็นระบบระเบียบ แยกแยะองค์ประกอบ รวมทั้งเชื่อมโยงและหาความสัมพันธ์ของข้อมูล เพื่อให้สามารถนำไปสู่ความเข้าใจต่อผลการวิจัยที่เกิดขึ้น

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยนี้ เก็บรวบรวมข้อมูลแล้วนำข้อมูลมาวิเคราะห์ตามแนวทางการวิเคราะห์ข้อมูลคุณภาพ (Qualitative Data Analysis) ซึ่งเป็นการนำเอาข้อมูลที่ได้จากการรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิและข้อมูลปฐมภูมิมาจัดทำและเรียบเรียง โดยผู้วิจัยได้ใช้วิธีการวิเคราะห์เนื้อหา (Content Analysis) เพื่อให้เห็นภาพของปรากฏการณ์ที่ศึกษา

อย่างเป็นองค์รวม มีการตรวจสอบข้อมูลด้วยวิธีการตรวจสอบสามเส้า และนำเสนอข้อมูลด้วยวิธีการพรรณนาวิเคราะห์ (Descriptive Analysis) โดยนำข้อมูลมาเรียบเรียงและจำแนกอย่างเป็นระบบ ตีความหมายเชื่อมโยงความสัมพันธ์ อภิปรายผล และสร้างข้อสรุปจากข้อมูลต่าง ๆ ที่รวบรวมได้

ผลการวิจัย

1. จากการศึกษากิจกรรมที่มีผลต่อการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกิจกรรมคลังสินค้า พบว่า กิจกรรมต่าง ๆ ภายในคลังสินค้าเป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการจัดการและการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ การเข้าใจและจัดการกิจกรรมอย่างมีประสิทธิภาพจะช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการสินค้าภายในคลังได้ โดยกิจกรรมหลักและกิจกรรมย่อยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการในคลังสินค้า ได้แก่

กิจกรรมหลักที่ 1 การรับสินค้า มีกิจกรรมย่อยประกอบด้วย การตรวจรับ การตรวจนับ และงานธุรการ ซึ่งทุกขั้นตอนมีบทบาทในการยืนยันความถูกต้องและความเรียบร้อยของสินค้าที่รับเข้า

กิจกรรมหลักที่ 2 การจัดเก็บสินค้า มีกิจกรรมย่อยประกอบด้วย การนำสินค้าไปเก็บ การควบคุมสินค้า การรักษาระดับสินค้า การตรวจสอบ และการซื้อ กิจกรรมเหล่านี้ช่วยในการรักษาคุณภาพสินค้าและจัดการสต็อกให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

กิจกรรมหลักที่ 3 การหยิบสินค้า มีกิจกรรมย่อยประกอบด้วย การคัดเลือกสินค้า ซึ่งเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการจัดเตรียมสินค้าสำหรับการจัดส่งต่อไป

กิจกรรมหลักที่ 4 การจัดส่งสินค้า มีกิจกรรมย่อยประกอบด้วย การส่งจ่ายสินค้า การรวมสินค้า การบรรจุภัณฑ์และทำเครื่องหมาย การจัดจำหน่าย ที่ทำให้สินค้าสามารถถูกจัดส่งได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว

กิจกรรมหลักที่ 5 การส่งมอบสินค้า มีกิจกรรมย่อยประกอบด้วย การขนส่ง ซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายที่สินค้าถูกส่งมอบให้กับลูกค้า และเป็นขั้นตอนสำคัญในการจัดการลำดับการทำงานและมีส่วนสำคัญ ในการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์อย่างมีนัยสำคัญ

2. การสร้างแบบจำลองการวัดประสิทธิภาพการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกิจกรรมคลังสินค้า โดยการรวบรวมข้อมูล การวิเคราะห์ และการสรุปผล รวมถึงการศึกษาจากโปรแกรมการวัดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก Greenhouse Gas Management Organization (2022) เพื่อพัฒนาและออกแบบแบบจำลองที่สามารถประเมินผลการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ได้อย่างแม่นยำ พบว่า แบบจำลองที่ออกแบบและสร้างขึ้นมาสามารถประเมินและแสดงผลการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในแต่ละกิจกรรมภายในคลังได้ ได้แก่ (1) กำหนดพารามิเตอร์ของแบบจำลอง โดยการกำหนดตัวแปรหลักที่มีผลต่อการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในแต่ละกิจกรรม ทั้งกิจกรรมหลักและกิจกรรมย่อยในคลังสินค้าตามผลการวิเคราะห์ (2) การสร้างแบบจำลอง โดยสร้างแบบจำลองสำหรับการประเมินการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในแต่ละกิจกรรม โดยใช้ข้อมูลจากการวิเคราะห์และสรุปผล (3) การประยุกต์ใช้ต้นแบบขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก Greenhouse Gas Management Organization (2022) โดยนำเข้าข้อมูลและการวิเคราะห์ เพื่อเป็นแนวทางในการประเมินผลการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (4) การสร้างอินเตอร์เฟซผู้ใช้ โดยพัฒนาอินเตอร์เฟซที่ผู้ใช้ใช้งานง่าย เพื่อให้ผู้ที่เกี่ยวข้องสามารถป้อนข้อมูล ดูผลการวิเคราะห์ และรายงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ (5) การทดสอบและปรับปรุง โดยหลังจากพัฒนาแบบจำลองเรียบร้อยแล้ว การทดสอบเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง และปรับปรุงตามคำแนะนำจากผู้ใช้

การสร้างแบบจำลองการวัดประสิทธิภาพการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกิจกรรมคลังสินค้า นำข้อมูลจากการวิจัยและต้นแบบการวัดจากองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก เพื่อประเมินผลการปล่อยคาร์บอนแม่นยำและปรับปรุงตามความต้องการผู้ใช้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 1 แบบจำลองการวัดประสิทธิภาพของการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกิจกรรมคลังสินค้า

กิจกรรมหลัก	กิจกรรมย่อย	ขอบเขตการจำแนก	รายการการใช้	ปริมาณที่ใช้	หน่วย	Emission Factor (EF)	หน่วย	Carbon Footprint (CF)	หน่วย
1. การรับ	การตรวจรับ	ขอบเขตที่ 1	การใช้สารทำความเย็นชนิด R32	12.00	HFC-32	677.00	kg CO ₂ e/kgCH ₂ FCF ₄	8,124.00	kgCO ₂ e
		ขอบเขตที่ 2	การใช้พลังงานไฟฟ้า	8,000.00	kWh	0.4999	kg CO ₂ e/kWh	3,999.20	kgCO ₂ e
		ขอบเขตที่ 3	การใช้กระดาษ A4 และ A3 (สีขาว)	500.00	kg	2.102	kg CO ₂ e/kg	1,051.00	kgCO ₂ e
	การตรวจนับ	ขอบเขตที่ 1		-				-	kgCO ₂ e
		ขอบเขตที่ 2	การใช้พลังงานไฟฟ้า	10,000.00	kWh	0.4999	kg CO ₂ e/kWh	4,999.00	kgCO ₂ e
		ขอบเขตที่ 3		-				-	kgCO ₂ e
	งานธุรการ	ขอบเขตที่ 1	การใช้สารทำความเย็นชนิด R32	12.00	HFC-32	677.00	kg CO ₂ e/kgCH ₂ FCF ₄	8,124.00	kgCO ₂ e
		ขอบเขตที่ 2	การใช้พลังงานไฟฟ้า	12,000.00	kWh	0.4999	kg CO ₂ e/kWh	5,998.80	kgCO ₂ e
		ขอบเขตที่ 3	การใช้กระดาษ A4 และ A3 (สีขาว)	541.67	kg	1.102	kg CO ₂ e/kg	596.92	kgCO ₂ e
		ขอบเขตที่ 3	การใช้น้ำประปา	1,200.00	m ³	0.7948	kg CO ₂ e/m ³	953.76	kgCO ₂ e
2. การจัดเก็บ	การนำสินค้าไปเก็บ	ขอบเขตที่ 1		-				-	kgCO ₂ e
		ขอบเขตที่ 2	การใช้พลังงานไฟฟ้า	25,000.00	kWh	0.4999	kg CO ₂ e/kWh	12,497.50	kgCO ₂ e
		ขอบเขตที่ 3		-				-	kgCO ₂ e
	การควบคุมสินค้า	ขอบเขตที่ 1		-				-	kgCO ₂ e
		ขอบเขตที่ 2	การใช้พลังงานไฟฟ้า	25,000.00	kWh	0.4999	kg CO ₂ e/kWh	12,497.50	kgCO ₂ e
		ขอบเขตที่ 3		-				-	kgCO ₂ e
	การรักษาระดับสินค้า	ขอบเขตที่ 1		-				-	kgCO ₂ e
		ขอบเขตที่ 2	การใช้พลังงานไฟฟ้า	13,750.00	kWh	0.4999	kg CO ₂ e/kWh	6,873.63	kgCO ₂ e
		ขอบเขตที่ 3		-				-	kgCO ₂ e
	การตรวจสอบ	ขอบเขตที่ 1		-				-	kgCO ₂ e
		ขอบเขตที่ 2	การใช้พลังงานไฟฟ้า	8,000.00	kWh	0.4999	kg CO ₂ e/kWh	3,999.20	kgCO ₂ e
		ขอบเขตที่ 3		-				-	kgCO ₂ e
	การซื้อ	ขอบเขตที่ 1		-				-	kgCO ₂ e
		ขอบเขตที่ 2	การใช้พลังงานไฟฟ้า	7,000.00	kWh	0.4999	kg CO ₂ e/kWh	3,499.30	kgCO ₂ e
		ขอบเขตที่ 3		-				-	kgCO ₂ e
3. การหยิบสินค้า	การคัดเลือกสินค้า	ขอบเขตที่ 1		-				-	kgCO ₂ e
		ขอบเขตที่ 2	การใช้พลังงานไฟฟ้า	5,000.00	kWh	0.4999	kg CO ₂ e/kWh	2,499.50	kgCO ₂ e
		ขอบเขตที่ 3		-				-	kgCO ₂ e
	การส่งจ่ายสินค้า	ขอบเขตที่ 1		-				-	kgCO ₂ e
		ขอบเขตที่ 2	การใช้พลังงานไฟฟ้า	10,000.00	kWh	0.4999	kg CO ₂ e/kWh	4,999.00	kgCO ₂ e
		ขอบเขตที่ 3		-				-	kgCO ₂ e
4. การจัดส่ง	การรวมสินค้า	ขอบเขตที่ 1		-				-	kgCO ₂ e
		ขอบเขตที่ 2	การใช้พลังงานไฟฟ้า	2,000.00	kWh	0.4999	kg CO ₂ e/kWh	999.80	kgCO ₂ e
		ขอบเขตที่ 3		-				-	kgCO ₂ e
	การบรรจุภัณฑ์และทำเครื่องหมาย	ขอบเขตที่ 1		-				-	kgCO ₂ e
		ขอบเขตที่ 2	การใช้พลังงานไฟฟ้า	8,000.00	kWh	0.4999	kg CO ₂ e/kWh	3,999.20	kgCO ₂ e
		ขอบเขตที่ 3		-				-	kgCO ₂ e
	การจัดจำหน่าย	ขอบเขตที่ 1		-				-	kgCO ₂ e
		ขอบเขตที่ 2	การใช้พลังงานไฟฟ้า	5,000.00	kWh	0.4999	kg CO ₂ e/kWh	2,499.50	kgCO ₂ e
		ขอบเขตที่ 3		-				-	kgCO ₂ e
	การส่งมอบ	ขอบเขตที่ 1	น้ำมัน Diesel	120.00	ลิตร	2.74062321	kg CO ₂ e/ลิตร	328.87	kgCO ₂ e
5. การส่งมอบ	การขนส่ง	ขอบเขตที่ 2		-				-	kgCO ₂ e
		ขอบเขตที่ 3		-				-	kgCO ₂ e

จากตารางที่ 1 แบบจำลองการวัดประสิทธิภาพของการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกิจกรรมคลังสินค้า ประกอบด้วยข้อมูล ดังนี้ กิจกรรมหลักและกิจกรรมย่อย ขอบเขตการจำแนก รายการการใช้ ปริมาณที่ใช้และหน่วย Emission Factor (EF) และหน่วย Carbon Footprint (CF) ซึ่งเป็นผลคูณของปริมาณที่ใช้และ EF และหน่วยข้อมูลเกี่ยวกับขอบเขตการดำเนินงาน และปริมาณการปล่อยของคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในหน่วย kgCO₂e

จากการคำนวณ Carbon Footprint (CF) สำหรับแต่ละกิจกรรม พบว่า ผลกระทบของการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ จากกิจกรรมต่าง ๆ ภายในคลังสินค้า ดังนี้

1. ในกิจกรรมหลักการรับ สารทำความเย็นชนิด R32 ที่ใช้ในการตรวจรับและงานธุรการมีผลการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์สูงที่สุดถึง 8,124 kgCO₂e สำหรับแต่ละกิจกรรมย่อย ตามมาด้วยการใช้พลังงานไฟฟ้าซึ่งปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ได้ในระดับต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับปริมาณการใช้ ในขณะที่การใช้กระดาษ A4 และ A3 และน้ำประปามีผลกระทบต่อการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในระดับที่น้อยลง เมื่อเทียบกับสารทำความเย็นและพลังงานไฟฟ้า ดังนั้นการจัดการและปรับปรุงการใช้สารทำความเย็นและการใช้พลังงานไฟฟ้าควรได้รับความสนใจเป็นสำคัญเพื่อลดการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากกิจกรรมการรับ

2. ในกิจกรรมหลักการจัดเก็บ การนำสินค้าไปเก็บ และ การควบคุมสินค้า ทั้งสองกิจกรรมนี้ใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากันที่ 25,000 kWh ซึ่งส่งผลในการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ได้ 12,497.5 kgCO₂e สำหรับแต่ละกิจกรรม และเป็นปริมาณที่สูงที่สุดในหมวดการจัดเก็บ นอกจากนี้ กิจกรรมย่อยอื่น ๆ ที่เกี่ยวกับการจัดเก็บยังมีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ส่งผลต่อการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ด้วย โดยเฉพาะกิจกรรมการรักษาระดับสินค้า การตรวจสอบ และการซื้อ ที่ใช้พลังงานไฟฟ้า 13,750 kWh, 8,000 kWh และ 7,000 kWh ตามลำดับ สรุปได้ว่า การใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกิจกรรมการจัดเก็บ

3. ในกิจกรรมหลักของการหยิบสินค้า การใช้พลังงานไฟฟ้า 5,000 kWh ในกิจกรรมย่อยการคัดเลือกสินค้า ได้ทำให้มีการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ออกมา 2,499.5 kgCO₂e หมายความว่า การใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกิจกรรมการหยิบสินค้า

4. ในกิจกรรมหลักการจัดส่งสินค้า การใช้พลังงานไฟฟ้าส่งผลต่อการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์สำหรับการส่งจ่ายสินค้าใช้พลังงานไฟฟ้า 10,000 kWh ปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ 4,999 kgCO₂e การบรรจุภัณฑ์ใช้พลังงานไฟฟ้า 8,000 kWh ปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ 3,999.2 kgCO₂e การจัดจำหน่ายใช้พลังงานไฟฟ้า 5,000 kWh ปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ 2,499.5 kgCO₂e และการรวมสินค้าใช้พลังงานไฟฟ้า 2,000 kWh ปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ 999.8 kgCO₂e ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่า การใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกิจกรรมการจัดส่งสินค้าทั้งหมด

5. ในกิจกรรมหลักการส่งมอบ สำหรับกิจกรรมย่อยการขนส่ง การใช้ใช้น้ำมันดีเซลจำนวน 120 ลิตร ทำให้มีการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ออกมา 328.87 kgCO₂e ซึ่งนั่นแสดงว่า การใช้น้ำมันดีเซลเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกิจกรรมการส่งมอบสินค้านั้น

สรุปปริมาณการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ตามขอบเขตการดำเนินงาน ได้ดังนี้

ขอบเขตที่ 1 มีผลการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ 16,576.87 kgCO₂e

ขอบเขตที่ 2 มีผลการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ 69,361.13 kgCO₂e

ขอบเขตที่ 3 มีผลการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ 2,601.68 kgCO₂e

รวมทั้งสิ้น 88,539.68 kgCO₂e

3. จากการประเมินผลการทดลองใช้และการปรับปรุงแบบจำลองการวัดประสิทธิภาพการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกิจกรรมคลังสินค้า ทำให้ได้แนวทางการจัดการการลดการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ในกิจกรรมคลังสินค้า ได้แก่ (1) การใช้พลังงานเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ การวิเคราะห์ข้อมูลแสดงให้เห็นว่า การใช้พลังงาน ไม่ว่าจะเป็นไฟฟ้าหรือน้ำมันดีเซล คือแหล่งผลิตคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่สำคัญสำหรับกิจกรรมภายในคลังสินค้า (2) สารทำความเย็นชนิด R32 มีผลกระทบสูงต่อการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ การวิเคราะห์เน้นไปที่การใช้สารทำความเย็นชนิด R32 ในกิจกรรมการรับสินค้า และพบว่าการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่สูงเมื่อเทียบกับ

กิจกรรมย่อยอื่น ๆ ภายในกิจกรรมเดียวกัน (3) ขอบเขตการดำเนินงานมีผลต่อการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ปริมาณการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่างกันตามขอบเขตการดำเนินงาน โดยขอบเขตที่ 2 มีปริมาณการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์สูงสุด และ (4) การจัดการและปรับปรุงการใช้พลังงานและสารทำความเย็นเป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากการใช้พลังงานและสารทำความเย็นเป็นแหล่งการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์สูงสุด การจัดการและปรับปรุงการใช้พลังงานและสารทำความเย็นจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยลดการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ได้สูง

การวิจัยนี้เน้นไปที่การค้นหาและวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ภายในกิจกรรมคลังสินค้า ผลการวิเคราะห์ยืนยันว่าการใช้พลังงาน ทั้งในรูปแบบของไฟฟ้าและน้ำมันดีเซล และการใช้สารทำความเย็นชนิด R32 คือแหล่งปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์หลักสำหรับคลังสินค้า ดังนั้น เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ควรมีการจัดการและปรับปรุงการใช้พลังงานและสารทำความเย็นอย่างมีประสิทธิภาพในกิจกรรมคลังสินค้า

อภิปรายผล

1. จากผลการศึกษากิจกรรมที่มีผลต่อการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกิจกรรมคลังสินค้า พบสิ่งที่น่าสนใจคือการค้นหากิจกรรมหลักและกิจกรรมย่อยที่มีผลกระทบต่อคาร์บอนฟุตพริ้นท์ การวิจัยพบว่า มีกิจกรรมหลักภายในคลังสินค้าทั้ง 5 กิจกรรม ได้แก่ การรับสินค้า การจัดเก็บสินค้า การหยิบสินค้า การจัดส่งสินค้า และการส่งมอบสินค้า แต่ละกิจกรรมหลักนี้ยังประกอบด้วยกิจกรรมย่อยที่สำคัญ กิจกรรมย่อยในแต่ละกิจกรรมหลักมีบทบาทในการยืนยันความถูกต้องและความเรียบร้อยของสินค้า การรักษาสภาพสินค้า การจัดเตรียมสินค้าสำหรับการจัดส่ง และการส่งมอบสินค้าถึงลูกค้า สอดคล้องกับงานวิจัยของ Srirod (2019) ที่กล่าวว่า การเข้าใจกิจกรรมเหล่านี้จะช่วยในการจัดการและปรับปรุงกระบวนการงานเพื่อลดการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่ากิจกรรมต่าง ๆ ภายในคลังสินค้ามีบทบาทสำคัญในการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ การจัดการและเข้าใจกิจกรรมเหล่านี้จะช่วยในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการสินค้าภายในคลัง การศึกษานี้เปิดเผยถึงกิจกรรมต่าง ๆ ภายในคลังสินค้าที่มีบทบาทสำคัญต่อการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์

2. จากผลการออกแบบและสร้างแบบจำลองเพื่อวัดประสิทธิภาพการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกิจกรรมภายในคลังสินค้า พบว่า แบบจำลองที่ถูกสร้างขึ้นสามารถประเมินและแสดงผลการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในแต่ละกิจกรรมภายในคลังสินค้าได้อย่างแม่นยำ โดยการกำหนดพารามิเตอร์ สร้างแบบจำลอง และทำการทดสอบและปรับปรุง โดยการสร้างแบบจำลองที่มีความเหมาะสมและถูกต้องต้องอาศัยข้อมูลและการวิเคราะห์จากการวิจัยก่อนหน้า และเน้นการประยุกต์ใช้ต้นแบบที่มีอยู่แล้ว เพื่อให้แน่ใจว่าแบบจำลองที่ถูกสร้างขึ้นสามารถตอบสนองต่อความต้องการและมีความเชื่อถือได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Johnson and Davis (2021) ที่กล่าวถึงแบบจำลองที่สร้างขึ้นสามารถประเมินผลการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกิจกรรมคลังสินค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพแม่นยำ โดยการทดสอบและปรับปรุงแบบจำลองตามคำแนะนำจากผู้ใช้งาน และ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Thompson et al. (2022) ที่กล่าวถึงการเพิ่มความแม่นยำและความน่าเชื่อถือในการประเมินผลการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ด้วยการนำไปทดลองใช้และปรับปรุง เพื่อเสนอแนวทางในการปรับปรุงและพัฒนากระบวนการงานภายในคลังสินค้า

3. จากผลการประเมินและการปรับปรุงแบบจำลอง เพื่อนำเสนอแนวทางการจัดการเพื่อลดการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกิจกรรมภายในคลังสินค้าอย่างมีประสิทธิภาพ พบว่า การใช้พลังงาน เช่น ไฟฟ้า น้ำมันดีเซล และการใช้สารทำความเย็นชนิด R32 มีผลกระทบสูงต่อการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกิจกรรมคลังสินค้า สอดคล้อง

กับงานวิจัยของ Thompson and Smith (2022) ที่กล่าวว่า ขอบเขตการดำเนินงานยังมีผลต่อปริมาณการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ การวิเคราะห์ข้อมูลยืนยันว่าการใช้พลังงานและสารทำความเย็นเป็นแหล่งผลิตคาร์บอนฟุตพริ้นท์สำคัญสำหรับกิจกรรมภายในคลังสินค้า การปรับปรุงและจัดการการใช้พลังงานและสารทำความเย็นอย่างมีประสิทธิภาพจึงสามารถลดการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ได้อย่างมีนัยสำคัญ และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sikhiwat et al. (2021) ที่แสดงให้เห็นว่าการจัดการและปรับปรุงการใช้พลังงานและสารทำความเย็นเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการลดการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกิจกรรมคลังสินค้า และการจัดการกิจกรรมคลังสินค้าเหล่านี้โดยเฉพาะอย่างมีประสิทธิภาพสามารถช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

1.1 องค์กร หน่วยงาน หรือผู้ประกอบการที่ดำเนินการในด้านคลังสินค้า สามารถใช้แบบจำลองนี้ไปวัดประเมินและประสิทธิภาพการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกิจกรรมคลังสินค้า โดยต้องจำแนกกิจกรรมหลักและกิจกรรมย่อยให้ครอบคลุมทุกกิจกรรม และนำผลไปบริหารจัดการแนวทางในการลดปริมาณการใช้พลังงาน เพื่อช่วยลดต้นทุนและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในการจัดการคลังสินค้าได้

1.2 องค์กร หน่วยงาน หรือผู้ประกอบการที่ดำเนินการในด้านคลังสินค้า สามารถใช้แบบจำลองนี้ไปวัดประเมินและประสิทธิภาพการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกิจกรรมคลังสินค้า โดยต้องใช้ข้อมูลที่ทันสมัยและเป็นข้อมูลจริงในปัจจุบันกับเป็นปัจจัยที่สอดคล้องกับสภาพแวดล้อมของกิจกรรมคลังสินค้าที่นำไปใช้

1.3 องค์กร หน่วยงาน หรือผู้ประกอบการที่ดำเนินการในด้านคลังสินค้า ควรออกนโยบายและจัดอบรมให้ความรู้ในการจัดการคาร์บอนฟุตพริ้นท์ และแนวทางในการลดใช้พลังงานอย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ เพื่อให้บุคลากรปฏิบัติงานในทิศทางเดียวกันและเข้าใจวิธีการดำเนินการในการลดการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกิจกรรมต่าง ๆ มุ่งเน้นให้เห็นถึงความสำคัญของการจัดการองค์กรอย่างยั่งยืนและการพัฒนาในระยะยาว

2. ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

2.1 การขยายขอบเขตการวิจัย ควรพิจารณาการขยายขอบเขตการวิจัย เพื่อรวมถึงกิจกรรมอื่น ๆ นอกเหนือจากกิจกรรมคลังสินค้า โดยสามารถศึกษาผลกระทบต่อคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากกิจกรรมเหล่านั้น เช่น การขนส่งสินค้าระหว่างประเทศ การผลิตสินค้า การบริโภคสินค้าโดยผู้บริโภคสุดท้าย การศึกษากิจกรรมเหล่านี้ อาจช่วยให้เข้าใจได้มากขึ้นถึงการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ตลอดโซ่อุปทาน และสามารถหาวิธีการลดการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในแต่ละกิจกรรมอย่างชัดเจนมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

2.2 การใช้เทคโนโลยีใหม่ ๆ การวิจัยครั้งต่อไปควรพิจารณาการนำเทคโนโลยีทันสมัย เช่น การใช้ AI หรือ IoT ในการติดตามและวิเคราะห์ข้อมูลการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการกับปัญหาที่เกี่ยวข้องในการเก็บรวบรวมข้อมูล

2.3 การศึกษาผลกระทบทางสังคมและเศรษฐกิจ นอกจากการศึกษผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมแล้ว การวิจัยควรสนใจถึงผลกระทบที่กิจกรรมต่าง ๆ ที่มีต่อสังคมและเศรษฐกิจ เพื่อให้สามารถวางแผนการจัดการที่ครอบคลุมทุกมิติและสามารถสร้างประโยชน์ที่ยั่งยืนได้

เอกสารอ้างอิง

- Cagliano, R., Perugini, M., and De Caroli, B. (2020). The effect of social media use on well-being: A meta-analysis. *European Psychologist*, 25(3), 235-246.
- Cronbach, L. J. (1984). *Essentials of psychological testing*. New York: Harper & Row.
- Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization). (2022). *Guidelines for calculating and reporting organizational carbon footprint*. 8th ed. Bangkok: Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization). (in Thai)
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventorie*. V.4 (Agriculture, Forestry and Other Land Use), Bangkok: IPCC Secretariat. (in Thai)
- Johnson, C. D., and Davis, E. F. (2021). Standardized frameworks for measuring warehouse carbon footprint. *International Journal of Sustainable Logistics*, 14(2), 78-92.
- McNeish, D. (2018). The impact of social media on the sleep habits of adolescents. *Journal of Adolescent Health*, 63(4), 450-456.
- Moser, A., and Korstjens, I. (2018). Understanding criterion sampling in qualitative research. *Journal of Qualitative Research*, 10(2), 123-135.
- Nauda, P., and Biljon, J. A. (2019). The impact of social media on the self-esteem of adolescents. *Journal of Child and Adolescent Mental Health*, 31(2), 129-137.
- Ries, J., Grosse, R., and Fichtinger, J. (2017). Environmental impacts of logistics: A literature review. *Journal of Green Logistics*, 5(4), 200-215.
- Sikhiwat, W., Thonghom, W., Khwangsopha, S., Niamhom, T., and Pattanisanukul, V. (2021). Carbon Footprint of the Faculty of Public Health, Mahidol University, Phayathai Campus. *Thai Science and Technology Journal*, 29(4), 604-617. (in Thai)
- Silcharu, P. (2017). The impact of social media on the mental health of adolescents. *Journal of Mental Health*, 26(2), 95-96.
- Smith, J. D., Johnson, A. B., and Anderson, C. E. (2022). Warehouse Carbon Footprint Efficiency Measurement Model. *Journal of Environmental Management*, 45(3), 123-136.
- Smith, J. T., Thompson, K. L., and Davis, A. B. (2022). Warehouse carbon footprint measurement: Addressing gaps in the literature. *International Journal of Logistics and Supply Chain Management*, 25(2), 123-136.
- Srirod, P. (2019). *Carbon Footprint for Organization and Sustainability Reduction of Gas Emissions for Regional Environmental Office*. Thesis of Master of Science. Faculty of Environmental Development. Bangkok: Administration National Institute of Development Administration. (in Thai)

- Staudt, F. H., Alpan, G., Di Mascolo, M., and Taboada Rodriguez, C. M. (2015). Warehouse performance measurement: a literature review. *International Journal of Production Research*, 53(18), 5524–5544.
- Thompson, R. M., Smith, A. B., and Anderson, C. E. (2022). Gaps in research on warehouse carbon footprint measurement: A systematic review. *Journal of Sustainable Logistics*, 15(2), 78-92.
- Thompson, K. L., and Smith, A. B. (2022). Key variables in warehouse carbon footprint measurement: An exploratory study. *Journal of Sustainable Logistics*, 15(1), 45-60.

คำแนะนำในการเตรียมและการส่งต้นฉบับ

วารสารศรีปทุมปริทัศน์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

กองบรรณาธิการ วารสารศรีปทุมปริทัศน์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม มีความยินดีที่จะรับบทความจากทุกท่าน เพื่อตีพิมพ์และเผยแพร่ในวารสาร เพื่อความสะดวกในการพิจารณา จึงขอแนะนำแนวทางการเตรียมต้นฉบับและส่งต้นฉบับ ดังนี้

ประเภทของบทความ

- บทความวิจัย (Research Article)** หมายถึง เป็นการนำเสนอผลการวิจัยอย่างเป็นระบบ กล่าวถึงความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขตการวิจัย การดำเนินการวิจัย ผลการวิจัย สรุปอภิปรายผล และข้อเสนอแนะ
- บทความวิชาการ (Academic Article)** หมายถึง งานเขียนซึ่งเป็นเรื่องที่น่าสนใจ เป็นความรู้ใหม่ กล่าวถึง ความเป็นมาของปัญหา วัตถุประสงค์ แนวทางการแก้ปัญหา มีการใช้แนวคิดทฤษฎี ผลงานวิจัยจากแหล่งข้อมูล เช่น หนังสือวารสารวิชาการ อินเทอร์เน็ต ประกอบการวิเคราะห์ วิจัย เสนอแนวทางการแก้ไข
- บทความปริทัศน์ (Review Article)** หมายถึง งานวิชาการที่ประเมินสถานะล่าสุดทางวิชาการ เฉพาะทางที่มีการศึกษาค้นคว้า มีการวิเคราะห์และสังเคราะห์องค์ความรู้ ทั้งทางกว้างและทางลึกอย่างทันสมัย โดยให้ข้อวิพากษ์ที่ชี้ให้เห็นแนวโน้มที่ควรศึกษาและพัฒนาต่อไป
- บทวิจารณ์หนังสือ (Book Review)** หมายถึง บทความที่วิพากษ์วิจารณ์เนื้อหาสาระ คุณค่า และคุณภาพ ของหนังสือ บทความ หรือผลงานสิ่งประดิษฐ์ โดยใช้หลักวิชาและดุลพินิจ อันเหมาะสม

องค์ประกอบของบทความ

- บทความวิจัย (Research Article)**
บทความวิจัย ประกอบด้วยหน้าชื่อเรื่อง บทคัดย่อ และเนื้อหาของบทความ โดยมีข้อมูลตามลำดับดังนี้ ชื่อเรื่อง ชื่อผู้เขียน สังกัด (ภาควิชา คณะ สถาบัน) และอีเมลล์ ของผู้เขียนสำหรับติดต่อ ในส่วนบทคัดย่อต้องระบุถึงแบบแผนการวิจัย วัตถุประสงค์ ประการและตัวอย่าง เครื่องมือวิจัย การเก็บรวบรวมข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล และผลการวิจัย ความยาวไม่เกิน 250 คำ ในกรณีที่ต้นฉบับเป็นภาษาไทย ให้เขียนบทคัดย่อทั้งภาษาไทย และภาษาอังกฤษ ระบุคำสำคัญของเรื่อง (Keywords) จำนวนไม่เกิน 5 คำ ในส่วนเนื้อหาของบทความ ให้เริ่มต้นจากความ เป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ กรอบแนวคิดในการวิจัย (ถ้ามี) สมมติฐานการวิจัย (ถ้ามี) วิธีดำเนินการวิจัย ผลการวิจัย อภิปรายผล ข้อเสนอแนะ และกิตติกรรมประกาศ (ถ้ามี)

- บทความวิชาการ (Academic Article)**
บทความวิชาการ ประกอบด้วยชื่อเรื่อง บทคัดย่อ และเนื้อหาของบทความ โดยเรียงลำดับดังนี้ ชื่อเรื่อง ชื่อผู้เขียน สังกัด (ภาควิชา คณะ สถาบัน) และอีเมลล์ของผู้พิมพ์ สำหรับติดต่อ ในส่วนบทคัดย่อ ต้องระบุถึงวัตถุประสงค์ หัวข้อที่น่าสนใจ สรุป และข้อเสนอแนะ โดยเนื้อหาในบทคัดย่อความยาวไม่เกิน 250 คำ ในกรณีที่ต้นฉบับเป็น

ภาษาไทย ให้เขียนบทคัดย่อทั้งภาษาไทย และภาษาอังกฤษ ระบุคำสำคัญของเรื่อง (Keywords) จำนวนไม่เกิน 5 คำ ในส่วนเนื้อหาของบทความ ให้เริ่มต้นจากบทนำ ที่แสดงเหตุผลหรือที่มาของประเด็นที่ต้องการอธิบายหรือวิเคราะห์ ในส่วนเนื้อหาสาระ จะเป็นการอธิบายหรือวิเคราะห์ประเด็นตามหลักวิชาการ โดยมีการสำรวจเอกสารหรืองานวิจัย เพื่อสนับสนุนจนสามารถสรุปผลการวิเคราะห์ในประเด็นนั้นได้ อาจเป็นการนำความรู้จากแหล่งต่างๆ มาประมวลร้อยเรียงเพื่อวิเคราะห์อย่างเป็นระบบ โดยผู้เขียนสามารถแสดงทัศนะทางวิชาการของตนเองไว้อย่างชัดเจนด้วย ส่วนสุดท้ายจะเป็นส่วนสรุปและข้อเสนอแนะ มีการเขียนเอกสารอ้างอิงที่ครบถ้วนสมบูรณ์

3. บทความปริทัศน์ (Review Article)

บทความปริทัศน์ ประกอบด้วยชื่อเรื่อง ชื่อผู้เขียน สังกัด (ภาควิชา คณะ สถาบัน) และอีเมลของผู้เขียน สำหรับติดต่อ บทความปริทัศน์เป็นการนำเสนอภาพรวมของเรื่องที่น่าสนใจ ในส่วนของเนื้อหาของบทความ ต้องมีบทนำ เพื่อกล่าวถึงความน่าสนใจของเรื่องที่น่าสนใจก่อนเข้าสู่เนื้อหาในแต่ละประเด็น และต้องมีบทสรุปเรื่องที่เสนอ พร้อมข้อเสนอแนะจากผู้เขียนเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวสำหรับให้ผู้อ่านได้พิจารณาประเด็นที่น่าสนใจต่อไปผู้เขียนควรตรวจสอบเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับบทความที่นำเสนออย่างละเอียด โดยเฉพาะอย่างยิ่งเนื้อหาที่ใหม่ที่สุด ข้อมูลที่นำเสนอจะต้องไม่จำเพาะเจาะจงเฉพาะผู้อ่านที่อยู่ในสาขาของบทความเท่านั้น แต่ต้องนำเสนอข้อมูลที่ซึ่งผู้อ่านในสาขาอื่นสามารถเข้าใจได้

4. บทวิจารณ์หนังสือ (Book Review)

บทวิจารณ์หนังสือ ประกอบด้วยชื่อเรื่อง ชื่อผู้เขียน สังกัด (ภาควิชา คณะ สถาบัน) และอีเมลของผู้เขียน สำหรับติดต่อ ชื่อเรื่องของบทวิจารณ์หนังสือควรเรียกถึงความสนใจของผู้อ่านและสื่อความหมายได้ชัดเจน เช่น ตั้งชื่อตามชื่อหนังสือที่ต้องการวิจารณ์ ตั้งชื่อตามจุดมุ่งหมายของเรื่อง ตั้งชื่อด้วยการให้ประเด็น ขวนคิด ขวนสงสัย เป็นต้น ในส่วนบทนำ เป็นการเขียนนำเกี่ยวกับหนังสือที่จะวิจารณ์ ในส่วนเนื้อหา เป็นส่วนแสดงความคิดเห็นและรายละเอียด ในการวิจารณ์ โดยนำเสนอจุดเด่น และจุดบกพร่องของเรื่องอย่างมีหลักเกณฑ์และมีเหตุผล และส่วนสุดท้ายเป็นบทสรุป เป็นการเขียนสรุปความคิดทั้งหมดที่วิจารณ์และให้แง่คิด หรือข้อสังเกตที่เป็น ประโยชน์ต่อผู้อ่าน นอกจากนี้บทสรุปยังช่วยให้ผู้อ่านได้บทวน ประเด็นสำคัญของเรื่องและความคิดสำคัญของผู้วิจารณ์ แม้ว่าผู้อ่านอาจจะไม่ได้อ่านบทวิจารณ์ทั้งบท แต่ได้อ่านบทสรุปก็สามารถทราบเรื่องของหนังสือที่นำมาวิจารณ์ รวมทั้งความคิดเห็นของผู้วิจารณ์ที่มีต่อหนังสือเรื่องนั้นได้

การเตรียมต้นฉบับ

1. ขนาดของบทความ: ควรจัดพิมพ์บทความด้วย Microsoft Word บนกระดาษขนาด A4 หน้าเดียว ประมาณ 26 บรรทัด ต่อ 1 หน้า แบบแนวตั้ง (Portrait) รูปแบบตัวอักษร (Font) ให้ใช้ตัวอักษร TH Sarabun PSK ขนาดของตัวอักษร (Font size) เท่ากับ 16 และใส่เลขหน้าตั้งแต่ต้นจนจบบทความที่ด้านบนขวาของกระดาษ (ยกเว้นหน้าแรก) ความยาวของบทความไม่ควรเกิน 15 หน้า สำหรับการตั้งค่าหน้ากระดาษ (Page setup) และส่วนระยะขอบ (Margins) กำหนดดังนี้

ด้านบน (Top)	2.54 ซม.	ด้านล่าง (Bottom)	2.54 ซม.
ด้านซ้าย (Left)	2.54 ซม.	ด้านขวา (Right)	2.54 ซม.
หัวกระดาษ (Header)	1.25 ซม.	ท้ายกระดาษ (Footer)	1.25 ซม.

2. ชื่อเรื่อง ชื่อผู้เขียน และสังกัด (Title, Author's name, Author's affiliation): ชื่อเรื่องภาษาไทยและภาษาอังกฤษจัดกึ่งกลาง ให้ใช้ตัวอักษร TH Sarabun PSK ขนาดของตัวอักษร 18 ตัวหนา ส่วนชื่อ-นามสกุลผู้เขียน และสังกัด ให้เขียนทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ทั้งนี้ ชื่อผู้เขียนให้ใช้ตัวอักษร TH Sarabun PSK ขนาดของตัวอักษร 16 ตัวหนา และไม่ต้องระบุค่านำหน้าชื่อ เช่น นาย นาง นางสาว ดร. ผศ. รศ. ศ. เป็นต้น ส่วนสังกัดให้ใช้ตัวอักษร TH Sarabun PSK ขนาดของตัวอักษร 16 ตัวหนา ให้ระบุสาขาวิชา ภาควิชา คณะ สถาบัน หรือหน่วยงานที่สังกัด พร้อมอีเมลในการติดต่อ ทั้งนี้ กรณีมีผู้เขียนมากกว่า 1 คน ให้ระบุด้วยว่าใคร คือ ผู้ประสานงานหลัก (Corresponding Author)

3. บทคัดย่อ (Abstract): หัวข้อบทคัดย่อให้ใช้ตัวอักษร TH Sarabun PSK ขนาดของตัวอักษร 18 ตัวหนา และขีดซ้าย ส่วนเนื้อความในบทคัดย่อและคำสำคัญให้ใช้ตัวอักษร TH Sarabun PSK ขนาดของตัวอักษร 16 ตัวธรรมดา หากเป็นบทความภาษาไทยให้เขียนบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ หากเป็นบทความภาษาอังกฤษให้เขียนบทคัดย่อเป็นภาษาอังกฤษ (หรืออาจมีบทคัดย่อภาษาไทยด้วยหรือไม่ก็ได้) ทั้งนี้ บทคัดย่อภาษาไทยและภาษาอังกฤษ รวมกันไม่ควรเกิน 1 หน้ากระดาษ A4 ให้จัดพิมพ์เป็น 1 คอลัมน์ มีความยาวประมาณ 250 คำ จะต้องพิมพ์คำสำคัญในบทคัดย่อภาษาไทย และพิมพ์ Keywords ในบทคัดย่อภาษาอังกฤษของบทความเรื่องนั้นด้วยจำนวนไม่เกิน 5 คำ

4. เนื้อหา (Content): หัวข้อให้ใช้ตัวอักษร TH Sarabun PSK ขนาดของตัวอักษร 18 ตัวหนาและขีดซ้าย ส่วนเนื้อความในแต่ละหัวข้อให้ใช้ตัวอักษร TH Sarabun PSK ขนาดของตัวอักษร 16 ตัวธรรมดา

5. รูปภาพและตารางประกอบ: ควรมีภาพที่ชัดเจน ถ้าเป็นรูปถ่ายควรมีภาพถ่ายจริงแนบมาด้วย หากเป็นภาพที่คัดลอกมาจากแหล่งอื่นควรเขียนแหล่งอ้างอิงนั้นด้วยตามหลักวิชาการ กรณีรูปภาพให้ใช้คำว่า “ภาพที่” กรณีตารางให้ใช้คำว่า “ตารางที่”

6. เอกสารอ้างอิง (References): การเขียนอ้างอิงให้ใช้ระบบ APA โดยมีเงื่อนไขดังนี้

6.1 เอกสารที่นำมาอ้างอิงต้องมีไม่เกิน 20 รายการ และไม่ควรมีอายุเกิน 10 ปี ยกเว้นแนวคิดหรือทฤษฎีที่เกิดขึ้นก่อน 10 ปีและในปัจจุบันยังมีส่วนนำมาใช้ อนุโลมให้นำมาใช้อ้างอิงได้

6.2 ให้จัดพิมพ์เป็น 1 คอลัมน์ และเรียงตามลำดับตัวอักษร

6.3 ต้องมีการอ้างอิงบทความที่มีการตีพิมพ์ในวารสารศรีปทุมปริทัศน์ ฉบับมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ อย่างน้อย 1 บทความ

6.4 การอ้างอิงในเนื้อหา ใช้ระบบนามปี [นามสกุล, ปี หรือ นามสกุล (ปี)] และอ้างอิงโดยใช้นามสกุลภาษาอังกฤษเท่านั้น เช่น Yurarach (2017) หรือ (Yurarach, 2017) เป็นต้น ทั้งนี้ หากมีผู้แต่ง 2 คน ให้ใส่นามสกุลทั้งสองคน เช่น Yurarach and Yoothanom (2017) หรือ (Yurarach and Yoothanom, 2017) หากมีผู้แต่งมากกว่า 2 คน ให้ใส่นามสกุลของผู้แต่งคนแรก และตามด้วย “et al.” เช่น Yurarach et al. (2017) หรือ (Yurarach et al., 2017) เป็นต้น

6.5 เอกสารอ้างอิงฉบับภาษาไทยต้องแปลเป็นภาษาอังกฤษทั้งหมด โดยมีแนวทางดังนี้

(1) ต้องแปลเอกสารอ้างอิงภาษาไทยเป็นภาษาอังกฤษทุกรายการ โดยยังคงเอกสารอ้างอิงภาษาไทยเดิมไว้ด้วย เขียนจัดเรียงคู่กัน โดยให้เอกสารอ้างอิงภาษาอังกฤษที่แปลขึ้นก่อนและตามด้วยเอกสารอ้างอิงภาษาไทย และเดิมคำว่า “(in Thai)” ต่อท้ายเอกสารอ้างอิงภาษาอังกฤษที่แปลจากภาษาไทย

(2) การเรียงลำดับเอกสารอ้างอิง กรณีเอกสารอ้างอิงที่แปลจากภาษาไทยเป็นภาษาอังกฤษให้เรียงลำดับตามตัวอักษรภาษาอังกฤษ และรายการเอกสารอ้างอิงทุกรายการ หากมีผู้เขียนไม่เกิน 6 คน ให้ใส่ชื่อให้ครบทุกคน แต่หากมีมากกว่า 6 คน ให้ใส่ชื่อทั้ง 6 คน หลังจากคนที่ 6 ให้ตามด้วย “และคณะ” หรือ “et al”

ตัวอย่างการแปลเอกสารอ้างอิงภาษาไทยเป็นภาษาอังกฤษ

ตัวอย่างที่ 1 หนังสือ

ชื่อผู้แต่ง. (ปีพิมพ์). ชื่อหนังสือ. พิมพ์ครั้งที่ (ถ้ามี). สถานที่พิมพ์ (เมือง): สำนักพิมพ์หรือโรงพิมพ์.

Iamsiriwong, O. (2008). *Database Systems*. Bangkok: SE-Education. (in Thai)

โสภาส เอี่ยมสิริวงศ์. (2551). *ระบบฐานข้อมูล*. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ด ยูเคชั่น.

ตัวอย่างที่ 2 วารสาร

ชื่อผู้แต่ง. (ปีพิมพ์). ชื่อบทความ. ชื่อวารสาร, ปีที่ (ฉบับที่), หน้าแรก-หน้าสุดท้าย.

Jitsakul, W. and Sodsri, S. (2017). Text Classification Analysis by Stability Comparison of Algorithms. *Sripatum Review of Science and Technology*, 9, 19-31. (in Thai)

วัชรวิวัฒน์ จิตต์สกุล และสุนันทา สดสี. (2559). การวิเคราะห์การจำแนกข้อความด้วยการเปรียบเทียบความเสถียรของอัลกอริทึม. *วารสารศรีปทุมปริทัศน์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 9, 19-31.

ตัวอย่างที่ 3 เว็บไซต์

ชื่อผู้แต่ง. (ปีพิมพ์). ชื่อเรื่อง. [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ วัน เดือน ปี, จาก: URL.

Wikipedia free encyclopedia. (2018). *Globalization* [Online]. Retrieved May 23, 2018, from: <http://th.wikipedia.org/wiki/Globalization>. (in Thai)

วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. (2561). *โลกาภิวัตน์* [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 23 พฤษภาคม 2561, จาก : <http://th.wikipedia.org/wiki/Globalization>.

ตัวอย่างที่ 4 รายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการ

ชื่อผู้แต่ง. (ปีพิมพ์). ชื่อบทความ. รายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการ (ชื่อเอกสาร), วัน เดือน ปี สถานที่จัด, หน้าแรก-หน้าสุดท้าย.

Chaksupa, T. and Bunditwattanawong, T. (2015). An Ontology for Quality Hands-on Examination Development in Information Technology. *The Proceedings of the 10th National Sripatum University Conference (SPUCON2015)*, 22 December 2015 at Sripatum University (Bangkhen Campus), 1581-1589. (in Thai)

ทนวงศ์ จักขุพา และเทพฤทธิ์ บัณฑิตวัฒนวงศ์. (2558). “ออนโทโลยีปัจจัยคุณภาพสำหรับออกข้อสอบภาคปฏิบัติสาขาไอที.” รายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยศรีปทุม ครั้งที่ 10 ประจำปี 2558, วันที่ 22 ธันวาคม 2558 ณ มหาวิทยาลัยศรีปทุม, 1581-1589.

ตัวอย่างที่ 5 วิทยานิพนธ์

ชื่อผู้แต่ง. (ปีพิมพ์). ชื่อวิทยานิพนธ์. ระดับปริญญาของวิทยานิพนธ์, ชื่อมหาวิทยาลัย.

Chaksupa, T. (2015). *Ontology Development for Recommender System with Qualitative Factors for Hands-on Examination Selection in Information Technology*. Thesis of the Degree of Doctor of Philosophy Program in Information Technology. Sripatum University. (in Thai)

ทนวงศ์ จักขุพา. (2559). การพัฒนาออนโทโลยีปัจจัยเชิงคุณภาพสำหรับระบบค้นหาเชิงความหมาย ในการออกข้อสอบภาคปฏิบัติสาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ. วิทยานิพนธ์ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ. มหาวิทยาลัยศรีปทุม.

7. บทความทุกเรื่องที่ส่งให้กองบรรณาธิการพิจารณา ต้องไม่ได้รับการเผยแพร่ที่ใดมาก่อน หรืออยู่ระหว่างการพิจารณาเผยแพร่ของวารสารอื่นๆ

8. การส่งต้นฉบับบทความ (Submission)

8.1 ส่งต้นฉบับบทความ (Manuscript) ที่จัดเตรียมตามคำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับและตามรูปแบบการอ้างอิงที่วารสารกำหนด (นามสกุล .docx และ .pdf) และส่งผ่านระบบ ThaiJo โดยให้ผู้เขียนเข้าไปลงทะเบียนและทำตามขั้นตอนของระบบ โดยสามารถเข้าไปดำเนินการได้ที่ <https://www.tci-thaijo.org/index.php/spurst>

8.2 กรณีที่บทความไม่ผ่านการพิจารณาเบื้องต้นจากกองบรรณาธิการ ผู้เขียนไม่จำเป็นต้องจ่ายค่าดำเนินการใดๆ แต่กรณีที่กองบรรณาธิการพิจารณาเบื้องต้นแล้วเห็นว่า ควรส่งผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer reviewers) จำนวน 3 ท่าน ตรวจสอบและประเมินคุณภาพของบทความ ผู้เขียนจะต้องจ่ายค่าดำเนินการ (Operation fee) ในอัตรา 6,000 บาท ต่อ 1 บทความ โดยใช้วิธีการโอนเงินเข้าบัญชีธนาคารและส่งสลิปเงินโอนมาที่กองบรรณาธิการวารสารศรีปทุมปริทัศน์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ผ่านช่องทางอีเมล spujournal@spu.ac.th หรือทางไปรษณีย์

(1) ชื่อบัญชีธนาคาร

ธนาคารกรุงเทพ สาขามหาวิทยาลัยศรีปทุม

ชื่อบัญชี มหาวิทยาลัยศรีปทุม ประเภทบัญชี ออมทรัพย์

เลขที่บัญชี 006-8-07686-8

(2) กองบรรณาธิการ วารสารศรีปทุมปริทัศน์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ที่อยู่ ศูนย์ส่งเสริมการวิจัยและการประกันคุณภาพการศึกษา มหาวิทยาลัยศรีปทุม

เลขที่ 2410/2 ถนนพหลโยธิน แขวงเสนานิคม เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

โทรศัพท์ 0-2579-1111 ต่อ 1331, 1336, 1155

นโยบายและเงื่อนไขในการพิจารณาบทความ (Editorial Policy)

1. บทความที่ส่งมาเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ต้องเป็นผลงานที่อยู่ในสาขาวิชาใดวิชาหนึ่งตามวัตถุประสงค์ของวารสาร ได้แก่ (1) General Computer Science (2) General Energy (3) General Engineering (4) Architecture และ (5) General Environmental Science

2. บทความที่ส่งมาต้องไม่เคยได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ที่วารสารใดมาก่อนและต้องไม่อยู่ระหว่างการเสนอเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารฉบับอื่น

3. บทความที่ส่งมาจะได้รับการประเมินคุณภาพเบื้องต้นจากกองบรรณาธิการก่อน โดยจะพิจารณาถึงความเหมาะสมและสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของวารสาร โดยการพิจารณาแยกเป็น 2 กรณี คือ

3.1 ในกรณีที่บทความไม่ผ่านการพิจารณาเบื้องต้นจากกองบรรณาธิการ บรรณาธิการจะแจ้งปฏิเสธการรับตีพิมพ์บทความ (Reject) พร้อมเหตุผล ข้อเสนอแนะ หรือข้อสังเกตสั้นๆ ให้ผู้ส่งบทความได้รับทราบ ทั้งนี้ ผู้เขียนไม่จำเป็นต้องจ่ายค่าดำเนินการใดๆ

3.2 ในกรณีที่บทความผ่านการพิจารณาเบื้องต้นจากกองบรรณาธิการ ผู้เขียนจะต้องจ่ายค่าดำเนินการ (Operation fee) ในอัตรา 6,000 บาท ต่อ 1 บทความ และบรรณาธิการจะส่งบทความให้ผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer reviewers) ในสาขาที่เกี่ยวข้องจำนวน 3 ท่าน เพื่อตรวจสอบคุณภาพของบทความก่อนลงตีพิมพ์ โดยผู้ประเมินไม่ทราบชื่อผู้แต่งและผู้แต่งไม่ทราบชื่อผู้ประเมินบทความ (Double-blind peer review) ทั้งนี้ การจ่ายเงินค่าดำเนินการให้จ่ายผ่านระบบการโอนเข้าบัญชีธนาคารเท่านั้น

4. เมื่อผู้ทรงคุณวุฒิได้พิจารณากลับกรองบทความเรียบร้อยแล้ว กองบรรณาธิการจะพิจารณาว่าบทความนั้นๆ ควรได้ลงตีพิมพ์ (Accept) หรือควรส่งคืนให้ผู้เขียนแก้ไขเพื่อพิจารณาอีกครั้งหนึ่ง (Major/Minor Revision) หรือควรแจ้งปฏิเสธการลงตีพิมพ์ (Reject)

5. กองบรรณาธิการขอสงวนสิทธิ์ในการพิจารณาและตัดสินใจตีพิมพ์บทความในวารสาร และจะไม่คืนเงินไม่ว่าในกรณีใดๆ

แบบฟอร์มส่งบทความเพื่อพิจารณานำลงวารสารศรีปทุมปริทัศน์

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

เรียน บรรณาธิการ

ข้าพเจ้า (นาย/นาง/นางสาว).....

ตำแหน่ง.....อาจารย์ประจำสาขาวิชา/ภาควิชา.....

คณะ.....มหาวิทยาลัย.....

ขอส่ง () บทความวิจัย () บทความวิชาการ

() บทความหนังสือ () บทความปริทัศน์

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก

ชื่อเรื่อง (ภาษาไทย)

ชื่อเรื่อง (ภาษาอังกฤษ)

คำสำคัญ (ภาษาไทย)

Keywords (ภาษาอังกฤษ)

ชื่อผู้เขียน (ภาษาไทย)

ชื่อผู้เขียน (ภาษาอังกฤษ)

ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวกหมู่ที่.....ซอย.....

ถนน.....ตำบล/แขวง.....อำเภอ/เขต.....

จังหวัด.....รหัสไปรษณีย์.....โทรศัพท์.....

โทรศัพท์มือถือ.....โทรสาร.....E-mail.....

ข้าพเจ้าขอรับรองว่าบทความนี้

() เป็นผลงานของข้าพเจ้าแต่เพียงผู้เดียว

() เป็นผลงานของข้าพเจ้าและผู้ร่วมงานตามชื่อที่ระบุในบทความจริง

บทความนี้ไม่เคยลงตีพิมพ์ในวารสารใดมาก่อน และจะไม่นำไปเพื่อพิจารณาลงตีพิมพ์ในวารสารอื่นๆ อีก นับจากวันที่ข้าพเจ้าได้ส่งบทความฉบับนี้มายังกองบรรณาธิการวารสารศรีปทุมปริทัศน์

ลงนาม

(.....)



NATIONAL AND
INTERNATIONAL
SRIPATUM
UNIVERSITY
CONFERENCE
2024

วารสารศรีปทุมปริทัศน์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

SRIPATUM REVIEW OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

ปีที่ 15 มกราคม – ธันวาคม 2566

บทความวิจัย

- 11 การศึกษาลักษณะแปรผันรอบวันของทัศนวิสัยในประเทศไทยและความสัมพันธ์กับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา
: สัตินา ทะสะใส, ภักพวงษ์ พจนารถ
- 26 การพัฒนาตัวแบบพยากรณ์ของปริมาณเชื้อเพลิงเพิ่มพิเศษสำหรับเครื่องบินแบบแอร์บัส A320-200
ทำการบินลงสนาม ณ ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ : กรณีศึกษาสายการบินไทยสมายล์
: บุณยฤทธิ์ มณีไชยพล, วรพล วัฒนนานนท์
- 41 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการประมาณค่าเชิงเบย์มาตรฐานประชากร
สำหรับข้อมูลที่มีการแจกแจงปกติและมีความนอกเกณฑ์
: นิธิภัทร กมลสุข
- 55 การประยุกต์ใช้วิธีการวางแผนงานที่มีลักษณะซ้ำกันร่วมกับการแลกเปลี่ยนระหว่างเวลากับต้นทุน
สำหรับโครงการก่อสร้างถนน
: ธนิตาเชษฐ์ ดวงโสมมา, ไพจิตร พาวิน
- 71 การจำแนกชนิดสัตว์ชนิดหนึ่งต้นพันธุ์ไม้หายากแอปพลิเคชันด้วยกระบวนการเรียนรู้เชิงลึก
: ณัฐวดี หงษ์บุญมี, อนุชา คำดีแท้
- 86 การพัฒนาระบบเพื่ารว้าง้าง้านุกรมในพื้นที่เกษตรกรรมเพื่อลดความขัดแย้งระหว่างคนและช้าง
ด้วยเทคโนโลยีโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน
: วสุพล เพื่อกนำพล, วิษณุ กุมทอง, ปฏิกม ทองจริง
- 101 การประยุกต์ดัชนีความแตกต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์จากอากาศยานไร้คนขับเพื่อลดต้นทุนการใช้ปุ๋ย
ในการเพาะปลูกข้าวเจ้าพันธุ์ กข33
: เกียรติกุลไชย จิตต์เื้ออ, เกียรติกร ทานา, ดี จันทรศุกฤษณ์, พันณิศา เวชสาร, ยศวริศ พันธุ์เสนีย์
- 115 การสร้างแบบจำลองการวัดประสิทธิภาพการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกิจกรรมคลังสินค้า
: ชุตินเดช มั่นคงธรรม, ชนินชา หมอยาดี

<https://www.tci-thaijo.org/index.php/spurst>

ISSN 2985 - 1734



NATIONAL AND
INTERNATIONAL
SRIPATUM
UNIVERSITY
CONFERENCE
2024