

ISSN : 2408-235X

SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY

Volume 11 / Number 1 / January - June 2025

SAUJOURNAL.SAU.AC.TH



SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY

เจ้าของ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์

ที่ปรึกษา

ดร.ฉัททวุฒิ พิษผล

อธิการบดี

บรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร.วีระพันธ์ คั่งทองสุข

มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์

กองบรรณาธิการภายใน

รองศาสตราจารย์ ดร.วีระพันธ์ คั่งทองสุข

กรรมการ (มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นาวาเอกไชโย ธรรมรัตน์

กรรมการ (มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พนิกา บริบูรณ์สุขศรี

กรรมการ (มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐ โอธนาทรัพย์

กรรมการ (มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จิรฐิติ บรรจงศิริ

กรรมการ (มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์)

ดร.กานูวัฒน์ แตระกุล

กรรมการ (มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์)

กองบรรณาธิการภายนอก

ศาสตราจารย์ ดร.สมชาย วงศ์วิเศษ

กรรมการ (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี)

รองศาสตราจารย์ ดร.ปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธุ์

กรรมการ (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี)

รองศาสตราจารย์ ดร.พานิช อินต๊ะ

กรรมการ (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา)

รองศาสตราจารย์ ดร.วรเชษฐ์ ภิรมย์ภักดี

กรรมการ (มหาวิทยาลัยบูรพา)

รองศาสตราจารย์ ดร.ศิระ สายสร

กรรมการ (สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รองศาสตราจารย์ ดร.จิระศักดิ์ ชาญภูมิธรรม

กรรมการ (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

พระนครเหนือ)

รองศาสตราจารย์ มนต์รี คำเงิน

กรรมการ (สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

กรรมการบริหาร

รองศาสตราจารย์ สิริวิษ ทัดสวน

(มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จิรฐิติ บรรจงศิริ

(มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วราธร แก้วแสง

(มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วีระพงษ์ กาญจนวงศ์กุล

(มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์)



SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY

ฝ่ายพัฒนา ดูแลและปรับปรุงเว็บไซต์

นางณัฐภาวี จิระภาพันธุ์

นางสาวชুমณูช แยมรู้การ

นางสาวรุ่งทิวา ลังกาพันธ์

ฝ่ายเลขานุการ

นางณัฐภาวี จิระภาพันธุ์

นางสาวชুমณูช แยมรู้การ

จัดพิมพ์โดย มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ ถนนเพชรเกษม เขตหนองแขม กรุงเทพฯ 10160

ที่ติดต่อ วารสาร SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์

ถนนเพชรเกษม เขตหนองแขม กรุงเทพฯ 10160 โทร 0-2807-4500-27 ต่อ 404

เว็บไซต์ saujournalst.sau.ac.th อีเมล SAUJournalST@sau.ac.th

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเป็นเอกสารเผยแพร่ผลงานบทความวิจัยและบทความวิชาการ สาขา วิศวกรรมไฟฟ้า วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม วิทยาการคอมพิวเตอร์ วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ วิศวกรรมโยธา วิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมอุตสาหการ อาชีวอนามัยและความปลอดภัย วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม และวิศวกรรมเกษตร
2. เพื่อเป็นสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนความรู้ใหม่ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ระหว่างนักวิจัย นักศึกษาและผู้สนใจทั่วไป
3. เพื่อเป็นเอกสารรวบรวมรายงานและบทความวิจัยที่น่าสนใจ และมีคุณค่าทางวิชาการทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
4. เพื่อส่งเสริมและสนับสนุนให้เกิดองค์ความรู้ใหม่แก่นักวิจัยของมหาวิทยาลัยเอเซียอาคเนย์ นักศึกษาและผู้สนใจทั่วไป

ขอบเขต

เป็นเอกสารเผยแพร่บทความวิจัยและบทความวิชาการ (บทความวิชาการปริทรรศน์ บทความวิชาการเทคนิค บทความวิชาการพิเศษ) ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

วาระการเผยแพร่

วารสาร SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY มีกำหนดออกปีละ 2 ฉบับ โดยฉบับที่ 1 จะจัดพิมพ์ระหว่างเดือนมกราคม-มิถุนายน ฉบับที่ 2 จะจัดพิมพ์ระหว่างเดือนกรกฎาคม-ธันวาคม ของทุกปี

ข้อคิดเห็นในบทความของวารสาร SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY เป็นทรัพย์สินส่วนตัวของผู้เขียน กองบรรณาธิการไม่จำเป็นต้องเห็นด้วย

Objectives

The main objectives of this journal are:

1. to publish research articles and academic articles in science and technology, Journal focus are Electrical Engineering, Electronics and communication Engineering, Computer Science, Computer Engineering, Civil Engineering, Mechanical Engineering, Industrial Engineering, Occupational Health and Safety, Environment Engineering and Agricultural Engineering;
2. to become a center for exchanging innovations in science and technology among researchers and interested persons;
3. to become a collection of interesting and valuable research papers and articles;
4. to promote and encourage Southeast Asia University researchers and interested persons to develop innovations.

Scope

To publish research articles and academic articles (Review articles, Technical article, Special Articles) in science and technology.

Schedule

SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY is published two issues annually. The first volume is published between January and June and the second is published July and December in each year.

Comments on the article of the SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY is a personal opinion of the author. Editors boards may not necessarily agree.

บทบรรณาธิการ

วารสาร SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY ปีที่ 11 ฉบับที่ 1
ประจำเดือน มกราคม – มิถุนายน พ.ศ. 2568 ปัจจุบันเป็นวารสารที่ได้รับรองให้อยู่ใน
ฐานข้อมูลของ TCI 2

จากผลการดำเนินงานของวารสารฉบับนี้มีบทความที่น่าสนใจทั้งหมด 6 บทความ เป็น
บทความวิจัย จำนวน 6 บทความ ซึ่งกองบรรณาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่าผู้อ่านจะได้รับความรู้
จากงานวิจัยต่าง ๆ ในวารสารเล่มนี้เป็นอย่างมาก

และในนามของ กองบรรณาธิการวารสาร ต้องขอขอบพระคุณ ผู้ประเมินบทความทุก
ท่าน ที่ยอมเสียสละเวลาอันมีค่าช่วยกลั่นกรองงานวิจัยให้มีคุณภาพยิ่งขึ้น รวมถึง
คณาจารย์ นักศึกษา บุคคลทั่ว ๆ ไปทุกท่าน ที่ให้ความสนใจส่งบทความเพื่อเข้าสู่ขบวนการ
พิจารณาคุณภาพเพื่อตีพิมพ์เผยแพร่ ด้วยเหตุดังกล่าวนี้นี้ทำให้กองบรรณาธิการทุกท่านมีกำลังใจ
เป็นอย่างมากในการพัฒนาวารสารฯ ให้มีคุณภาพยิ่งขึ้น

บรรณาธิการ

สารบัญ

บทความวิจัย	หน้า
การใช้เทคนิคเหมืองข้อมูลในการพัฒนาโมเดลสำหรับทำนายสาขาวิชา ที่เหมาะสมกับผู้สมัครเรียน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร Applying Data Mining Techniques to Develop a Model for Predicting Suitable Academic Fields for University Applicants at Kamphaeng Phet Rajabhat University กนกวรรณ เขียววัน ¹ , นรุตม์ บุตรพลอย ¹ , จินดาพร อ่อนเกตุ ² , นัมภิกา ตันติสันติสม ² , พรหมเมศ วีระพันธ์ ² และ कमกริช กลิ่นอาจ ³	1
Localization error reduction for an electric aircraft tractor prototype using Kalman filter Thitiyos Prakaitham ¹ , Chawalit Panya-isara ¹ , Soontorn Odngam ² and Chaiyut Sumpavakup ^{2*}	13
การรับรู้และการยอมรับเทคโนโลยีการเชื่อมต่อทุกสรรพสิ่งในสนามรบ (Internet of Battle Things : IoBT) ของเจ้าหน้าที่ปฏิบัติการพิเศษ กรณีศึกษา : ศูนย์ปฏิบัติการต่อต้านการก่อการร้ายสากล The Internet of Battle Things (IoBT) – Perception and Adoption of Special Operation Agents : Case Study of Counter Terrorist Operations Center จิรวรรณ นุ่นละออง* และ ชุตติมา พิศาลย์	24
วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงชนิดฟลายแบคควมโมดูลที่ใช้เทคนิคการ ประมวลกำลังบางส่วนสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ Module Integrated Flyback DC-DC Converter using Partial Power Processing Technique for Photovoltaic System โชคชัย ชื่นวัฒนาประมธิ ¹ และ มัทธนา รังสิโยภาส ^{2*}	39

สารบัญ (ต่อ)

บทความวิจัย	หน้า
การใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการออกแบบและประมาณราคา ทางด้านวิศวกรรมทางหลวง Utilizing Software for Model Development and Cost Estimation in Highway Engineering สุวิมล เจียรธรวานิช [*] , ธรรมมา เจียรธรวานิช [*] และ สิริชัย เพชรรุ่ง [*]	54
การศึกษาผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้เชิงรุกบน Mobile Application ในรายวิชา คณิตศาสตร์ กรณีศึกษา MTTS Math application ของนักเรียนช่วงฝึมือทหาร A Study of the Learning Achievement results of Active Learning on Mobile Application in Mathematics Subject: Case Study of MTTS Math Application of Military Technical Training ธิตยา ก้านบัวแก้ว [*] และ ชุติมา พิศาลย์	62

การใช้เทคนิคเหมืองข้อมูลในการพัฒนาโมเดลสำหรับทำนายสาขาวิชา ที่เหมาะสมกับผู้สมัครเรียน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

Applying Data Mining Techniques to Develop a Model for Predicting Suitable Academic Fields for University Applicants at Kamphaeng Phet Rajabhat University

กนกวรรณ เขียววัน^{1*}, นรุตม์ บุตรพลอย¹, จินดาพร อ่อนเกต², ฐัมภิกา ตันติสันติสม²,

พรหมเมศ วีระพันธ์³ และ คมกริช กลิ่นอาจ³

Kanokwan Khiewwan^{1*}, Narut Butploy¹, Jindaporn Ongate², Khumphicha Tantisantisom²,

Phrommate Veeraphan³ and Komkrit Klin-art

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

²สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

³สำนักส่งเสริมวิชาการและงานทะเบียน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

69 หมู่ 1 ต.นครชุม อ.เมือง จังหวัดกำแพงเพชร 62000

ผู้นิพนธ์ประสานงาน : kanokwan_kh@kpru.ac.th

วันที่รับบทความ: 26 ธันวาคม 2567 / วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1: 12 มีนาคม 2568 / วันที่ตอบรับการตีพิมพ์: 8 พฤษภาคม 2568

วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 2: 26 มีนาคม 2568

บทคัดย่อ การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาโมเดลสำหรับการทำนายความเหมาะสมของสาขาวิชาที่นักศึกษาในระดับปริญญาตรีเลือกเรียน โดยประยุกต์ใช้เทคนิคเหมืองข้อมูลจำนวน 5 โมเดล ได้แก่ ต้นไม้ตัดสินใจ การเรียนรู้แบบอย่างง่าย ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน แรนดอมฟอเรสต์ และอะดามัสต์ บนชุดข้อมูลของนักศึกษาจำนวน 1,392 คนจาก 10 หลักสูตรของมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร โดยจัดกลุ่มระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ ดีมาก (A), ดี (B), ปานกลาง (C) และ ไม่ผ่าน (E) ผลการทดลองพบว่า การเรียนรู้แบบอย่างง่ายให้ค่าเฉลี่ย F1-Score สูงสุดใน 6 จาก 10 หลักสูตร โดยเฉพาะในกลุ่มสาขาวิชาที่มีลักษณะข้อมูลเรียบง่ายและแยกกลุ่มได้ชัดเจน ขณะที่ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนแสดงประสิทธิภาพดีในหลักสูตรที่มีโครงสร้างข้อมูลซับซ้อน และแรนดอมฟอเรสต์มีความสามารถโดดเด่นในการจำแนกข้อมูลที่มีความแปรปรวนสูง โดยเฉพาะในหลักสูตรการจัดการทั่วไป ซึ่งให้ค่า F1-Score สูงสุดที่ 0.75 ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า การเลือกโมเดลที่เหมาะสมควรพิจารณาพร้อมกับโครงสร้างของข้อมูลในแต่ละบริบทด้วย ทั้งนี้แม้ว่า การเรียนรู้แบบอย่างง่ายจะให้ผลลัพธ์โดยรวมดีที่สุด แต่ลักษณะของข้อมูลที่มีการซ้อนทับกันระหว่างคลาสในหลายหลักสูตร ยังคงเป็นข้อจำกัดที่ทำให้ระดับความแม่นยำของการจำแนกอยู่ในระดับปานกลาง ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต คือ การพัฒนาโมเดลที่รวมข้อมูลเชิงพฤติกรรม ความสนใจ หรือทักษะด้านอื่นของผู้เรียน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำนาย และสนับสนุนระบบแนะแนวการศึกษาที่สอดคล้องกับศักยภาพของนักศึกษาได้อย่างเหมาะสม

คำสำคัญ: เทคนิคเหมืองข้อมูล, การทำนายสาขาวิชา, มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร, ระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

Abstract This research aimed to develop predictive models for determining the suitability of academic programs for undergraduate students by applying five data mining techniques: Decision Tree (DT), Naive Bayes, Support Vector Machine (SVM), Random Forest, and AdaBoost. The study utilized a dataset of 1,392 students across 10 academic programs at Kamphaeng Phet Rajabhat University. Students' academic performance was grouped into four levels include Excellent (A), Good (B), Fair (C), and Low (E). The experimental results indicated that Naive Bayes achieved the highest average F1-Score in 6 out of 10 programs, particularly in programs with simple data structures and clearly separable classes. In contrast, SVM performed well in programs with complex or overlapping data structures, while Random Forest demonstrated outstanding performance in handling high-variance data, especially in the General Management program, where it achieved the highest F1-Score of 0.75. The findings suggest that selecting an appropriate model should consider the underlying structure of the dataset in each specific context. Although Naive Bayes yielded the best overall results, data overlapping between classes in several programs remained a limiting factor, resulting in moderate classification accuracy. Future research should consider incorporating behavioral, interest-based, or skill-related features to enhance prediction accuracy and support educational guidance systems that better align with each student's potential.

Keywords: Data Mining, Program Prediction, Kamphaeng Phet Rajabhat University, Students' academic performance

1. บทนำ

การเลือกสาขาวิชาที่เหมาะสมสำหรับนักศึกษาปี 1 เป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่มีผลกระทบต่อความสำเร็จทางการศึกษาและการพัฒนาอาชีพในอนาคต อย่างไรก็ตาม นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาชั้นปีที่ 6 จำนวนมาก ประสบปัญหาการตัดสินใจเลือกสาขาวิชาเนื่องจากขาดข้อมูลที่ชัดเจนเกี่ยวกับความถนัด ความเหมาะสม และโอกาสในตลาดแรงงาน การตัดสินใจที่ผิดพลาดอาจทำให้เกิดปัญหานักศึกษาออกกลางคัน เพราะไม่มีความสนใจและกระตือรือร้นในการเรียน กรณีของมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชรพบปัญหาอัตราการออกกลางคันสูงถึงร้อยละ 25 ในแต่ละปีการศึกษา [1] โดยปัญหาสำคัญเกิดจากนักเรียนขาดประสบการณ์ ไม่ทราบถึงความต้องการและทักษะของตน ประกอบกับไม่รู้จักแต่ละสาขาวิชามากพอ ทำให้ใช้ความรู้สึกชอบ มองแค่สภาพแวดล้อม ตามเพื่อน หรือความเห็นของผู้ปกครองในการเลือกสาขาวิชา [2] ซึ่ง

สะท้อนถึงความจำเป็นในการพัฒนาระบบการแนะนำที่มีประสิทธิภาพ

เทคโนโลยีดาต้าไมนิง (Data Mining) เป็นเครื่องมือสำคัญที่ช่วยในการวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูลจำนวนมากเพื่อค้นหารูปแบบและความสัมพันธ์ที่ซ่อนอยู่ในข้อมูล [3][4] งานวิจัยการใช้เทคนิคดาต้าไมนิงในงานด้านการศึกษา [5] นำเสนอการใช้เทคนิคการจำแนกประเภท (Classification) เพื่อทำนายผลการเรียนของนักศึกษา โดยอาศัยข้อมูลประชากรและผลการเรียนในอดีต พบว่าอัลกอริทึม Decision Tree และ Naive Bayes มีความแม่นยำสูงในการทำนายผลสัมฤทธิ์ทางการศึกษา เทคนิคเหล่านี้สามารถประยุกต์ใช้ในระบบแนะนำการศึกษาด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงลึกในระดับสากล งานวิจัยของ [6] ชี้ให้เห็นว่าเทคนิคเหมืองข้อมูล เช่น Decision Tree และ Naive Bayes ได้ถูกนำไปใช้ในการศึกษาระบบแนะนำและการพยากรณ์ผลสัมฤทธิ์ทางการศึกษาของนักเรียนในหลายประเทศ โดยพบว่า

อัลกอริทึมเหล่านี้สามารถช่วยในการจำแนกนักเรียนที่มีความเสี่ยงต่อการออกกลางคันได้อย่างแม่นยำ งานวิจัยของ [7] เปรียบเทียบวิธีการทำเหมืองข้อมูลต่าง ๆ โดยใช้ข้อมูลจากการสำรวจนักศึกษาชั้นปีที่ 1 ของคณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัย Tuzla ในปีการศึกษา 2010-2011 ผลการศึกษาพบว่าตัวแปรทางสังคมและประชากรของนักศึกษา ผลการเรียนรู้จากโรงเรียนมัธยม และทัศนคติต่อการเรียนมีผลต่อความสำเร็จทางการศึกษา ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ [8] ที่พบว่าปัจจัยทางพฤติกรรม เช่น ความสม่ำเสมอในการเข้าเรียนและการมีส่วนร่วมในชั้นเรียน มีผลต่อโอกาสประสบความสำเร็จในการศึกษา งานวิจัยการจำแนกประเภทด้วย Decision Tree ดังเช่น [9] พัฒนาอัลกอริทึม Decision Tree ที่ชื่อว่า ID3 และ C4.5 ซึ่งใช้สำหรับจำแนกข้อมูลและสร้างโมเดลทำนายที่มีความแม่นยำ งานวิจัยนี้เป็นจุดเริ่มต้นของการพัฒนาอัลกอริทึม Decision Tree ที่เข้าใจง่ายและใช้งานได้หลากหลาย เช่น การคัดเลือกสาขาวิชาและพยากรณ์ความสำเร็จในด้านการศึกษา งานวิจัยของ [10] ศึกษาการเลือกสาขาวิชาของนักศึกษาระดับปริญญาตรีโดยใช้เทคนิค Decision Tree และ Naive Bayes พบว่า Decision Tree มีความสามารถในการวิเคราะห์และทำนายสาขาวิชาที่เหมาะสมได้แม่นยำกว่า Naive Bayes เมื่อพิจารณาจากค่าความถูกต้อง (Accuracy)

งานวิจัยการพัฒนา โมเดลการแนะนำแนวทางการศึกษาของ [11] ใช้เทคนิคการทำเหมืองข้อมูล เช่น Decision Tree, Neural Networks และ Support Vector Machine เพื่อพัฒนาโมเดลแนะนำแขนงวิชา พบว่า Decision Tree มีความสามารถสูงในการแนะนำสาขาวิชาที่เหมาะสมกับนักศึกษา โดยมีความแม่นยำสูงสุดในกลุ่มวิศวกรรมซอฟต์แวร์ถึง 86.67% และงานวิจัยของ [12] วิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเลือกศึกษาต่อในระดับมหาวิทยาลัย โดยใช้เทคนิค FP-

Growth และ Evolutionary Selection พบว่าปัจจัยสำคัญ เช่น ชื่อหลักสูตรและเนื้อหาของหลักสูตร มีผลต่อการตัดสินใจเลือกสาขาวิชาและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษา นอกจากนี้งานวิจัยของ [13] ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลผลการเรียนระดับโรงเรียนเดิมและมหาวิทยาลัย พบว่า เกรดเฉลี่ยจากโรงเรียนเดิมในวิชาหลัก เช่น คณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ สามารถใช้ร่วมกับข้อมูลในมหาวิทยาลัย เช่น การเข้าร่วมกิจกรรม เพื่อพัฒนาโมเดลแนะนำแนวการศึกษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากการศึกษางานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น พบว่าเทคนิคการทำเหมืองข้อมูลสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการทำนายสาขาวิชาที่เหมาะสมกับนักเรียนได้ ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการใช้เทคนิคเหมืองข้อมูล ได้แก่ Decision Tree, Naïve Bayes, Support Vector Machine (SVM), Random Forest และ AdaBoost ในการพัฒนาโมเดลสำหรับทำนายสาขาวิชาที่เหมาะสมกับผู้สมัครเรียนที่มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร โดยแตกต่างจากงานวิจัยก่อนหน้านี้ เนื่องจากผู้วิจัยใช้ข้อมูลจากมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชรและเพิ่มการวิเคราะห์ข้อมูลด้วย UMAP (Uniform Manifold Approximation and Projection) Principal Component Analysis (PCA) เพื่ออธิบายการกระจายตัวของข้อมูลในแต่ละระดับผลสัมฤทธิ์ โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาโมเดลการทำนายสาขาวิชาที่เหมาะสมโดยใช้ Decision Tree, Naïve Bayes, SVM, Random Forest และ AdaBoost บนข้อมูลผลการเรียนจากโรงเรียนเดิมและในมหาวิทยาลัย 2 ชั้นปี 2) เปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลจำแนกประเภททั้ง 5 เทคนิค และ 3) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างผลการเรียนในโรงเรียนเดิมกับความสำเร็จในมหาวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร เป็นมหาวิทยาลัยกลุ่มที่ 3 ที่มุ่งเน้นการพัฒนาชุมชนท้องถิ่น

และชุมชนอื่น ๆ โดยมีปรัชญาการศึกษาที่ให้ความสำคัญกับการพัฒนาผู้เรียนตามผลลัพธ์การเรียนรู้ บูรณาการการเรียนการสอนกับการปฏิบัติจริง และใช้ชุมชนเป็นแหล่งเรียนรู้ผ่านกระบวนการทักษะวิศวกรสังคม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีความสำคัญต่อมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร เนื่องจากช่วยให้นักศึกษาเลือกสาขาวิชาที่เหมาะสมกับตนเองมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางของมหาวิทยาลัยในการผลิตบัณฑิตที่มี ทักษะการเรียนรู้ตลอดชีวิต มีจิตอาสา และสามารถนำความรู้ไปพัฒนาท้องถิ่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. วัตถุประสงค์และวิธีการวิจัย

2.1 ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง

ในการวิจัยนี้ได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากสำนักส่งเสริมวิชาการและงานทะเบียน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร โดยใช้ข้อมูลนักเรียนระดับปริญญาตรีภาคปกติชั้นปีที่ 1 และชั้นปีที่ 2 ที่เข้าศึกษาปีการศึกษา 2559-2562 ทั้งหมด 10 หลักสูตร จำนวน 1,392 คน ซึ่งมีคลาสคำตอบจำนวน 4 คลาส ได้แก่ คลาสที่ 1 ผลการเรียนดีมาก (A) คะแนนเฉลี่ย 3.50-4.00 คลาสที่ 2 ผลการเรียนดี (B) คะแนนเฉลี่ยระหว่าง 3.00-3.49 คลาสที่ 3 ผลการเรียนปานกลาง (C) คะแนนเฉลี่ยระหว่าง 2.00-2.99 และคลาสที่ 4 ผลการเรียนต่ำ (E) คะแนนเฉลี่ยต่ำกว่า 2.00

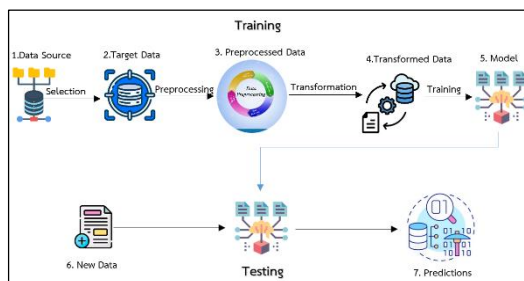
2.2 กระบวนการทำเหมืองข้อมูล

การออกแบบการทดลองเพื่อสร้างตัวแบบสำหรับการจำแนกคลาส มีการเปรียบเทียบเทคนิคสำหรับการสร้างตัวแบบในการจำแนกคลาส 5 เทคนิค โดยแบ่งข้อมูลแต่ละคลาสที่ใช้ในการทดลองออกเป็น 2 ชุด ได้แก่

Training Data (70%): ใช้สำหรับการสร้างโมเดล โดยโมเดลจะเรียนรู้จากข้อมูลในกลุ่มนี้เพื่อค้นหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตาม

Testing Data (30%): ใช้สำหรับการประเมินความถูกต้องของโมเดล โดยข้อมูลในกลุ่มนี้ไม่ถูกใช้ในขั้นตอน

การสร้างโมเดลเพื่อให้การตรวจสอบมีความน่าเชื่อถือและสะท้อนความสามารถของโมเดลได้จริง [9] โดยมีขั้นตอนการทำวิจัยดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 กระบวนการทดลอง

รูปที่ 1 มีขั้นตอนในการทดลองดังนี้

1) การรวบรวมข้อมูล ในงานวิจัยข้อมูลที่ใช้ในการทดลองได้มาจากสำนักส่งเสริมวิชาการและงานทะเบียน มีทั้งข้อมูลจากโรงเรียนเดิม และข้อมูลผลการเรียนในชั้นปีที่ 1 และปีที่ 2 ของนักเรียนระดับปริญญาตรีภาคปกติ ที่เข้าศึกษาปีการศึกษา 2559-2562

2) การเลือกหลักสูตรเป้าหมายเพื่อนำมาใช้ในการทดลอง ผู้วิจัยเลือก 10 หลักสูตร มีรายละเอียดดังนี้ กลุ่มหลักสูตรวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้แก่ หลักสูตรฟิสิกส์ หลักสูตรเคมี หลักสูตรชีววิทยา หลักสูตรคอมพิวเตอร์ และหลักสูตรสาธารณสุขศาสตร์ กลุ่มหลักสูตรมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ ได้แก่ หลักสูตรดนตรีศึกษา หลักสูตรการจัดการทั่วไป หลักสูตรนิติศาสตร์ หลักสูตรการศึกษาปฐมวัย และหลักสูตรบรรณารักษศาสตร์ เนื่องจากข้อมูลมีความสมบูรณ์ที่สุด และการกระจายตัวของคลาสเป้าหมายสูง

3) การเตรียมข้อมูล ข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 ผู้วิจัยทำความสะอาดข้อมูล ตัดข้อมูลที่ไม่มีสมบูรณ์ออกเหลือข้อมูลสำหรับทดลองจำนวน 1,392 รายการ โดยแต่ละรายการประกอบด้วยแอททริบิวต์ ดังนี้ เกรดจากโรงเรียน

เดิม (ม.4-ม.6) ในรายวิชาคณิตศาสตร์, วิทยาศาสตร์, ภาษาอังกฤษ, ภาษาไทย, สังคม, ศิลปะ จากนั้น แบ่งข้อมูลในแต่ละคลาสออกเป็น 2 กลุ่มคือข้อมูลสอนระบบและทดสอบระบบ ด้วยอัตราส่วน 70 : 30

4) การเปลี่ยนรูปแบบข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่โมเดลเหมืองข้อมูลเข้าใจผู้วิจัยใช้เทคนิค Label Encoding เช่น จังหวัดกำแพงเพชร ตาก สุโขทัย แทนที่ด้วย 2 11 และ 45 เป็นต้น ซึ่งมีรายละเอียดคุณลักษณะข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณลักษณะแอททริบิวต์ที่ใช้ในการทดลอง

ชื่อแอททริบิวต์	รายละเอียด	ชนิดข้อมูล
Gender	เพศ (1 = ชาย, 2 = หญิง)	Numeric
Thai_GPA	เกรดเฉลี่ยรายวิชาภาษาไทยตั้งแต่ ม.4-ม.6	Numeric
Math_GPA	เกรดเฉลี่ยรายวิชาคณิตศาสตร์ตั้งแต่ ม.4-ม.6	Numeric
Sci_GPA	เกรดเฉลี่ยรายวิชาวิทยาศาสตร์ตั้งแต่ ม.4-ม.6	Numeric
Social_GPA	เกรดเฉลี่ยรายวิชาสังคมศึกษาตั้งแต่ ม.4-ม.6	Numeric
Health_GPA	เกรดเฉลี่ยรายวิชาสุขภาพตั้งแต่ ม.4-ม.6	Numeric
Art_GPA	เกรดเฉลี่ยรายวิชาศิลปะตั้งแต่ ม.4-ม.6	Numeric
Career_GPA	เกรดเฉลี่ยรายวิชาการงานอาชีพตั้งแต่ ม.4-ม.6	Numeric
Eng_GPA	เกรดเฉลี่ยรายวิชาภาษาอังกฤษตั้งแต่ ม.4-ม.6	Numeric
preSchool	โรงเรียนเดิมที่ศึกษาในระดับ ม.4-ม.6	Numeric
provinceSchool	จังหวัดของโรงเรียนเดิมที่ศึกษาในระดับ ม.4-ม.6	Numeric
Faculty	คณะ	Numeric
Major	หลักสูตร	Numeric
class	GPA จนถึงชั้นปีที่ 2 (คลาสผลลัพธ์)	Categorical

ตารางที่ 1 แสดงคุณลักษณะแอททริบิวต์ที่ใช้ในการทดลอง แบ่งเป็นแอททริบิวต์สำหรับสอนระบบได้แก่แอททริบิวต์ Gender ถึง Major และแอททริบิวต์ class เป็นเป้าหมายการเรียนรู้ซึ่งมีทั้งหมด 4 คลาส ได้แก่ A, B, C และ E ส่วนแอททริบิวต์ GPAของแต่ละรายวิชาผู้วิจัยได้ทำการแปลงรูปแบบจากเลขทศนิยมเป็นตัวเลขจำนวนเต็มโดยกำหนดเงื่อนไขการแปลงรูปแบบดังนี้

เกรดเฉลี่ย ≤ 0.99 แปลงเป็นเลข 1

5) การสร้างโมเดล เทคนิคที่ใช้คือ Decision Tree, Naive Bayes, SVM, Random Forest และ AdaBoost เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพ ในการจำแนกประเภทคลาสผลลัพธ์ที่ได้คือโมเดลที่นำมาใช้กับข้อมูลทดสอบ

6) การทดสอบประสิทธิภาพของโมเดลด้วยข้อมูลทดสอบระบบ โดยใช้วิธี cross-validation แบบวนรอบทั้งหมด 10 ครั้ง

เกรดเฉลี่ย 1.00-1.49 แปลงเป็นเลข 2

เกรดเฉลี่ย 1.50-1.99 แปลงเป็นเลข 3

เกรดเฉลี่ย 2.00-2.49 แปลงเป็นเลข 4

เกรดเฉลี่ย 2.50-2.99 แปลงเป็นเลข 5

เกรดเฉลี่ย 3.00-3.49 แปลงเป็นเลข 6

เกรดเฉลี่ย 3.50-3.99 แปลงเป็นเลข 7

เกรดเฉลี่ย 4.00 แปลงเป็นเลข 8

2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องคอมพิวเตอร์หน่วยประมวลผลกลาง Core i7 หน่วยความจำหลัก 16 GB ซอฟต์แวร์ด้านการทำเหมืองข้อมูล WEKA 3.8.6

2.4 ตัววัดในการประเมินโมเดล

การประเมินโมเดลในงานวิจัยนี้ใช้ตัววัดที่หลากหลายเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพในมิติต่าง ๆ [14] ได้แก่

1) Precision (ความถูกต้อง): วัดความถูกต้องของผลลัพธ์ในกลุ่มที่โมเดลทำนายว่าเป็น Positive

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP} \quad (1)$$

2) Recall (ความครอบคลุม): วัดความสามารถของโมเดลในการดึงข้อมูลที่เป็น Positive จริงทั้งหมด

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} \quad (2)$$

3) F1-Score: คำนวณค่าเฉลี่ยเชิงฮาร์โมนิกระหว่าง Precision และ Recall

$$F1\ Score = \frac{2 \times Precision \times Recall}{Precision+Recall} \quad (3)$$

โดยที่ TP คือ ค่าที่ทำนายตรงกับค่าจริง และถูกต้อง

FP คือ ค่าที่ทำนายไม่ตรงกับค่าจริง

FN คือ ค่าที่ทำนายไม่ตรงกับค่าจริง และไม่ถูกต้อง

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

ตารางที่ 2 และ ตารางที่ 3 แสดงผลผลการประเมินประสิทธิภาพของโมเดลในขั้นตอนการฝึกโมเดล ซึ่งมีโมเดลที่ใช้ในการทดลองได้แก่ Decision Tree (M1), Naive Bayes (M2), SVM (M3), Random Forest (M4) และ AdaBoost (M5) โดยวัดประสิทธิภาพด้วยความแม่นยำในการเรียนรู้ของโมเดล (Train Accuracy) ตารางที่ 3 ผลประเมินประสิทธิภาพของโมเดลในขั้นตอนการทดสอบกลุ่มหลักสูตรตัวอย่าง 10 หลักสูตรประเมินประสิทธิภาพด้วยการวัดค่า Precision, Recall และ F1-Score

ตารางที่ 2 ผลประเมินประสิทธิภาพของโมเดลในขั้นตอนการฝึกโมเดล

	Train Accuracy				
	M1	M2	M3	M4	M5
ฟิสิกส์	60.80	64.00	64.00	61.60	59.2
เคมี	54.47	59.39	52.03	58.54	56.91
ชีววิทยา	35.48	29.03	29.03	22.58	35.48
คอมพิวเตอร์	51.01	54.25	57.49	57.08	52.63
สาธารณสุขศาสตร์	53.85	59.34	60.44	59.34	46.15
ดนตรีศึกษา	55.56	55.56	41.27	61.90	52.38
การจัดการทั่วไป	56.25	62.50	64.58	60.42	62.5
นิเทศศาสตร์	70.67	69.33	78.67	74.67	78.67
การศึกษารัฐบาล	48.04	50.00	47.06	50.98	39.22
บรรณารักษศาสตร์	66.67	60.87	72.46	66.67	60.87

ตารางที่ 3 ผลประเมินประสิทธิภาพของโมเดลในขั้นตอนการทดสอบกลุ่มหลักสูตรตัวอย่าง 10 หลักสูตร

	Test														
	Precision					Recall					F1-Score				
	M1	M2	M3	M4	M5	M1	M2	M3	M4	M5	M1	M2	M3	M4	M5
ฟิสิกส์	0.61	0.67	0.54	0.67	0.35	0.61	0.65	0.61	0.67	0.59	0.61	0.65	0.55	0.65	0.44
เคมี	0.52	0.56	0.55	0.52	0.46	0.50	0.60	0.50	0.56	0.50	0.50	0.56	0.52	0.53	0.41
ชีววิทยา	0.28	0.52	0.37	0.65	0.24	0.31	0.54	0.46	0.62	0.46	0.29	0.47	0.38	0.63	0.32
คอมพิวเตอร์	0.47	0.54	0.39	0.51	0.39	0.44	0.54	0.51	0.51	0.49	0.45	0.53	0.43	0.51	0.43
สาขารณสุขศาสตร์	0.60	0.58	0.63	0.61	0.34	0.54	0.59	0.62	0.49	0.41	0.54	0.53	0.59	0.52	0.37
ดนตรีศึกษา	0.44	0.59	0.58	0.43	0.60	0.48	0.68	0.60	0.48	0.68	0.45	0.63	0.57	0.45	0.61
การจัดการทั่วไป	0.50	0.63	0.38	0.71	0.38	0.57	0.71	0.62	0.81	0.62	0.53	0.66	0.47	0.75	0.47
นิติศาสตร์	0.61	0.65	0.61	0.60	0.61	0.78	0.72	0.78	0.72	0.78	0.69	0.68	0.69	0.65	0.69
การศึกษารัฐมวัย	0.53	0.58	0.47	0.61	0.40	0.50	0.66	0.32	0.59	0.45	0.51	0.61	0.25	0.58	0.42
บรรณารักษศาสตร์	0.76	0.73	0.51	0.67	0.73	0.70	0.73	0.47	0.67	0.70	0.71	0.73	0.46	0.67	0.71

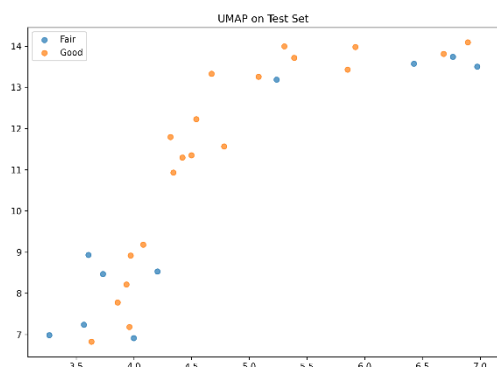
ตารางที่ 2 แสดงค่า ความแม่นยำในการฝึก (Train Accuracy) ของโมเดลการจำแนกประเภทจำนวน 5 โมเดล ได้แก่ Decision Tree (M1), Naive Bayes (M2), Support Vector Machine (M3), Random Forest (M4) และ AdaBoost (M5) โดยทำการประเมินบนข้อมูลจาก 10 หลักสูตร จากผลการประเมิน พบว่า Naive Bayes (M2) มีค่า Train Accuracy สูงสุดในบางหลักสูตร ได้แก่ ฟิสิกส์ (64.00) และเคมี (59.39) ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานพื้นฐานของโมเดล Naive Bayes ที่เหมาะกับข้อมูลที่ตัวแปรมีความเป็นอิสระต่อกัน (Independent Features) และมีโครงสร้างของกลุ่มข้อมูลที่ไม่ซับซ้อน ในขณะที่ SVM (M3) แสดงค่า Train Accuracy สูงสุดในหลายหลักสูตรที่มีความซับซ้อนของข้อมูลมากขึ้น เช่น คอมพิวเตอร์ (57.49) สาขารณสุขศาสตร์ (60.44) การจัดการทั่วไป (64.58) และ นิติศาสตร์ (78.67) ซึ่งแสดงถึงศักยภาพของ SVM ในการเรียนรู้จากข้อมูลที่มีเส้นแบ่งเชิงซ้อนหรือมีมิติสูง สำหรับโมเดลในกลุ่ม Ensemble ได้แก่ Random Forest (M4) และ AdaBoost (M5) พบว่าให้ผลการฝึกที่มีเสถียรภาพในระดับปานกลางถึงสูงในหลายหลักสูตร

โดยเฉพาะในกรณีที่มีข้อมูลมีลักษณะแปรผันหรือมีความหลากหลายภายในกลุ่ม เช่น ชีววิทยา และ การศึกษาปฐมวัย

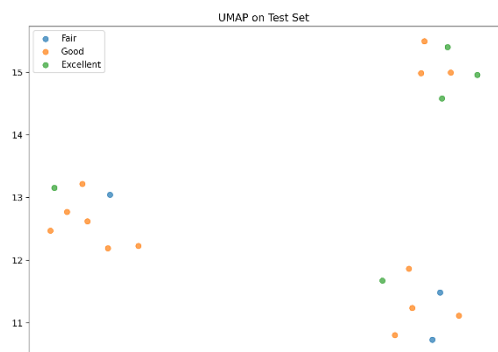
จากผลการทดลองที่แสดงใน ตารางที่ 3 พบว่าโมเดล Naive Bayes (M2) แสดงประสิทธิภาพโดยรวมได้ดีที่สุด โดยมีค่า F1-Score สูงสุดใน 6 จาก 10 หลักสูตร ซึ่งสะท้อนถึงความเหมาะสมของโมเดลกับข้อมูลที่มีโครงสร้างไม่ซับซ้อน หรือมีความแตกต่างระหว่างกลุ่มเป้าหมายอย่างชัดเจน เช่น ในหลักสูตร ดนตรีศึกษา การศึกษารัฐมวัย และบรรณารักษศาสตร์ ทั้งนี้ แม้ Naive Bayes จะให้ผลลัพธ์ที่โดดเด่นโดยรวม แต่โมเดลอื่น เช่น Random Forest และ AdaBoost ยังแสดงศักยภาพในการจำแนกได้ดีในบางบริบท โดยเฉพาะในหลักสูตรที่มีข้อมูลมีลักษณะซับซ้อนหรือมีความแปรผันสูง เช่น การจัดการทั่วไป และ นิติศาสตร์ ซึ่งอาจสะท้อนถึงประสิทธิภาพของโมเดลในบริบทที่ต้องจัดการกับข้อมูลที่มีลักษณะไม่สมดุลหรือมีขอบเขตการจำแนกไม่ชัดเจน [15]

นอกจากนี้ผู้วิจัยดำเนินการวิเคราะห์เพิ่มเติมโดยใช้เทคนิคการลดมิติ (Dimensionality Reduction) ซึ่งเป็น

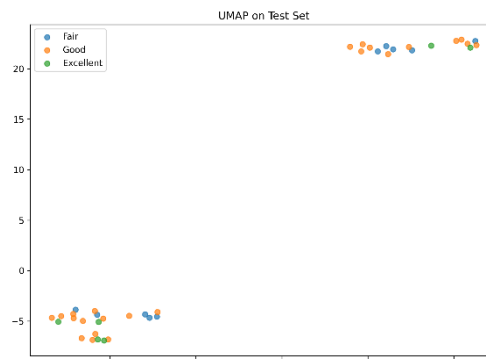
กระบวนการแปลงข้อมูลจากคุณลักษณะหลายมิติให้อยู่ในรูปแบบ สองมิติ เพื่อให้สามารถสังเกตโครงสร้าง การกระจายตัว และรูปแบบของข้อมูลได้อย่างชัดเจนยิ่งขึ้น โดยในงานวิจัยนี้เลือกใช้เทคนิค UMAP (Uniform Manifold Approximation and Projection) ซึ่งเป็นเทคนิคลดมิติแบบไม่เป็นเชิงเส้นที่มีประสิทธิภาพสูง และได้รับความนิยมในงานด้านการวิเคราะห์ข้อมูลและการเรียนรู้ของเครื่อง เนื่องจากสามารถรักษาโครงสร้างของข้อมูลทั้งในระดับภาพรวม (global structure) และระดับกลุ่มย่อย (local structure) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ [16] ด้วยเหตุนี้ UMAP จึงเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับการสำรวจและตีความข้อมูลเชิงจำแนกในแต่ละบริบทของหลักสูตรดังกล่าวอย่างในรูปที่ 2 – รูปที่ 4



รูปที่ 2 การกระจายของข้อมูลทดสอบตามระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลักสูตรบรรณารักษศาสตร์ด้วยเทคนิค UMAP



รูปที่ 3 การกระจายของข้อมูลทดสอบตามระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลักสูตรการจัดการทั่วไปด้วยเทคนิค UMAP



รูปที่ 4 การกระจายของข้อมูลทดสอบตามระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลักสูตรสาธารณสุขศาสตร์ด้วยเทคนิค UMAP

การวิเคราะห์การกระจายของข้อมูลชุดทดสอบด้วยเทคนิค UMAP ในรูปที่ 2, 3 และ 4 แสดงให้เห็นความแตกต่างเชิงโครงสร้างของข้อมูลในแต่ละหลักสูตร ได้แก่ บรรณารักษศาสตร์, การจัดการทั่วไป และ สาธารณสุขศาสตร์ ตามลำดับ ซึ่งสามารถใช้ประกอบการอภิปรายถึงสาเหตุที่โมเดลบางประเภทสามารถทำนายผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ใน รูปที่ 2 ซึ่งแสดงข้อมูลของหลักสูตรบรรณารักษศาสตร์ พบว่าการกระจายของข้อมูลแบ่งออกเป็นสองกลุ่มหลักตามแนวโค้ง โดยมีการซ้อนทับกันบางส่วนระหว่างระดับ Fair และ Good แต่ยังคงรักษาโครงสร้างการแยกกลุ่มได้พอสมควร ลักษณะดังกล่าวเหมาะสมกับโมเดลที่สามารถจัดการกับข้อมูลที่มีโครงสร้างง่ายและรองรับการจำแนกเชิงน่าจะเป็น เช่น Naive Bayes (M2) ซึ่งจากผลใน ตารางที่ 3 พบว่าโมเดลนี้ให้ค่า F1-Score สูงที่สุดในหลักสูตรนี้ (0.73) ซึ่งสอดคล้องกับข้อเสนอของ Hastie et al. [15] ที่ระบุว่า Naive Bayes เหมาะกับข้อมูลที่มีการแยกกลุ่มชัดเจนและมีลักษณะการแจกแจงที่เป็นอิสระ

ใน รูปที่ 3 ซึ่งเป็นข้อมูลของหลักสูตรการจัดการทั่วไป พบว่ามีการกระจายตัวที่แบ่งกลุ่มได้อย่างเด่นชัด โดยเฉพาะกลุ่ม Excellent ที่อยู่ห่างจากกลุ่มอื่นอย่างชัดเจน ขณะที่กลุ่ม Good และ Fair มีแนวโน้มกระจายแยกกันในเชิงแนวราบ ลักษณะดังกล่าวสะท้อนว่า

โครงสร้างข้อมูลมีการแยกคลาสที่ชัดเจน ซึ่งเอื้อต่อการเรียนรู้ของโมเดลที่มีความสามารถในการจับโครงสร้างแบบไม่เชิงเส้นและจัดการกับความแปรปรวนในข้อมูลได้ดี เช่น Random Forest (M4) ที่ให้ค่า F1-Score สูงสุดในหลักสูตรนี้ (0.75) ซึ่งสนับสนุนคุณสมบัติของโมเดล Ensemble ในการจัดการกับข้อมูลที่ซับซ้อน [15]

รูปที่ 4 ที่แสดงข้อมูลของหลักสูตรสาธารณสุขศาสตร์ พบว่าข้อมูลกระจายออกเป็นสองกลุ่มใหญ่ที่มีระยะห่างชัดเจน แต่ภายในกลุ่มยังพบการซ้อนทับระหว่างคลาส Good, Fair และ Excellent ลักษณะการแยกกลุ่มที่ไม่เป็นเชิงเส้นและมีขอบเขตคลุมเครือเช่นนี้ ทำให้โมเดลที่สามารถสร้างเส้นขอบเขตที่ยืดหยุ่น เช่น Support Vector Machine (M3) ทำงานได้ดีขึ้น โดยจากผลใน ตารางที่ 3 พบว่า SVM ให้ค่า F1-Score สูงสุดในหลักสูตรนี้ (0.59) ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของการใช้ Kernel-Based Classifier ในการจำแนกข้อมูลที่ไม่สามารถแยกเส้นตรงได้ในมิติเดิม [17] โดยสรุป ความแตกต่างของโครงสร้างข้อมูลที่ปรากฏจากการวิเคราะห์ด้วย UMAP ช่วยอธิบายถึงความเหมาะสมของโมเดลจำแนกประเภทในแต่ละบริบทของหลักสูตรได้อย่างชัดเจน และสะท้อนว่าการเลือกโมเดลไม่ควรพิจารณาจากค่าเฉลี่ยโดยรวมเท่านั้น แต่ต้องอิงกับลักษณะเชิงโครงสร้างของข้อมูลแต่ละกลุ่มด้วย [16]

4. สรุปผล

การศึกษานี้มุ่งพัฒนาโมเดลเพื่อทำนายความเหมาะสมของสาขาวิชาในระดับปริญญาตรี โดยประยุกต์ใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง 5 ประเภท ได้แก่ Decision Tree (M1), Naive Bayes (M2), Support Vector Machine (SVM, M3), Random Forest (M4) และ AdaBoost (M5) บนชุดข้อมูลนักศึกษาจาก 10 หลักสูตรในมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ผลลัพธ์ที่ได้จากโมเดลจะทำนายว่านักศึกษาที่เลือกเรียนในสาขาใดจะสามารถเรียนจนสำเร็จการศึกษาได้หรือไม่และ

จะเรียนสำเร็จด้วยระดับใด การทำนายผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนจะให้ผลลัพธ์เป็น 4 กลุ่มระดับผลสัมฤทธิ์ ได้แก่ ระดับดีมาก (Excellent) ระดับดี (Good) ระดับปานกลาง (Fair) และ ไม่ผ่าน (Fail) การวิเคราะห์ผลการทดลองพบว่าโมเดล Naive Bayes (M2) ให้ผลลัพธ์โดยรวมดีที่สุด โดยได้ค่า F1-Score สูงสุดใน 6 จาก 10 หลักสูตร ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะข้อมูลที่มีการแยกกลุ่มระหว่างคลาสได้ชัดเจน และคุณลักษณะต่าง ๆ มีแนวโน้มเป็นอิสระต่อกัน (feature independence) เช่น ในหลักสูตร ดนตรีศึกษา, การศึกษาปฐมวัย, และ บรรณารักษศาสตร์ โมเดล SVM (M3) แสดงศักยภาพสูงในหลักสูตรที่มีโครงสร้างข้อมูลซับซ้อน เช่น สาธารณสุขศาสตร์ ซึ่งข้อมูลมีแนวโน้มซ้อนทับระหว่างกลุ่มผลสัมฤทธิ์ การใช้ kernel function ช่วย SVM สามารถสร้างเส้นขอบเขตการจำแนกที่ยืดหยุ่นในมิติสูงได้ดี ด้าน Random Forest (M4) และ AdaBoost (M5) ซึ่งเป็นโมเดลกลุ่ม Ensemble Learning ก็แสดงประสิทธิภาพเด่นในหลักสูตรที่มีการแปรผันของข้อมูลสูง เช่น การจัดการทั่วไป และ นิติศาสตร์ นอกจากนี้ การวิเคราะห์เชิงโครงสร้างด้วยเทคนิค UMAP (Uniform Manifold Approximation and Projection) ช่วยให้เห็นภาพการกระจายของข้อมูลในแต่ละระดับผลสัมฤทธิ์ได้อย่างชัดเจน

แต่ถึงอย่างไรผลจากการทดลองดัง ตารางที่ 2 และ ตารางที่ 3 ชี้ให้เห็นว่าข้อมูลพื้นฐานและผลการเรียนจากโรงเรียนเดิมไม่ได้ส่งผลโดยตรงต่อความสำเร็จในการเรียนที่มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ซึ่งอาจจำเป็นต้องใช้ข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อการทำนายมีความแม่นยำยิ่งขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ [8] [18] ที่เสนอให้มีการจัดเก็บประเภทและรายละเอียดของข้อมูลเพิ่มเติม จากการศึกษาของผู้วิจัยพบว่าปัจจัยอื่น ๆ เช่น พฤติกรรมการเรียนรู้ เช่น ความสม่ำเสมอในการเข้าเรียน การทำแบบฝึกหัด การมีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนการสอน รวมถึงการวัดผล

ทางการเรียนที่ไม่ใช่เพียงแค่เกรดเฉลี่ยหรือผลการทดสอบ อาจช่วยให้โมเดลมีข้อมูลที่ครอบคลุมมากขึ้น ในการทำนายและแนะนำสาขาวิชาที่เหมาะสมกับ ผู้สมัครเรียนแต่ละคนนอกจากนี้ การนำโมเดลไปใช้จริงในระบบแนะนำแนวของมหาวิทยาลัยจะช่วยให้ นักศึกษาปีแรกได้รับคำแนะนำที่เหมาะสมในการเลือก สาขาวิชา ซึ่งจะช่วยลดอัตราการออกกลางคัน สนับสนุนการตัดสินใจของนักศึกษาให้เลือกสาขาที่ ตรงกับความถนัด และเพิ่มโอกาสในการประสบความสำเร็จในการเรียนต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชรในการสนับสนุนงบประมาณสำหรับการทำวิจัย

ขอขอบคุณสำนักส่งเสริมวิชาการและงานทะเบียน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการให้ข้อมูล

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Academic Promotion and Registration Office, Report: Student Academic Performance Data 2020 of Kamphaeng Phet Rajabhat University, 2020 (in Thai).
- [2] W. Matchai and W. Buathong, "A study of factors affecting the selection of vocational certificate students to continue in higher vocational education using data mining techniques, Chandrakasem Rajabhat University Journal of Science and Academic Research, vol. 33, no. 1, pp. 1-10, Jan.-Jun. 2023 (in Thai).
- [3] C. Wilkin, A. Ferreira, K. Rotaru, and L. R. Gaerlan, "Big data prioritization in SCM decision-making: Its role and performance implications," *International Journal of Accounting Information Systems*, vol. 100470, 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.accinf.2020.100470>.
- [4] I. A. T. Hashem, I. Yaqoob, N. B. Anuar, S. Mokhtar, A. Gani, and S. U. Khan, "The rise of 'big data' on cloud computing: Review and open research issues," Report, *Information Systems*, vol. 47, pp. 98–115, 2015. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.is.2014.07.006>.
- [5] S. Ahmed, M. A. Khan, and M. Rashid, " Classification techniques in data mining for student performance prediction," *Computers in Human Behavior*, vol. 85, pp. 78–85, 2018.
- [6] C. Romero and S. Ventura, "Educational data mining: A review of the state of the art," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, vol. 50, no. 3, pp. 601–618, 2020.
- [7] E. Osmanbegovic and M. Suljic, "Data mining approach for predicting student performance," *Economic Review – Journal of Economics and Business*, vol. 10, no. 1, pp. 3–12, May 2012.
- [8] H. Yao, D. Lian, Y. Cao, Y. Wu, and T. Zhou, "Predicting academic performance for college students: A campus behavior perspective," *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology*, vol. 10, pp. 1–21, 2019.
- [9] J. R. Quinlan, " Induction of Decision Trees," *Machine Learning*, vol. 1, no. 1, pp. 81–106, 1986.

- [10] A. Pinathe, "The Use of Data Mining in Selecting Areas of Study for Further Education Opportunity," *Journal of Science and Technology Mahasarakham University*, vol. 36, no. 6, pp. 704–712, 2017 (in Thai).
- [11] J. Laohawaranan, R. Limsuthiwanphoom, and B. Thanasophon, " Using data mining techniques for classifying and selecting study branches for technology faculty students," *KMITL Journal of Information Technology*, vol. 4, no. 2, pp. 1–9, 2015 (in Thai).
- [12] N. Napaporn Chongkasikit, " An Application of FP- Growth Algorithm to Find Factors in Choosing to Study in the Faculty of Industrial Technology Lampang Rajabhat University," *Industrial Technology Lampang Rajabhat University Journal*, vol. 11, no. 2, pp. 29–39, 2018 (in Thai).
- [13] K. Hengpraprom, S. Hengpraprom, and S. Makwiboonchai, " The Knowledge Discovery of Students' Critical Characteristics towards Learning Achievement of Nakhon Pathom Rajabhat University Students' Program in Computer via Data Mining Technique," *Journal of Western Rajabhat Universitie*, vol. 9, no. 1, pp. 71–80, 2014 (in Thai).
- [14] P. Eakasit, An Introduction to Data Mining Techniques, Cube Edu-Scene, 2015 (in Thai).
- [15] T. Hastie, R. Tibshirani, and J. Friedman, *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction*, 2nd ed. New York: Springer, 2009.
- [16] L. McInnes and J. Healy, "UMAP: Uniform Manifold Approximation and Projection for Dimension Reduction," *arXiv preprint arXiv:1802.03426*, 2018. [Online]. Available: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1802.03426>
- [17] V. Vapnik, *Statistical Learning Theory*, New York: Wiley, 1998.
- [18] P. Phetkong and C. Biaokaimuk, "MACHINE LEARNING BASED PREDICTION ANALYSIS FOR THE SERVICE LEVEL AGREEMENT: A CASE STUDY OF DHANARAK ASSET DEVELOPMENT CO., LTD," *SAU Journal of Science & Technology*, vol. 9, no. 2, pp. 66–76, Jul.–Dec. 2023 (in Thai).

ประวัติผู้ประพันธ์ :



กนกวรรณ เขียววัน

อาจารย์ประจำหลักสูตรวิทยา
ศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยี
คอมพิวเตอร์ คณะเทคโนโลยี

อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
วท.ม. เทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



จัมมิษา ตันคั่นติสม

อาจารย์ประจำหลักสูตรวิทยา
ศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยี
สารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
DIT (Information Technology) Edith Cowan
University



นรุฒม์ บุตรพลอย

อาจารย์ประจำหลักสูตรวิทยา
ศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยี
คอมพิวเตอร์ คณะเทคโนโลยี

อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
ปร.ด. วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น



พรหมเมศ วีระพันธ์

อาจารย์ประจำหลักสูตรวิทยา
ศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยี
สารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
วท.ม. เทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยนเรศวร



จินดาพร อ่อนเกตุ

อาจารย์ประจำหลักสูตรวิทยา
ศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยี
สารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
วท.ม. เทคโนโลยีสารสนเทศและการจัดการ
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่



คมกริช กลิ่นอาจ

หัวหน้ากลุ่มงานเทคโนโลยี
สารสนเทศ สำนักส่งเสริมวิชาการ
และงานทะเบียน มหาวิทยาลัย

ราชภัฏกำแพงเพชร
วท.ม. เทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Localization error reduction for an electric aircraft tractor prototype using Kalman filter

Thitiyos Prakaitham¹, Chawalit Panya-isara¹, Soontorn Odngam² and
Chaiyut Sumpavakup^{2*}

¹ Department of Power Engineering Technology, College of Industrial Technology, King Mongkut's University of
Technology North Bangkok, Bangkok 10800, Thailand

² Research Centre for Combustion Technology and Alternative Energy – CTAE
and College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok
10800, Thailand

Corresponding author : e-mail: chaiyut.s@cit.kmutnb.ac.th

วันที่รับบทความ: 20 ธันวาคม 2567 / วันที่แก้ไขบทความ : 26 มีนาคม 2568 / วันที่ตอบรับการตีพิมพ์: 8 พฤษภาคม 2568

บทคัดย่อ การใช้งานยานยนต์อัตโนมัติในพื้นที่สนามบินต้องการการระบุตำแหน่งอย่างแม่นยำเพื่อใช้ในการนำทางในเขตการบิน อีกทั้งเพื่อป้องกันการชนกับอากาศยาน อาคาร และ ผู้ปฏิบัติงานในพื้นที่ งานวิจัยการทดสอบระบบระบุตำแหน่งบนดินแบบรถไฟฟ้าขนาดเล็กเพื่อเคลื่อนย้ายอากาศยานนั้นจะใช้ระบบนำร่องด้วยดาวเทียมแบบ global navigation satellite system (GNSS) ที่ง่ายต่อการใช้งานในการระบุตำแหน่งทั้งนี้จะมีการนำข้อมูลไปผสมรวมกับระบบวัดระยะทางผ่านล้อขับเคลื่อนของรถโดยใช้วิธีการผ่านตัวกรองกาลมาน โดยการทดสอบและวัดผลบนดินแบบรถเคลื่อนย้ายอากาศยานโดยการติดตั้งระบบนำร่องอัตโนมัตินั้นสามารถเพิ่มความแม่นยำในการผสมรวมกับตัวกรองกาลมานทำให้ค่าผิดพลาดของระบบนำร่องด้วยดาวเทียมลดลงได้อย่างน้อย 32.35% และ เพิ่มขึ้นได้ถึง 56.47% และสามารถเช็คข้อมูลที่คลาดเคลื่อนของระบบนำร่องด้วยดาวเทียมกับอุปกรณ์วัดความเร่งภายในได้ ซึ่งสามารถแก้ไขปัญหของสัญญาณที่ผิดปกติและความผันแปรของข้อมูลได้ โดยจากผลการทดลองบนดินแบบรถเคลื่อนย้ายอากาศยานสามารถเคลื่อนที่ได้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ : ระบบนำร่องด้วยดาวเทียม, อากาศยาน, ตัวกรองกาลมาน, ยานยนต์ไฟฟ้า

Abstract Operating an autonomous vehicle in an airport requires high localization precision to safely navigate the airside and avoid collisions with aircraft, buildings, and personnel. This paper presents an accuracy analysis of the localization system for a small electric aircraft tractor prototype. The system utilizes a Global Navigation Satellite System (GNSS) for positioning and enhances accuracy through data fusion with a wheel odometer using a Kalman Filter. A pilot system was installed on the autonomous small electric aircraft tractor prototype to evaluate performance. Experimental results indicate that the data fusion-based approach reduced GNSS positioning errors by 32.35% in the worst case and up to 56.47% in the best case while also increasing satellite data availability through computational estimation with an Inertial Measurement Unit (IMU). Additionally, the IMU reduces signal error data in certain

areas and reduces covariance noise, resulting in more accurate and efficient movement of the electric aircraft tractor.

Keywords: Global Navigation Satellite System, Aircraft, Kalman filter, Electric Vehicles.

1.Introduction

Typically, aircraft can reverse using thrust reversers. However, this method poses a risk of damage to both the aircraft and the airside due to Foreign Object Debris (FOD) from the ground or surrounding structures. To mitigate this risk, aircraft pushback tractors are used to maneuver aircraft on the ground, positioning them for taxiing. These tractors either tow or lift the aircraft by its nose landing gear, requiring them to be both heavy and powerful. Given that the average aircraft weight is approximately 54 tons (119,000 pounds) and requires a pulling force of 334 kN (75,000 pounds), pushback tractors must be designed to handle such loads efficiently.

With the continuous growth of the aviation industry [1], air travel accounts for approximately 54% of tourism-related transportation. Consequently, the need for efficient ground handling operations, including aircraft towing, has become increasingly important. However, traditional pushback tractors are manually operated by human drivers, leading to a high risk of accidents that can result in damage to the aircraft, the tractor, or even personnel [2]. Implementing remote- controlled or autonomous pushback systems could significantly reduce human error-related incidents.

Since pushback tractors operate over large areas and in proximity to buildings, raw data from Global Positioning System (GPS) or Global Navigation Satellite System (GNSS) must be filtered, as it is often inaccurate due to signal disturbances from cloud cover or reflections from nearby structures [3,4,7]. Data fusion techniques, which integrate GNSS data with Inertial

Measurement Unit (IMU) sensors [5] and wheel encoders [6], provide a more accurate localization solution. Typically, pushback tractors tow aircraft by the nose wheel, but precise towing requires trajectory control equations to ensure safe movement. Additionally, multiple ground crew members are usually required to monitor the aircraft during towing, as the driver has limited visibility, increasing the risk of human error due to fatigue or distractions.

This research presents a prototype of a lightweight, all- electric aircraft pushback tractor. The system integrates GNSS with data fusion using an IMU and wheel encoder- based odometer to enhance navigation accuracy. Furthermore, it incorporates an aircraft towing control equation [6] and an electronic differential drive system. The collected data will be evaluated for potential applications in future airport management systems.

2. Material Tools and Methods

2.1 System diagram

The navigation system of the tractor utilizes data from the GNSS, IMU, and wheel encoder. Raw sensor data is processed by a microcontroller to compute acceleration and heading across all axes of the tractor. Subsequently, data fusion with GNSS is performed to enhance localization accuracy. Although GNSS is generally more precise than GPS [8], its data can sometimes be affected by interference and operates at a lower frequency. Additionally, GNSS data must be recalculated, as it is provided in the National Marine Electronics Association (NMEA) 0183 format, specifically the Recommended Minimum Specific GNSS Data (RMC)

message, which cannot be used directly. The system diagram is shown in Fig. 1.

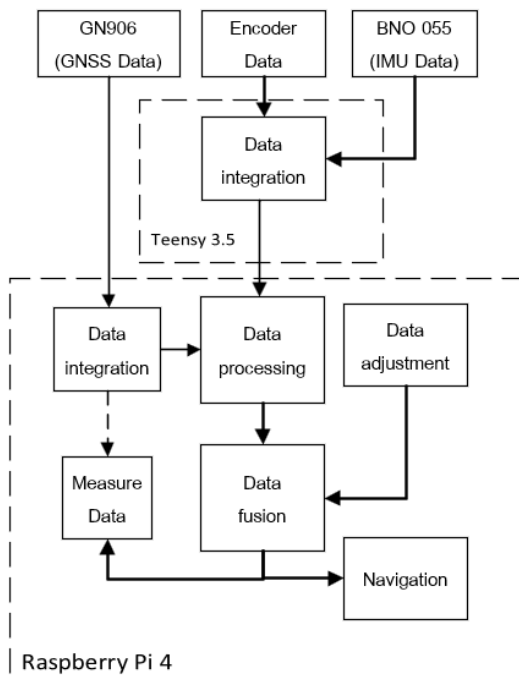


Fig.1 System diagram

2.2 Data correction

The raw data from the tractor's sensors undergoes correction using three primary sensors. The Inertial Measurement Unit (IMU) provides data along three axes, including acceleration in the X and Y directions (measured in meters per second squared), angular velocity in the X and Y directions (measured in degrees per second), and heading in terms of roll and yaw (measured in degrees). In this research, the BNO055 sensor is used as a low-cost solution for testing.

The GNSS data is obtained from the TOPGNSS GN906 receiver, which provides position and heading information in the Recommended Minimum Specific GNSS Data (RMC) format of the NMEA 0183 standard. Since latitude and longitude are not

in metric units, they must first be converted into Mercator projections using Equations (1) and (2).

$$x = R * (\lambda - \lambda_0) \quad (1)$$

$$y = R * \ln\left(\tan\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right)\right) \quad (2)$$

Where "x" and "y" represent the tractor's location relative to the reference region, "R" is the radius of the Earth (6,371 km), λ is the longitude, λ_0 is the central meridian, and ϕ is the latitude [12]. The data from the encoder comes as an electronic signal generated by a magnetic field. As a magnet rotates on a motor shaft, the polarity of the magnet changes, which in turn affects the voltage in the sensor. This voltage variation allows the sensor to determine the strength of the magnetic field and calculate the angle of the shaft in degrees.

2.3 Small electric aircraft tractor prototype

The design of small electric aircraft tractor prototype has two electronic system to use to control and navigate tractor first power system it uses microcontroller to control motors with encoder and calculate wheel odometer that have power source from 8 cell 24v Lithium Iron phosphate (LiFePo4) and 3 cell 12v Lithium polymer (Lipo) for use to separated noise from power system with sensor show in Fig.2 and Fig.3.

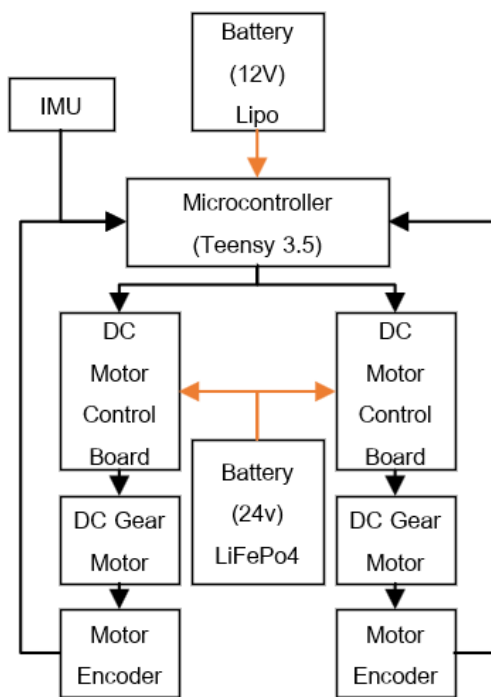


Fig. 2 Power system

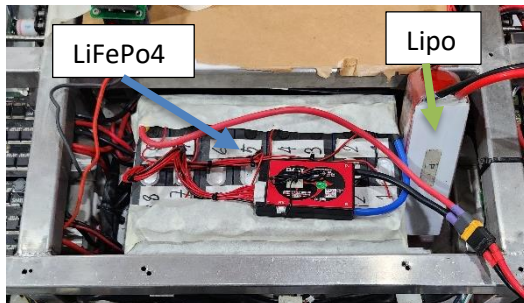


Fig. 3 Battery system

The second process system is used to run navigation system and calculate Kalman with all of sensors and send back to control laptop in Fig.4 - 6.

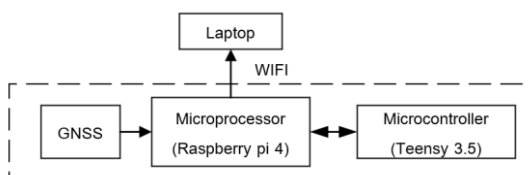


Fig. 4 Data process system

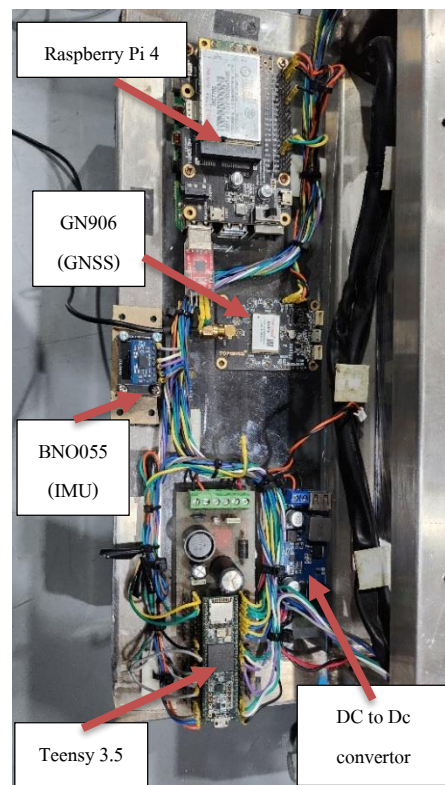


Fig. 5 Electronic part of data process system

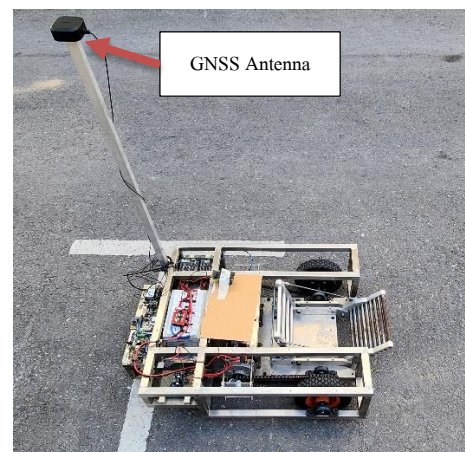


Fig. 6 Small electric aircraft tractor prototype

2.4 Mathematical model of aircraft pushback tractor

The tractor uses 2 wheels in the back to move and rotate is a type of driving system called the nonholonomic [8] shown in Figure 2 by x_p, y_p is start point of the tractor, x'_p, y'_p is a next position of the tractor in x and y axis, θ_p is the heading of the tractor in start point, θ'_p heading of the tractor in next position, V_p is velocity of tractor, V_L is edge velocity in the left wheel, V_R is edge velocity in the right wheel that can build a basic Eq. (3) to use in wheel odometer that use encode from motor follow Fig. 7.

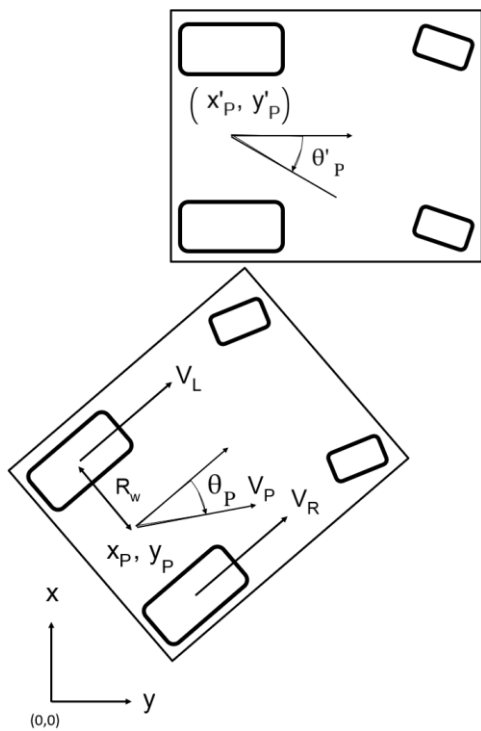


Fig. 7 Variables for creating equations of motion for tractor

$$\begin{bmatrix} x'_p = V_p \cos \theta_p \\ y'_p = V_p \sin \theta_p \\ \theta'_p = \omega \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} V_p \\ 0 \\ \omega \end{bmatrix} \quad (3)$$

2.5 Data fusion

Data fusion uses other data to predict lost and non-accurate data more precisely [9,10], Data fusion works in two stages that is prediction data stage and the update data stage, as shown in Fig. 8.

The prediction stage uses two models: the state transition model and the observation model, as shown in Equations (4) and (5). In these equations, x_k represents the state vector at the current time, x_{k-1} represents the state vector at the previous time step, A is the state transition matrix, B is the control matrix, u_k is the control input vector, w_k is the process noise vector, y_k is the measurement vector, H is the observation matrix, and v_k is the measurement noise vector.

$$x_k = Ax_{k-1} + Bu_k + w_k \quad (4)$$

$$y_k = Hx_k + v_k \quad (5)$$

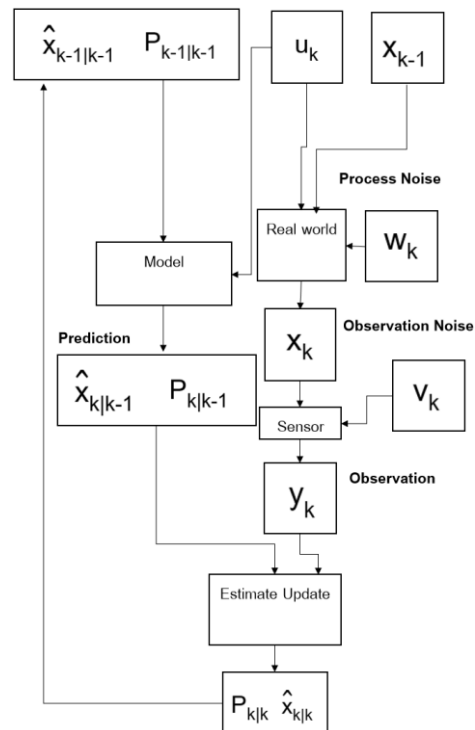


Fig. 8 Data fusion operation

Where w_k is process noise in vector, y_k is measured data from the sensor at current in vector unit, H is observation model in the matrix, v_k is observation noise in the matrix.

The update data stage is used to calculate new data for prediction in the future by using the past data, which can be described into two stages: prediction from controlled variables and update data.

The prediction from controlled variables involves two equations: the prediction from controlled variables and the stage error estimation or covariance, which are represented in Eq. (6) and (7). The current variables originate from the previous stage. The $\hat{x}_{k|k-1}$ is prediction variables from previous stage, $P_{k|k-1}$ is estimation covariance at current from the previous stage, $P_{k-1|k-1}$ is estimation covariance from the previous stage, Q_k is process noise covariance.

$$\hat{x}_{k|k-1} = A\hat{x}_{k-1|k-1} + Bu_k \quad (6)$$

$$P_{k|k-1} = AP_{k-1|k-1}A^T + Q_k \quad (7)$$

Update data is a stage to update new data by integrating the sensor to improve and give weight to data to find estimation variables has three main stages observation stage update stage and update error covariance. Observation stages the equation shown in Eq. (8), and (9)

$$\hat{y}_{k|k-1} = H\hat{x}_{k|k-1} \quad (8)$$

$$z_k = y_k - \hat{y}_{k|k-1} \quad (9)$$

where H is the observation model in the matrix, z_k is difference variables from previous and current data.

Update stage the equation shown in Eq. (10)

$$\hat{x}_{k|k} = \hat{x}_{k|k-1} + K_k z_k \quad (10)$$

Where K_k is Kalman gain in the matrix Update error covariance can be calculated following

Eq. (11).

$$P_{k|k} = (I - K_k H) \cdot (x_k - \hat{x}_{k|k-1}) (IK_k H)^T + K_k \text{var}(v_k) K_k^T \quad (11)$$

To find process noise covariance (Q_k) and process noise (w_k) to tune Kalman by find normal error of sensor by static test by parking the tractor for 5 minutes.

Fig.9 shows error of wheel odometer and GNSS while tractor park that wheel odometer have maximum error from stop point is maximum error is 0.176 m by noise of control to hold tractor to keep in static position and GNSS have maximum error is 2.378 m that mean GNSS have a lot of noise to localize itself by this two data we can use to tune Kalman by Q_k and put error of two sensor in w_k that made Kalman to have maximum error reference with wheel odometer 1.19 m from 2.35 m and RMSE is 0.62 m from 1.25 m or error have been reduce by 50% and 50.4% that mean Kalman can help to reduce error of GNSS

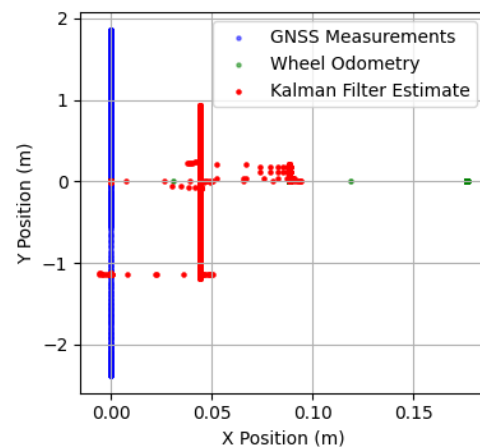


Fig.9 Static test

Table 1 Process noise covariance error in percent

Process noise covariance	Before use Kalman (m)	After use Kalman (m)	Reduce (%)
1	1.25	0.63	49.60
0.5	1.25	0.63	49.60
0.25	1.25	0.63	49.60
0.15	1.25	0.62	50.40
0.05	1.25	0.62	50.40

Table 1 shown effect of noise covariance error (Q_k) on the Kalman filter. By fine-tuning the covariance values, the maximum error reduction was achieved, as indicated by the decrease in root mean square error (RMSE) from 0.63 m to 0.62 m. This result demonstrates that Q_k influences the mean error and effectively reduces GNSS noise.

3. Results and Discussion

The experiment evaluates the accuracy of the GNSS, wheel odometer, and data fusion by comparing errors from GNSS data processed with a Kalman filter, using the wheel odometer as a reference. The analysis considers both maximum error and root mean square error (RMSE). The testing is conducted in four different scenarios.

The first test is a linear test. The tractor moves forward 5 meters and stops to assess the Kalman filter's performance in a straight-line motion.

The second test is the square test. The tractor follows a 4×4 -meter square path to evaluate the Kalman filter's effectiveness in both the X and Y axes.

The third test is a circular test. The tractor moves along a circular path with a 2-meter radius to analyze how the Kalman filter handles simultaneous X and Y-axis corrections.

The fourth test is a linear and curved turn. The tractor moves forward 5 meters before making a turn with a 4-meter radius, simulating the typical towing path of an aircraft.

In Fig. 10, show the error of GNSS and Kalman by reference with wheel odometer to drive the tractor 5 m and stop. From that Maximum error between GNSS with wheel odometer is 1.23 m and RMSE is 0.91 m, Kalman with wheel odometer is 0.61 m and 0.46 m, or 50.4% and 49.45%.

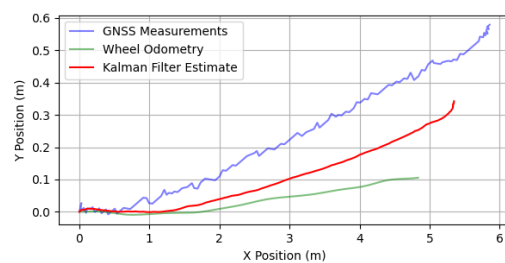


Fig. 10 Linear test

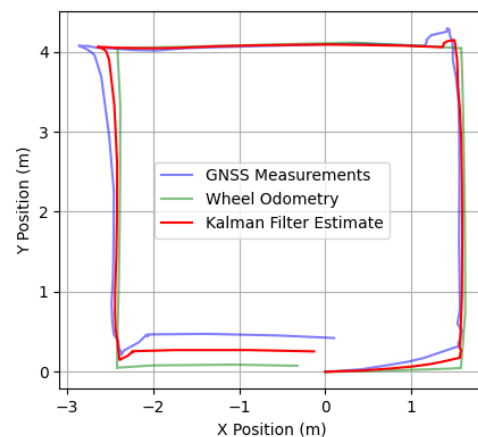


Fig. 11 Square test

In Fig. 11, show error of GNSS and Kalman by reference with wheel odometer to drive in square shape that have 4 by 4 m. to test how accuracy of Kalman to handle in X and Y axis and 90 degrees turn that have Maximum error between GNSS with wheel odometer is 0.85 m and RMSE is 0.44 m and Kalman with wheel odometer is 0.37 m and 0.2 m.

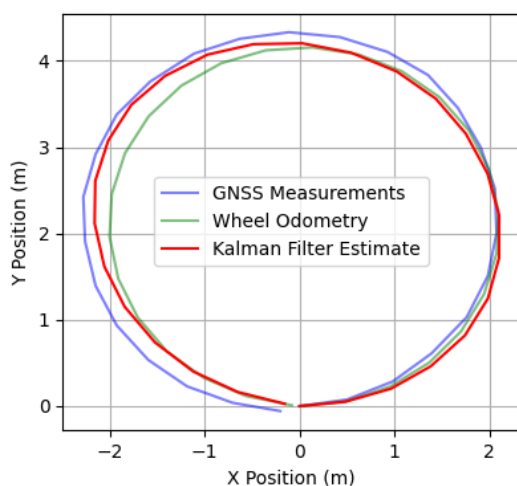


Fig. 12 Circle test

In Fig. 12, show error of GNSS and Kalman by reference with wheel odometer to drive in circle shape with 2 m radius to see how accurate of Kalman to help with X and Y axis in same time that have Maximum error between GNSS with wheel odometer is 0.34 m and RMSE is 0.24 m and Kalman with wheel odometer is 0.23 m and 0.13 m

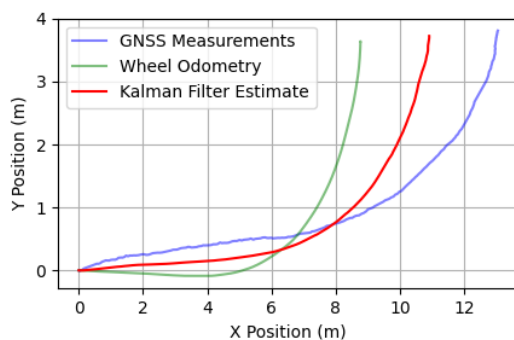


Fig. 13 Linear and curve turn

In Fig. 13, show error of GNSS and Kalman by reference with wheel odometer to drive straight 5 m and turn with radius 4 m and stop that same as towing path of light aircraft use that have Maximum error between GNSS with wheel odometer is 4.28 m and RMSE is 2.50 m. That means error has been increased by complex paths that have a lot of changing data, but Kalman can

help to reduce error to 2.14 m and 1.26 m, or 50% and 49.6%; on the other hand, Kalman filter can help to reduce covariance noise in GNSS data.

Table 2 Comparison in term of maximum error

Type of test	Before Use Kalman (m)	After Use Kalman (m)	Reduce (%)
Static	2.38	1.19	50.00
Linear	1.23	0.61	50.41
Square	0.85	0.37	56.47
Circle	0.34	0.23	32.35
Linear and curve turn	4.28	2.14	50.00

Table 2 shown compare of Maximum error to all test in percent that have maximum reduced error is 56.47% in square shape and minimum error reduced is 32.35% in circle shape and average error of all test is 48.91% and maximum error distant is 2.14 m in linear and curve turn, from Square and Circle shape accuracy of sensor that change error to under 1 meter because weather and area of test field that have a lot of signals reflection or reduce efficiency of signals by building cloud tree and etc. that higher than tractor can reduce signal from GNSS.

Table 3 Comparison in term of Root mean square error

Type of test	Before Use Kalman (m)	After Use Kalman (m)	Reduce (%)
Static	1.25	0.62	50.40
Linear	0.91	0.46	49.45
Square	0.44	0.2	54.55
Circle	0.24	0.13	45.83
Linear and curve turn	2.5	1.26	49.60

Table 3 shown compare of RMSE to all test in percent that have maximum reduced RMSE is 54.55% or from 0.44 m to 0.2 m and minimum is 45.83% or 0.24 m to 0.13 m that mean Kalman can reduce covariance noise of navigation system

4. Conclusion

The accuracy analysis of the localization system for a small electric aircraft tractor prototype demonstrates improved GNSS data for airside operations through data fusion with an Inertial Measurement Unit (IMU). This approach increased tractor positioning accuracy by 32.35% in the worst case and up to 56.47% in the best case in terms of maximum error. However, while the root mean square error (RMSE) can be reduced, the Kalman Filter being a linear filter has limitations when applied to inherently non-linear GNSS data.

Experimental results show that accuracy improves in linear motion scenarios, but in cases involving linear and curved turns, the Kalman Filter alone is insufficient to correct

distance errors effectively. To enhance accuracy, adopting a non-linear filtering approach such as an Extended Kalman Filter (EKF), integrating a high-accuracy IMU, or utilizing Real-Time Kinematic (RTK) positioning could provide significant improvements.

Nevertheless, the observed maximum error of 2.14 meters remains too high for safe aircraft towing. According to the Federal Aviation Administration (FAA), the acceptable towing path misalignment should be within 0.3 to 0.5 meters [11]. To meet this standard, integrating additional localization methods, such as LiDAR sensor fusion at the front of the tractor, should be considered. Furthermore, recalibrating process noise to mitigate sensor errors caused by environmental factors and adopting a non-linear filtering approach could further improve localization accuracy.

5. Acknowledge

This research was funded by College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok (Grant No.Res-CIT0614/2022)

References

- [1] A. Gittens, S. Hocquard, A. Juniac, F. Liu and E. Fanning, Aviation Benefits Report, ICAO, 2019.
- [2] B.G. Kanki and C.L. Brasil, Analysis of Ramp Damage Incidents and Implications for Future Composite Aircraft Structure, International Symposium on Aviation Psychology (ISAP 2009), Proceeding, 2009, 100-105.

- [3] X. Wu and J. Xia, A Land Surface GNSS Reflection Simulator (LAGRS) FORFY-3E GNSS-R Payload: Part I. Bare Soil Simulator, 2021 IEEE Specialist Meeting on Reflectometry using GNSS and other Signals of Opportunity (GNSS+R), 2021, 90-92.
- [4] G. Falco, M. Campo-Cossío and A. Puras, MULTI-GNSS Receivers/IMU System Aimed at the Design of a Heading-Constrained Tightly-Coupled Algorithm, 2013 International Conference on Localization and GNSS (ICL-GNSS), 2013, 1-6.
- [5] C. Melendez-Pastor, R. Ruiz-Gonzalez and J. Gomez-Gil, A data fusion system of GNSS data and on-vehicle sensors data for improving car positioning precision in urban environments, Expert Systems With Applications, 2017, 80, 28-38.
- [6] F. Dieke-Meier, T. Kalms, H. Fricke and M. Schultz, Modeling Aircraft Pushback Trajectories for Safe Operations, The 3rd International Conference on Application and Theory of Automation in Command and Control Systems (ATACCS 2013), Proceeding, 2013, 76-84.
- [7] X. Li, M. Ge, X. Dai, X. Ren, M. Fritsche, J. Wickert and H. Schuh, Accuracy and reliability of multi-GNSS real-time precise positioning: GPS, GLONASS, BeiDou, and Galileo, Journal of Geodesy, 2015, 89, 6, 607–635.
- [8] K.C. Cao, B. Jiang and D. Yue, Cooperative path following control of multiple nonholonomic mobile robots, ISA Transactions, 2017, 71, 161-169.
- [9] G. Welch and G. Bishop, An Introduction to the Kalman Filter, Dept. Computer Sci., Univ. of North Carolina at Chapel Hill, Chapel Hill, NC, USA, Tech. Rep. TR 95-041, 2006.
- [10] Kalmanfilter.net (2024, Oct. 1) “Kalman filter” Available: <https://www.kalmanfilter.net/default.aspx>
- [11] AC 150/5210-20A -Ground Vehicle Operations to include Taxiing or Towing an Aircraft on Airports, Federal Aviation Administration (FAA), 2015-09-01
- [12] J. P. Snyder, Map Projections: A Working Manual. U. S. Geological Survey Professional Paper 1395, U. S. Government Printing Office, 1987.

Authors' Biography:



Thitiyos Prakaitham received the B.E in Aircraft maintenance engineering technology from King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand in 2020 where he is currently pursuing the M.E. degree in automotive and energy engineering technology with the College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand. His research interests are aircraft maintenance, robotic, autonomous vehicle



Chawalit Panya-isara received the B.E.and M.E. degree in electrical engineering from the Suranaree University of Technology, Thailand, in 2009 and 2013, where he is currently pursuing the Ph.D. degree in automotive and energy engineering technology with the College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand. His research interests include vehicle electrification, electric vehicles, artificial intelligence techniques to automation systems and robotic..



Soontron Odngam received the B.E., M.E. and Ph.D. degrees in Mechanical Engineering Suranaree University of Technology, Thailand in 2010, 2015 and 2020 respectively. currently an assistant professor in the Department of Power Engineering Technology, College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand. His research interests are vibration analysis, modeling and control system, signal processing, powertrain and automatic transmission, CI and SI Engine.



Chaikut Sumpavakup received the B. E., M. E. and Ph.D. degrees in Electrical Engineering from Suranaree University of Technology, Thailand in 2005, 2008 and 2017 respectively. He is currently an assistant professor in the Department of Power Engineering Technology, College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand. His research interests are energy management in electric railway system, electric vehicle, vehicle electrification and application of artificial intelligence techniques to power system operation, management, and control.

การรับรู้และการยอมรับเทคโนโลยีการเชื่อมต่อทุกสรรพสิ่งในสนามรบ
(Internet of Battle Things : IoBT) ของเจ้าหน้าที่ปฏิบัติการพิเศษ
กรณีศึกษา : ศูนย์ปฏิบัติการต่อต้านการก่อการร้ายสากล
**The Internet of Battle Things (IoBT) – Perception and
Adoption of Special Operation Agents
: Case Study of Counter Terrorist Operations Center**

จิรวัดน์ นุ่นละอง* และ ชุตินา พิศาลย์

Jirawat Noonlaong* and Chutima Pisarn

สาขาวิชาการจัดการนวัตกรรมการดิจิทัล (ระบบการศึกษาทางไกลทางอินเทอร์เน็ต)

วิทยาลัยนวัตกรรมการดิจิทัลเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยรังสิต อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี 12000

ผู้นิพนธ์ประสานงาน : jirawat.n64@rsu.ac.th

วันที่รับบทความ: 17 มกราคม 2568 / วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1: 15 เมษายน 2568 / วันที่ตอบรับการตีพิมพ์: 22 พฤษภาคม 2568

วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 2: 15 พฤษภาคม 2568

บทคัดย่อ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาปัจจัยการรับรู้เทคโนโลยีการเชื่อมต่อทุกสรรพสิ่งในสนามรบ ของเจ้าหน้าที่ปฏิบัติการพิเศษ ศูนย์ปฏิบัติการต่อต้านการก่อการร้ายสากล และ 2) ศึกษาปัจจัยการยอมรับเทคโนโลยีการเชื่อมต่อทุกสรรพสิ่งในสนามรบ ของเจ้าหน้าที่ปฏิบัติการพิเศษ ศูนย์ปฏิบัติการต่อต้านการก่อการร้ายสากล การวิจัยครั้งนี้ใช้วิธีวิจัยทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ โดยในส่วนของเชิงปริมาณใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูลจากเจ้าหน้าที่ปฏิบัติการพิเศษทั้งหมดของ ศูนย์ปฏิบัติการต่อต้านการก่อการร้ายสากล จำนวน 104 นาย และในส่วนของเชิงคุณภาพ จะใช้การสัมภาษณ์เชิงลึกผู้บังคับบัญชา จำนวน 5 นาย วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ยตัวกลางเลขคณิต ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ ทดสอบสมมติฐานด้วยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (T-Test) และการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) ซึ่งผลการศึกษาพบว่า ปัจจัยส่วนบุคคลไม่มีผลต่อปัจจัยการรับรู้และการยอมรับของเจ้าหน้าที่ปฏิบัติการพิเศษ ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05 นอกจากนั้นผู้บังคับบัญชาได้เสนอแนวทางในการพัฒนากำลังพลด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ และข้อพึงระวังในการใช้เทคโนโลยีการเชื่อมต่อทุกสรรพสิ่งในสนามรบ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนากำลังพล ยุทธวิธี และหน่วยงานให้ดียิ่งขึ้นต่อไป

คำสำคัญ : เทคโนโลยีการเชื่อมต่อทุกสรรพสิ่งในสนามรบ, IoBT, การรับรู้, การยอมรับ, การปฏิบัติการพิเศษ

Abstract The objectives of this study were to 1) Examine the factors influencing the perception of Internet of Battle Things (IoBT) technology among special operation agents of the Counter Terrorist Operations Center (CTOC). 2) Examine the factors influencing the

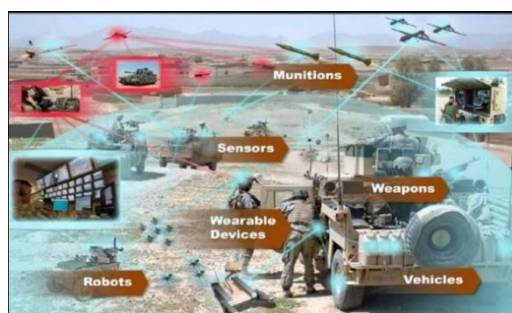
adoption of IoBT technology among special operation agents of the CTOC. This research employed both quantitative and qualitative methods. For the quantitative part, a questionnaire was used to collect data from all 104 special operation agents of CTOC. For the qualitative part, in-depth interviews were conducted with 5 commanders. The data were analyzed using descriptive statistics, including percentage, arithmetic mean, and standard deviation. Hypothesis testing was conducted through mean comparison using the Independent Samples T-Test and One-Way Analysis of Variance (ANOVA). The findings revealed that personal factors had no statistically significant effect on either the perception or adoption of IoBT technology among special operation agents at the 0.05 significance level. Furthermore, the commanders proposed guidelines for the development of personnel in the area of information technology, as well as recommendations for the safe and effective use of IoBT technology. These insights can serve as valuable input for the future development of personnel, equipment, and organizational capabilities.

Keywords: Internet of Battle Things, IoBT, Perception, Adoption, Special Operations

1. บทนำ

กระทรวงกลาโหม โดย คณะกรรมการเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารกระทรวงกลาโหมได้กำหนดให้มีแผนพัฒนาดิจิทัล (พ.ศ.2566 – 2570) กระทรวงกลาโหม [1] เพื่อใช้เป็นกรอบการพัฒนางานด้านดิจิทัลในภาพรวมของกระทรวงกลาโหม โดยมีการวิเคราะห์สภาวะแวดล้อมด้านเทคโนโลยีดิจิทัลในปัจจุบัน พบว่า การเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีสมัยใหม่ที่เกิดขึ้น และได้ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของบริบทโลก เช่น ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence : AI), ข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data), เทคโนโลยีคลาวด์ (Cloud Technology), การเชื่อมต่อทุกสรรพสิ่ง (Internet of Things : IoT), เทคโนโลยีอุปกรณ์เคลื่อนที่เพื่อการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตแบบทุกที่ทุกเวลา (Mobile/Wearable Computing) และการเชื่อมต่อทุกสรรพสิ่งในสนามรบ (Internet of Battle Things : IoBT) ตลอดจนระบบประมวลผลข้อมูล และระบบอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานด้านความมั่นคง ซึ่งนำมาสู่การเปลี่ยนแปลงในทุกมิติ ทั้งหน่วยงานภาครัฐ ตลอดจนหน่วยงานด้านความมั่นคง

ศูนย์ปฏิบัติการต่อต้านการก่อการร้ายสากล (ศตก.) กองบัญชาการกองทัพไทย ได้นำแผนปฏิบัติการด้านดิจิทัล กระทรวงกลาโหม มาใช้เป็นกรอบและแนวทางในการพัฒนาด้านเทคโนโลยีดิจิทัลของหน่วย ในส่วนของ ฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์ ระบบเครือข่าย ฐานข้อมูล ตลอดจนบุคลากรที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีดิจิทัล เพื่อให้มีกรอบการพัฒนางานด้านเทคโนโลยีดิจิทัลที่ชัดเจน มีความสอดคล้องตามแผนระดับประเทศ นโยบายและแผนระดับกระทรวงกลาโหมที่เกี่ยวข้อง



รูปที่ 1 การปฏิบัติการที่ใช้เทคโนโลยี IoBT

การเชื่อมต่อทุกสรรพสิ่ง (Internet of Things : IoT) คือ การที่อุปกรณ์ต่างๆ ได้ถูกเชื่อมโยงทุกสิ่งทุกอย่างสู่โลกอินเทอร์เน็ต ทำให้มนุษย์สามารถสั่งการควบคุมการใช้งานอุปกรณ์ต่างๆ ผ่านทางเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เช่น การเปิด-ปิด อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า (การสั่งการเปิดไฟฟ้าภายในบ้านด้วย การเชื่อมต่ออุปกรณ์ควบคุม เช่น มือถือ ผ่านทางอินเทอร์เน็ต) รถยนต์ โทรศัพท์มือถือ เครื่องมือสื่อสาร เครื่องมือทางการเกษตร อาคาร บ้านเรือน เครื่องใช้ในชีวิตประจำวันต่างๆ ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต [2] ส่วนการเชื่อมต่อทุกสรรพสิ่งในสนามรบ หรือ IoBT คือการที่ยุทธโศปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการสงคราม สามารถสื่อสาร เชื่อมโยงหรือส่งข้อมูลถึงกันได้ด้วยโครงข่ายเฉพาะหรือโครงข่ายอินทราเน็ตที่ใช้เฉพาะทางการทหาร โดยสามารถบัญชาการและควบคุมผ่านการปฏิบัติการที่ใช้เครือข่ายเป็นศูนย์กลาง (Network Centric Operations : NCO) ได้ [3]

ความสำคัญของการรับรู้และยอมรับเทคโนโลยีของผู้ใช้นั้น มีความสำคัญอย่างมากที่จะศึกษาเพื่อเรียนรู้เกี่ยวกับความเข้าใจในเทคโนโลยีนั้นๆ โดยเฉพาะทางด้านการทหาร ซึ่งเกี่ยวกับความมั่นคงของประเทศ ทำให้มีความจำเป็นอย่างสูงที่ต้องมีการศึกษา เรื่อง การรับรู้ และการยอมรับเทคโนโลยีการเชื่อมต่อทุกสรรพสิ่งในสนามรบ ของเจ้าหน้าที่ปฏิบัติการพิเศษด้านการต่อต้านการก่อการร้าย เพื่อให้สามารถรับรู้ถึงความเข้าใจ การเข้าถึง การรับรู้และการยอมรับเทคโนโลยี ฯ ของกำลังพล อันจะส่งผลให้การปฏิบัติการทางยุทธวิธีที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีฯ มีประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อรองรับภารกิจของงานที่มีความสำคัญและจำเป็นในการรักษาความสงบสุข สร้างความมั่นคงให้กับประเทศ และประกันความสำเร็จในการป้องกันและแก้ไขปัญหาการก่อการร้ายทั้งในระดับประเทศและระดับสากล สร้างความเชื่อมั่นแก่รัฐบาล กองทัพ ประชาชน และเป็นที่ยอมรับของมิตรประเทศ สนองตอบค่านโยบายของรัฐบาล และสามารถเป็นที่พึ่งของประชาชนได้

งานวิจัยฉบับนี้จะเน้นศึกษาในส่วนของการรับรู้ และการยอมรับการเชื่อมต่อทุกสรรพสิ่งในสนามรบของเจ้าหน้าที่ปฏิบัติการพิเศษด้านการต่อต้านการก่อการร้ายของศูนย์ปฏิบัติการต่อต้านการก่อการร้ายสากล ซึ่งเป็นงานวิจัยแบบผสมผสาน (Mixed Method) โดยทำการประยุกต์ใช้วิธีการวิจัยทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพมาใช้ในการวิจัยนี้ เพื่อให้ได้ผลการวิจัยที่รอบคอบและรัดกุม โดยใช้จุดแข็งของงานวิจัยเชิงปริมาณมาแก้ไขจุดอ่อนของงานวิจัยเชิงคุณภาพ และใช้จุดแข็งของงานวิจัยเชิงคุณภาพมาแก้ไขจุดอ่อนของงานวิจัยเชิงปริมาณ นอกจากนี้ จากการศึกษาบทความวิจัยที่ผ่านมา ยังไม่พบงานวิจัยในประเทศที่ได้ศึกษาในเรื่องนี้ แต่ในส่วนของงานวิจัยต่างประเทศนั้น เนื่องจากเทคโนโลยี IoBT มีความซับซ้อนและครอบคลุมการเชื่อมต่อระหว่างระบบอัตโนมัติ หุ่นยนต์ และระบบสื่อสารทางยุทธวิธีในสนามรบ การทำความเข้าใจปัจจัยที่ส่งผลต่อการรับรู้และการยอมรับเทคโนโลยีดังกล่าวนั้น ในปัจจุบันยังไม่มีพบงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเช่นเดียวกัน จะมีแต่งานวิจัยที่ศึกษาเพื่อชิงความได้เปรียบในสนามรบ เช่น Alexander, K., Ananthram, S. & Bruce J.W. [6] พบว่าการใช้เทคโนโลยีดังกล่าวในปัจจุบันนั้นมีความเสี่ยงในหลายปัจจัยเนื่องจากหากเกิดความผิดพลาดในการสื่อสาร หรือปัจจัยอื่นๆ อาจจะทำให้เกิดเหตุ เกิดความเสียหายแรงกับผู้ปฏิบัติได้, Weiwei Wu and Di Lin [7] พบว่าอาจมีช่องทางเอื้อให้ฝ่ายตรงข้ามสามารถโจมตีด้วยรูปแบบต่างๆ เพื่อเข้าถึงข้อมูล ทำการก่อวินาศกรรม สกัดกั้น ขั้วยังการสื่อสารของเทคโนโลยี และการโจมตีแบบอื่นๆ เพื่อผลลัพธ์ทางการทหารได้ และ Basim Alkanjir and Imad Mahgoub [8] มีความเห็นว่าควรรักษาความปลอดภัยของข้อมูลตำแหน่ง และข้อมูลประจำตัวในเครือข่าย IoBT ให้มากที่สุด เพื่อลดความสามารถในการเชื่อมโยงและการติดตามให้เหลือน้อยที่สุด เป็นต้น ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาการรับรู้และการยอมรับการเชื่อมต่อทุกสรรพสิ่งในสนามรบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริบทของศูนย์ปฏิบัติการ

ต่อต้านการก่อการร้ายสากล ซึ่งต้องการความพร้อมสูงสุดในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเพื่อตอบสนองต่อภัยคุกคามในรูปแบบใหม่ เพื่อเป็นประโยชน์ต่อทางราชการประเทศชาติ และผู้ที่สนใจศึกษาค้นคว้าเทคโนโลยีดังกล่าว ต่อไป

1.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาปัจจัยการรับรู้เทคโนโลยีการเชื่อมต่อทุกสรรพสิ่งในสนามรบ
- 2) เพื่อศึกษาปัจจัยการยอมรับเทคโนโลยีการเชื่อมต่อทุกสรรพสิ่งในสนามรบ

2. ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงการรับรู้และการยอมรับเทคโนโลยีการเชื่อมต่อทุกสรรพสิ่งในสนามรบของเจ้าหน้าที่ปฏิบัติการพิเศษด้านการต่อต้านการก่อการร้าย งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยแบบผสมผสาน ซึ่งเป็นการนำวิธีวิจัยทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพมาใช้ในการวิจัย เพื่อให้ได้ผลการวิจัยที่รอบอบรัดกุม โดยในการวิจัยเชิงปริมาณจะใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือ และการวิจัยเชิงคุณภาพ จะใช้การสัมภาษณ์เป็นเครื่องมือ ซึ่งงานวิจัยฉบับนี้ประยุกต์ใช้ทฤษฎีการยอมรับเทคโนโลยี (Technology Acceptance Model: TAM) ของ Davis เป็นกรอบแนวคิดในการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการรับรู้และการยอมรับเทคโนโลยีการเชื่อมต่อทุกสรรพสิ่งในสนามรบ (Internet of Battle Things: IoBT) ของเจ้าหน้าที่ปฏิบัติการพิเศษ โดยมุ่งเน้นศึกษาความง่ายในการใช้งาน (Perceived Ease of Use) และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ (Perceived Usefulness) ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อทัศนคติและความตั้งใจในการใช้งานเทคโนโลยีดังกล่าวในการนี้ ผู้วิจัยจะเก็บรวบรวมข้อมูล และนำมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยจะทำการศึกษาในห้วง สิงหาคม - พฤศจิกายน พ.ศ. 2567 โดยงานวิจัยฉบับนี้จะเก็บข้อมูล

จากประชากร 2 กลุ่มของศูนย์ปฏิบัติการต่อต้านการก่อการร้ายสากล กองบัญชาการกองทัพไทย กลุ่มแรก คือ กลุ่มเจ้าหน้าที่ปฏิบัติการพิเศษ จำนวน 104 นาย และกลุ่มที่ 2 คือ กลุ่มผู้บังคับบัญชาของศูนย์ปฏิบัติการต่อต้านการก่อการร้ายสากล กองบัญชาการกองทัพไทย รวม 5 นาย

2.1 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

- 1) เพื่อทราบถึงผลจากการศึกษาการรับรู้เทคโนโลยีการเชื่อมต่อทุกสรรพสิ่งในสนามรบ ของเจ้าหน้าที่ปฏิบัติการพิเศษของศูนย์ปฏิบัติการต่อต้านการก่อการร้ายสากล
- 2) เพื่อทราบถึงผลจากการศึกษาการยอมรับเทคโนโลยีการเชื่อมต่อทุกสรรพสิ่งในสนามรบ ของเจ้าหน้าที่ปฏิบัติการพิเศษของศูนย์ปฏิบัติการต่อต้านการก่อการร้ายสากล
- 3) เพื่อนำผลข้อมูลจากการศึกษามาใช้เป็นแนวทางในการวางแผน บริหารจัดการ และพัฒนากำลังพล ในด้านการศึกษาเกี่ยวกับเทคโนโลยีสารสนเทศ ของศูนย์ปฏิบัติการต่อต้านการก่อการร้ายสากล

2.2 สมมติฐานของการวิจัย

ผู้วิจัยได้กำหนดสมมติฐานการวิจัยเพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์การวิจัย ดังต่อไปนี้

สมมติฐานที่ 1 เจ้าหน้าที่ปฏิบัติการพิเศษด้านการต่อต้านการก่อการร้าย ที่มีลักษณะทางประชากรศาสตร์ เช่น เพศ อายุ ชั้นยศ คุณวุฒิ อายุงาน ที่แตกต่างกัน มีผลกับการรับรู้เทคโนโลยีการเชื่อมต่อทุกสรรพสิ่งในสนามรบแตกต่างกัน

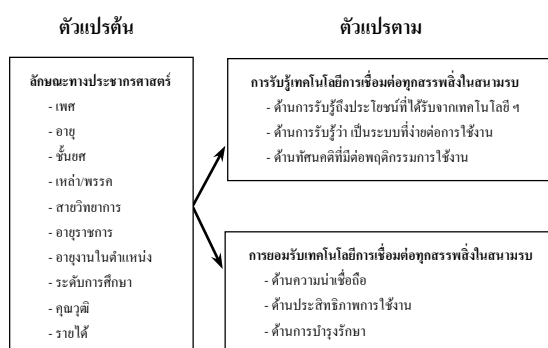
สมมติฐานที่ 2 เจ้าหน้าที่ปฏิบัติการพิเศษด้านการต่อต้านการก่อการร้าย ที่มีลักษณะทางประชากรศาสตร์ เช่น เพศ อายุ ชั้นยศ ตำแหน่ง คุณวุฒิ อายุงาน ที่แตกต่างกัน มีผลกับการยอมรับเทคโนโลยีการเชื่อมต่อทุกสรรพสิ่งในสนามรบแตกต่างกัน

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเรื่อง การรับรู้และการยอมรับเทคโนโลยีการเชื่อมต่อทุกสรรพสิ่งในสนามรบ (Internet of Battle Things : IoBT) ของเจ้าหน้าที่ปฏิบัติการพิเศษด้านการต่อต้านการก่อการร้าย : กรณีศึกษา ศูนย์ปฏิบัติการต่อต้านการก่อการร้ายสากล กองบัญชาการกองทัพไทย เป็นการวิจัยทั้งเชิงปริมาณ โดยในส่วนของ วิธีวิจัย เชิงปริมาณใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือและวิธีวิจัยเชิงคุณภาพ ใช้การสัมภาษณ์เป็นเครื่องมือ เพื่อศึกษาการรับรู้และการยอมรับเทคโนโลยีการเชื่อมต่อทุกสรรพสิ่งในสนามรบ ของเจ้าหน้าที่ปฏิบัติการพิเศษ ศูนย์ปฏิบัติการต่อต้านการก่อการร้ายสากล กองบัญชาการกองทัพไทย พร้อมเสนอแนวทางที่ได้จากการศึกษา นำมาพิจารณาใช้เป็นกรอบและแนวทางในการพัฒนาด้านเทคโนโลยีดิจิทัลของหน่วย ในส่วนของ ฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์ ระบบเครือข่ายฐานข้อมูล ตลอดจนบุคลากรที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีดิจิทัล เพื่อให้มีกรอบการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีดิจิทัลที่ชัดเจน มีความสอดคล้องตามแผนระดับประเทศ นโยบายและแผนระดับกระทรวงกลาโหมที่เกี่ยวข้อง โดยผู้วิจัยได้กำหนดระเบียบวิธีการวิจัยไว้ดังนี้

3.1 กรอบแนวคิดการวิจัย

จากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยได้พัฒนากลอบแนวคิดของการวิจัย ซึ่งสามารถอธิบายในแต่ละประเด็นของวิจัยเรื่อง การรับรู้และการยอมรับเทคโนโลยีการเชื่อมต่อทุกสรรพสิ่งในสนามรบ (Internet of Battle Things : IoBT) ของเจ้าหน้าที่ปฏิบัติการพิเศษด้านการต่อต้านการก่อการร้าย : กรณีศึกษา ศูนย์ปฏิบัติการต่อต้านการก่อการร้ายสากล กองบัญชาการกองทัพไทย ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 กรอบแนวคิดการวิจัย

ตามแนวคิดทฤษฎีที่ได้นำเสนอในตอนต้น ผู้วิจัยจะนำมาสืบค้นว่าลักษณะทางประชากรศาสตร์ของกำลังพล ศูนย์ปฏิบัติการต่อต้านการก่อการร้ายสากล กองบัญชาการกองทัพไทย มีผลต่อการรับรู้และการยอมรับเทคโนโลยีการเชื่อมต่อทุกสรรพสิ่งในสนามรบอย่างไรบ้าง เพื่อหาแนวทางการบริหารจัดการกำลังพล และเสนอแนวทางที่ได้จากการศึกษาให้หน่วยงานนำไปพิจารณาปรับใช้ในการบริหารจัดการ พัฒนากำลังพลในทักษะด้านเทคโนโลยีดิจิทัลของหน่วยต่อไป

3.2 การวิจัยเชิงปริมาณ

ผู้วิจัยได้กำหนดแนวทางและขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยไว้ดังนี้

3.2.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ เจ้าหน้าที่ปฏิบัติการพิเศษ ศูนย์ปฏิบัติการต่อต้านการก่อการร้ายสากล กองบัญชาการกองทัพไทย จำนวน 104 คน

3.2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาวิจัยเป็นแบบสอบถาม (Questionnaire) สร้างขึ้นจากกรอบแนวคิดเพื่อเป็นเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูลตามวัตถุประสงค์ในการวิจัย โดยมีกระบวนการสร้างแบบสอบถาม ดังนี้

1) ศึกษาเทคนิคและวิธีการสร้างแบบสอบถาม จากงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวกับปัจจัยหรือตัวแปรต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการรับรู้และยอมรับเทคโนโลยีการเชื่อมต่อทุกสรรพสิ่งในสนามรบ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการสร้างแบบสอบถาม

2) รวบรวมข้อมูลที่จะใช้ในการสร้างแบบสอบถาม โดยศึกษาค้นคว้าจากหนังสือ วารสาร เอกสาร และสิ่งพิมพ์ต่างๆ

3) สร้างแบบสอบถามให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ และสอดคล้องกับปัจจัยหรือตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา สร้างแบบสอบถามฉบับร่าง แล้วนำไปให้ผู้มีประสบการณ์และเชี่ยวชาญได้ตรวจสอบและแนะนำข้อบกพร่อง จำนวน 3 ท่าน

4) ปรับปรุงแก้ไขแบบสอบถามฉบับร่างแล้วนำไปทดสอบกับกลุ่มตัวอย่าง จากนั้นจึงนำมาปรับปรุงแก้ไข และจัดทำแบบสอบถามที่สมบูรณ์ต่อไป

5) แบบสอบถามที่สมบูรณ์ ประกอบด้วยคำถาม ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ตอน คือ

ตอนที่ 1 แบบสอบถามข้อมูลทั่วไป

ตอนที่ 2 แบบสอบถามความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถามที่มีต่อปัจจัยการรับรู้เทคโนโลยีการเชื่อมต่อทุกสรรพสิ่งในสนามรบ

ตอนที่ 3 แบบสอบถามความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถามที่มีต่อปัจจัยการยอมรับเทคโนโลยีการเชื่อมต่อทุกสรรพสิ่งในสนามรบ

ตอนที่ 4 ข้อเสนอแนะ และความคิดเห็นอื่นๆ เป็นคำถามแบบปลายเปิดให้ผู้ตอบแบบสอบถามแสดงความคิดเห็น

การเก็บรวบรวมข้อมูลดังกล่าว เนื่องจากมีจำนวนหน่วยตัวอย่างไม่มาก ผู้วิจัยจึงได้ทำการเก็บจากกลุ่มตัวอย่างทั้งหมดของศูนย์ปฏิบัติการต่อต้านการก่อการร้ายสากล กองบัญชาการกองทัพไทย โดยดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยการแจกแบบสอบถามจำนวน 104

ชุดด้วยตนเอง และเก็บรวบรวมด้วยตนเองโดยเริ่มดำเนินการ ตั้งแต่วันที่ 1 สิงหาคม พ.ศ. 2567 ถึง วันที่ 30 สิงหาคม พ.ศ. 2567 โดยใช้แบบสอบถามออนไลน์ และเก็บข้อมูลได้ทั้งหมด 104 ชุด คิดเป็นร้อยละ 100 ของจำนวนกลุ่มตัวอย่าง เมื่อเก็บรวบรวมแบบสอบถามจากประชากรและกลุ่มตัวอย่างที่ศึกษาแล้ว นำมาตรวจสอบความถูกต้องครบถ้วนของข้อมูลเพื่อนำไปวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป

3.2.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติด้านสังคมศาสตร์ ในการหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน หรือ ค่าสถิติที่คำนวณ ได้แก่ ค่าสถิติพื้นฐาน คือ ค่าร้อยละ ค่าคะแนนเฉลี่ย ค่าเฉลี่ยเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3.3 การวิจัยเชิงคุณภาพ

ผู้วิจัยได้กำหนดระเบียบวิธีวิจัย โดยการใช้กระบวนการวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative Research) ได้กำหนดการสัมภาษณ์ผู้บังคับบัญชาของศูนย์ปฏิบัติการต่อต้านการก่อการร้ายสากล กองบัญชาการกองทัพไทย เพื่อทราบถึงปัจจัยในด้านการรับรู้และปัจจัยด้านการยอมรับ เทคโนโลยี ที่เกี่ยวกับกับการปฏิบัติงานทางด้านการทหาร รวมถึงแนวทางการบริหารจัดการแนวทางการศึกษาเพื่อเพิ่มพูนความรู้ให้กับกำลังพลของศูนย์ปฏิบัติการต่อต้านการก่อการร้ายสากล

การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง ผู้วิจัยได้พิจารณาเลือกตัวอย่างแบบเจาะจง ซึ่งเป็นการเลือกตัวอย่างที่ผู้วิจัยได้ดำเนินการพิจารณาเลือกตัวอย่างด้วยตนเอง เพื่อรับข้อมูลที่ต้องการ มาประมวลผลต่อไป โดยประชากรและกลุ่มตัวอย่างในการวิจัยเชิงคุณภาพ มีจำนวน 5 ท่าน ดังนี้

1) ผู้บัญชาการศูนย์ปฏิบัติการต่อต้านการก่อการร้ายสากล หรือผู้แทนที่ถูقمอบหมาย

2) รองผู้อำนวยการศูนย์ปฏิบัติการต่อต้านการก่อการร้ายสากล/ผู้บริหารเทคโนโลยีสารสนเทศระดับสูง (Chief Information Officer: CIO) หรือผู้แทนที่ถูกมอบหมาย

3) เสนาธิการ ศูนย์ปฏิบัติการต่อต้านการก่อการร้ายสากล/ผู้รับผิดชอบบริหารจัดการข้อมูล (Information Management Officer: IMO) หรือผู้แทนที่ถูกมอบหมาย

4) ผู้อำนวยการกองแผนและโครงการ ศูนย์ปฏิบัติการต่อต้านการก่อการร้ายสากล หรือผู้แทนที่ถูกมอบหมาย ในฐานะผู้บริหารกองงานที่ปฏิบัติงานด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ

5) ผู้อำนวยการกองปฏิบัติการพิเศษ ศูนย์ปฏิบัติการต่อต้านการก่อการร้ายสากล หรือผู้แทนที่ถูกมอบหมาย

การพัฒนาแบบสัมภาษณ์สำหรับสัมภาษณ์ผู้บังคับบัญชาของศูนย์ปฏิบัติการต่อต้านการก่อการร้ายสากล กองบัญชาการกองทัพไทย ผู้วิจัยจะทำการออกแบบโครงสร้างของข้อคำถามที่สามารถนำไปใช้ในกระบวนการสัมภาษณ์ ผู้ถูกสัมภาษณ์แต่ละคนจะได้รับชุดคำถามสัมภาษณ์ชุดเดียวกัน เพื่อให้ผู้วิจัยสามารถนำคำตอบที่ได้มาเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้รับให้ครบถ้วนตามที่ต้องการ โดยผู้วิจัยจะจัดทำแบบสัมภาษณ์เพื่อหาคำตอบที่ต้องการ แล้วนำแบบสัมภาษณ์ที่ได้ไปปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษา เพื่อปรับแก้ให้มีความถูกต้องและเหมาะสม ซึ่งเทคนิคของการสัมภาษณ์เชิงลึกนั้น เป็นเทคนิคและกระบวนการวิจัยเชิงคุณภาพที่มีความเหมาะสมอย่างยิ่งในการนำมาใช้ในการสัมภาษณ์บุคคล โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับบุคคลที่เป็นผู้ที่มีความรู้และความชำนาญ หรือมีความเชี่ยวชาญในเรื่องที่กำลังดำเนินการกระบวนการวิจัย โดยกระบวนการวิจัยในลักษณะนี้จะเปิดโอกาสให้ผู้ที่มีความรู้ ความชำนาญ หรือผู้ที่มีความเชี่ยวชาญ สามารถแสดงความคิดเห็นหรือทรรศนะได้อย่างหลากหลายในทุกแง่มุม โดยผู้วิจัยหรือผู้สัมภาษณ์สามารถที่จะดำเนินการสัมภาษณ์และสามารถที่จะสอบถาม ติดตาม และซักไล่เรียงข้อมูล ข้อเท็จจริง

หรือรายละเอียดปลีกย่อยที่สำคัญ และมีความน่าสนใจในแต่ละประเด็นของคำตอบ จากผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย หรือผู้ให้สัมภาษณ์ อันทำให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่มีความหลากหลายในมิติต่างๆ และข้อเท็จจริงในทางปฏิบัติที่มีความหลากหลาย ในมิติต่างๆ ที่มีทั้งมิติของความลึกและมิติของความกว้างในเรื่องที่ดำเนินกระบวนการวิจัย ทั้งนี้การสัมภาษณ์เชิงลึกมีจุดมุ่งหมายสำคัญได้แก่ความเชื่อมโยงระหว่างข้อมูลเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ

3.3.1 แบบสัมภาษณ์เพื่อการวิจัย

การสัมภาษณ์ในครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อเก็บรวบรวมความคิดเห็นจากผู้บังคับบัญชาของศูนย์ปฏิบัติการต่อต้านการก่อการร้ายสากล กองบัญชาการกองทัพไทย ในเรื่องการรับรู้และการยอมรับเทคโนโลยีการเชื่อมต่อทุกสรรพสิ่งในสนามรบ ทั้งนี้ข้อมูลจากการสัมภาษณ์ทั้งหมด จะนำมาใช้ในการวางแผน บริหารจัดการ และพัฒนากำลังพล ในด้านการศึกษาเกี่ยวกับเทคโนโลยีสารสนเทศ ของศูนย์ปฏิบัติการต่อต้านการก่อการร้ายสากล กองบัญชาการกองทัพไทย โดยมีประเด็นในการสัมภาษณ์ ดังนี้

1) ท่านมีความคิดเห็นอย่างไรเกี่ยวกับเทคโนโลยีการเชื่อมต่อทุกสรรพสิ่งในสนามรบ

2) ท่านคิดว่าปัจจัยส่วนบุคคล ได้แก่ เพศ อายุ ชั้นยศ เหล่า/พรรค สายวิชาการ อาวุธราชการ อายุงานในตำแหน่ง ระดับการศึกษา คุณวุฒิ และรายได้ มีผลต่อการรับรู้เทคโนโลยีการเชื่อมต่อทุกสรรพสิ่งในสนามรบ ของเจ้าหน้าที่ปฏิบัติการพิเศษหรือไม่ อย่างไร

3) ท่านคิดว่าปัจจัยส่วนบุคคล ได้แก่ เพศ อายุ ชั้นยศ เหล่า/พรรค สายวิชาการ อาวุธราชการ อายุงานในตำแหน่ง ระดับการศึกษา คุณวุฒิ และรายได้ มีผลต่อการยอมรับเทคโนโลยีการเชื่อมต่อทุกสรรพสิ่งในสนามรบ ของเจ้าหน้าที่ปฏิบัติการพิเศษหรือไม่ อย่างไร

4) ท่านมีความคิดเห็นอย่างไรกับระบบที่ใช้เทคโนโลยีการเชื่อมต่อทุกสรรพสิ่งในสนามรบในการปฏิบัติการทางยุทธวิธี

5) ท่านมีนโยบาย หรือแนวทางในการบริหารจัดการ และพัฒนากำลังพลกำลังพลฝ่ายปฏิบัติการด้านเทคโนโลยีสารสนเทศอย่างไร

3.3.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์แบบมีโครงสร้าง (Structure interview) นั้นมีกระบวนการในการวิเคราะห์ ดังนั้นผู้วิจัยจะนำข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์แบบมีโครงสร้าง มาใช้ในกระบวนการวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูล ด้วยกระบวนการและวิธีการวิเคราะห์ตามแนวทาง การวิจัยเชิงคุณภาพ ดังนี้

1) วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากบันทึกการสัมภาษณ์ เพื่อเปรียบเทียบและจำแนกความคิดเห็นในแต่ละประเด็นการสัมภาษณ์

2) นำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล โดยเปรียบเทียบในรูปแบบการพรรณนา และนำไปเป็นข้อมูลในการตอบคำถามการวิจัย รวมทั้งเสนอให้มีการกำหนดเป็นแนวทางทางการพัฒนากำลังพลในด้านเทคโนโลยีสารสนเทศของศูนย์ปฏิบัติการต่อต้านการก่อการร้ายสากล กองบัญชาการกองทัพไทย ต่อไป

4. ผลการวิจัย

การวิจัยเรื่อง การรับรู้และการยอมรับเทคโนโลยีการเชื่อมต่อทุกสรรพสิ่งในสนามรบ (Internet of Battle Things : IoBT) ของเจ้าหน้าที่ปฏิบัติการพิเศษ วิทยาลัย : ศูนย์ปฏิบัติการต่อต้านการก่อการร้ายสากล เป็นการวิจัยแบบผสมผสาน โดยทำการประยุกต์ใช้วิธีการวิจัยทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพมาใช้ในการวิจัย เพื่อให้ได้ผลการวิจัยที่รอบคอบและรัดกุม โดยใช้จุดแข็งของงานวิจัยเชิงปริมาณมาแก้ไขจุดอ่อนของงานวิจัยเชิงคุณภาพ และใช้จุดแข็งของงานวิจัยเชิงคุณภาพมาแก้ไข

จุดอ่อนของงานวิจัยเชิงปริมาณ ในการนี้ผู้วิจัยจะใช้เครื่องมือคือแบบสอบถามสำหรับกำลังพลระดับปฏิบัติการ และสำหรับการวิจัยเชิงคุณภาพ จะใช้เครื่องมือคือการสัมภาษณ์เชิงลึก ผู้บังคับบัญชา ตามรายละเอียดได้กล่าวแล้วในหัวข้อที่ 3

ในหัวข้อนี้จะเป็นการนำเสนอผลที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถามที่มีต่อปัจจัยการรับรู้เทคโนโลยีการเชื่อมต่อทุกสรรพสิ่งในสนามรบ และข้อมูลความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถามที่มีต่อปัจจัยการยอมรับเทคโนโลยีการเชื่อมต่อทุกสรรพสิ่งในสนามรบ และวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติด้านสังคมศาสตร์ ในการหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน หรือค่าสถิติที่คำนวณ ได้แก่ ค่าสถิติพื้นฐาน คือ ค่าร้อยละ ค่าคะแนนเฉลี่ย และค่าเฉลี่ยเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยใช้ t-test และ ANOVA เป็นค่าสถิติในการทดสอบ ซึ่งจะเป็นค่าสถิติที่คำนวณได้จากข้อมูลของกลุ่มตัวอย่าง และใช้เปรียบเทียบกับเกณฑ์ในการตัดสินใจที่ค่านัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

4.4.1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ผู้ตอบแบบสอบถามทั้งหมดเป็นเจ้าหน้าที่ปฏิบัติการพิเศษของศูนย์ปฏิบัติการต่อต้านการก่อการร้ายสากล จำแนกเป็นเพศชาย ร้อยละ 84 มีอายุ 28 - 44 ปี (เจเนอเรชัน Y) ร้อยละ 59.62 ชั้นยศ สิบตรี - สิบเอก, จ่าตรี - จ่าเอก ร้อยละ 35.58 เป็นเหล่าทหารราบร้อยละ 34.62 สายวิทยาการยุทธการ ร้อยละ 66.35 อายุราชการ 6 - 10 ปี ร้อยละ 39.42 อายุงานในตำแหน่ง 1 - 5 ปี ร้อยละ 38.46, ระดับการศึกษาปริญญาตรี ร้อยละ 52.88 คุณวุฒิด้านการบริการและการจัดการ ร้อยละ 22.12 และส่วนใหญ่รายได้ต่อเดือนอยู่ระหว่าง 15,001 – 30,000 บาท ร้อยละ 45.19

4.4.2 ข้อมูลความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถามที่มีต่อปัจจัยการรับรู้เทคโนโลยีการเชื่อมต่อทุกสรรพสิ่งในสนามรบ

เจ้าหน้าที่ปฏิบัติการพิเศษ ศูนย์ปฏิบัติการต่อต้านการก่อการร้ายสากล มีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานต่อความคิดเห็นเกี่ยวกับการรับรู้เทคโนโลยีการเชื่อมต่อทุกสรรพสิ่งในสนามรบจากปัจจัยต่างๆ อยู่ในระดับมาก ($\bar{X}=3.53$, s.d.=0.910) โดยมีทัศนคติที่ดีต่อพฤติกรรมการใช้งานในระดับมากที่สุดได้แก่ ระบบที่ใช้เทคโนโลยีการเชื่อมต่อทุกสรรพสิ่งในสนามรบ มีประโยชน์ต่อองค์กรของท่าน ($\bar{X}=4.10$, s.d.=0.838) ส่วนปัจจัยอื่นๆ มีระดับความคิดเห็นอยู่ในระดับมาก

4.4.3 ข้อมูลความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถามที่มีต่อปัจจัยการยอมรับเทคโนโลยีการเชื่อมต่อทุกสรรพสิ่งในสนามรบ

เจ้าหน้าที่ปฏิบัติการพิเศษ ศูนย์ปฏิบัติการต่อต้านการก่อการร้ายสากล มีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานต่อความคิดเห็นเกี่ยวกับการยอมรับเทคโนโลยี

การเชื่อมต่อทุกสรรพสิ่งในสนามรบจากปัจจัยต่างๆ ทุกประเด็นอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}=3.64$, s.d.=0.887)

4.4.4 ผลการทดสอบตามสมมติฐาน

ผลการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับการรับรู้และการยอมรับเทคโนโลยีการเชื่อมต่อทุกสรรพสิ่งในสนามรบ ของเจ้าหน้าที่ปฏิบัติการพิเศษ ศูนย์ปฏิบัติการต่อต้านการก่อการร้ายสากล ที่มีลักษณะทางประชากรศาสตร์ที่แตกต่างกัน พบว่าค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (Sig.) ของทุกสมมติฐานมีค่ามากกว่า 0.05 ซึ่งหมายความว่าสมมติฐานดังกล่าวไม่ได้รับการสนับสนุน รายละเอียดของผลการทดสอบสมมติฐานและการแปลผลแสดงไว้ในตารางที่ 1 ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ความแตกต่างด้านลักษณะทางประชากรศาสตร์ของเจ้าหน้าที่ปฏิบัติการพิเศษ ศูนย์ปฏิบัติการต่อต้านการก่อการร้ายสากล ไม่มีอิทธิพลต่อการรับรู้และการยอมรับเทคโนโลยี IoBT อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตารางที่ 1 สรุปผลการทดสอบสมมติฐาน

สมมติฐาน						แปลผล	สถิติที่ใช้
1. เจ้าหน้าที่ปฏิบัติการพิเศษด้านการต่อต้านการก่อการร้าย ที่มีลักษณะทางประชากรศาสตร์แตกต่างกัน มีผลกับการรับรู้เทคโนโลยีการเชื่อมต่อทุกสรรพสิ่งในสนามรบแตกต่างกัน						NS	T-Test/ ANOVA
สมมติฐาน	ผลการทดสอบ						
1.1 เพศ	n	$\bar{X}$	s.d.	t	Sig.	NS	T-Test
ชาย	84	3.58	.680	1.61	.109		
หญิง	20	3.30	.077				
1.2 อายุ	SS	df	MS	F	Sig.	NS	ANOVA
ความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม	1.49	2	.745	1.51	.224		
ความแปรปรวนภายในกลุ่ม	49.6	101	.491				
1.3 ชัยยศ	SS	df	MS	F	Sig.	NS	ANOVA
ความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม	1.49	3	.497	1.00	.396		

สมมติฐาน						แปลผล	สถิติที่ใช้
ความแปรปรวนภายในกลุ่ม	49.6	100	.496				
1.4 เหล้าทหาร	SS	df	MS	F	Sig.	NS	ANOVA
ความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม	6.73	11	.612	1.27	.255		
ความแปรปรวนภายในกลุ่ม	44.4	92	.482				
1.5 สายวิทยากร	SS	df	MS	F	Sig.	NS	ANOVA
ความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม	7.24	10	.724	1.53	.139		
ความแปรปรวนภายในกลุ่ม	43.9	93	.472				
1.6 อารูชากร	SS	df	MS	F	Sig.	NS	ANOVA
ความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม	1.78	5	.356	.708	.619		
ความแปรปรวนภายในกลุ่ม	49.4	98	.503				
1.7 อายุงานในตำแหน่งปัจจุบัน	SS	df	MS	F	Sig.	NS	ANOVA
ความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม	2.10	4	.525	1.06	.380		
ความแปรปรวนภายในกลุ่ม	49.0	99	.495				
1.8 ระดับการศึกษา	SS	df	MS	F	Sig.	NS	ANOVA
ความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม	.345	2	.172	.343	.710		
ความแปรปรวนภายในกลุ่ม	50.8	101	.503				
1.9 คุณวุฒิ	SS	df	MS	F	Sig.	NS	ANOVA
ความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม	6.25	11	.568	1.16	.322		
ความแปรปรวนภายในกลุ่ม	44.8	92	.488				
1.10 รายได้	SS	df	MS	F	Sig.	NS	ANOVA
ความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม	3.11	3	1.04	2.16	.098		
ความแปรปรวนภายในกลุ่ม	48.0	100	.480				
2. เจ้าหน้าที่ปฏิบัติการพิเศษด้านการต่อต้านการก่อการร้าย ที่มีลักษณะทางประชากรศาสตร์แตกต่างกัน มีผลกับการยอมรับเทคโนโลยีการเชื่อมต่อทุกสรรพสิ่งในสนามรบแตกต่างกัน						NS	T-Test/ ANOVA
2.1 เพศ	n	$\bar{X}$	s.d.	t	Sig.	NS	T-Test
ชาย	84	3.62	.755	-.47	.641		
หญิง	20	3.71	.747				
2.2 อายุ	SS	df	MS	F	Sig.	NS	ANOVA
ความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม	1.57	2	.783	1.40	.251		
ความแปรปรวนภายในกลุ่ม	56.4	101	.559				
2.3 ฐานะ	SS	df	MS	F	Sig.	NS	ANOVA
ความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม	1.45	3	.482	.852	.469		

สมมติฐาน						แปลผล	สถิติที่ใช้
ความแปรปรวนภายในกลุ่ม	56.6	100	.566				
2.4 เหล้าทหาร	SS	df	MS	F	Sig.	NS	ANOVA
ความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม	6.87	11	.624	1.12	.353		
ความแปรปรวนภายในกลุ่ม	51.1	92	.556				
2.5 สายวิชาการ	SS	df	MS	F	Sig.	NS	ANOVA
ความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม	7.29	10	.729	1.33	.223		
ความแปรปรวนภายในกลุ่ม	50.7	93	.545				
2.6 อาชญากรรม	SS	df	MS	F	Sig.	NS	ANOVA
ความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม	4.43	5	.886	1.62	.162		
ความแปรปรวนภายในกลุ่ม	53.6	98	.547				
2.7 อาชญากรรม	SS	df	MS	F	Sig.	NS	ANOVA
ความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม	1.71	4	.427	.751	.559		
ความแปรปรวนภายในกลุ่ม	56.3	99	.569				
2.8 ระดับการศึกษา	SS	df	MS	F	Sig.	NS	ANOVA
ความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม	.164	2	.082	.143	.867		
ความแปรปรวนภายในกลุ่ม	57.8	101	.573				
2.9 คุณวุฒิที่	SS	df	MS	F	Sig.	NS	ANOVA
ความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม	4.42	11	.402	.690	.745		
ความแปรปรวนภายในกลุ่ม	53.6	92	.583				
2.10 รายได้ที่แตกต่างกัน	SS	df	MS	F	Sig.	NS	ANOVA
ความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม	1.70	3	.567	1.01	.393		
ความแปรปรวนภายในกลุ่ม	56.3	100	.563				

4.4.5 ผลการสัมภาษณ์เชิงลึกผู้บังคับบัญชา

จากข้อมูลการสัมภาษณ์ผู้บังคับบัญชาทั้ง 5 ท่าน ในประเด็นการสัมภาษณ์นี้ สรุปได้ว่าผู้บังคับบัญชาศูนย์ปฏิบัติการต่อต้านการก่อการร้ายสากล ส่วนใหญ่มีความคิดเห็นไปในแนวทางเดียวกันว่าควรพัฒนากำลังพลที่ทำงานในด้านนี้อย่างจริงจัง ส่งเสริมให้ศึกษาเพิ่มเติม ทั้งหลักสูตรปกติ และหลักสูตรพิเศษต่างๆ แม้กระทั่งหลักสูตรนอกกระทรวงกลาโหม โดยเน้นให้กำลังพลพัฒนาให้ทันโลก ทันสมัยตลอดเวลา โดยกำลังพลที่ไป

ศึกษาหลักสูตรต่างๆ จะต้องกลับมาถ่ายทอดความรู้ให้กำลังพลในหน่วยเพื่อต่อยอดความรู้เพิ่มเติมต่อไป โดยในปัจจุบันกองทัพค่อนข้างขาดแคลนกำลังพลที่ปฏิบัติงานในด้านเทคโนโลยีสารสนเทศเป็นอย่างมาก จึงมีคำแนะนำให้สรรหากำลังพลที่ปฏิบัติงานด้านนี้เพิ่มเติม รวมถึงพัฒนากำลังพลที่มีอยู่ ให้มีขีดความสามารถมากยิ่งขึ้นไป

5. สรุปอภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

สรุปแนวทางการพัฒนากำลังพลด้านการศึกษาเกี่ยวกับเทคโนโลยีสารสนเทศ กำลังพลต้องได้รับการศึกษาที่เหมาะสมกับบทบาทและหน้าที่ของตน โดยใช้เทคโนโลยีให้เกิดประโยชน์สูงสุดและรู้เท่าทันการใช้เทคโนโลยีในทางที่ผิด ควรมีแผนการพัฒนากำลังพลด้านเทคโนโลยีสารสนเทศที่ชัดเจน ผ่านหลักสูตรที่เหมาะสมและการสนับสนุนจากหน่วยงาน การสรรหากำลังพลที่มีความสามารถในด้านนี้ รวมถึงการรักษากำลังพลที่มีทักษะเหล่านี้ผ่านการให้สิ่งจูงใจในการศึกษาอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ทันกับการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยีในโลกยุคดิจิทัล และการถ่ายทอดความรู้ที่ได้รับจากการศึกษาให้กับกำลังพลในหน่วยเพื่อสร้างการเรียนรู้และพัฒนาต่อยอดในหน่วย

5.2 อภิปรายผล

ข้อมูลด้านประชากรศาสตร์ของผู้ตอบแบบสอบถามสะท้อนให้เห็นถึงลักษณะเฉพาะของกลุ่มตัวอย่างที่มีบทบาทเฉพาะทางในด้านการปฏิบัติการพิเศษของศูนย์ปฏิบัติการต่อต้านการก่อการร้ายสากล โดยมีลักษณะส่วนใหญ่เป็นเพศชาย อายุวัยกลางคน และมีการศึกษาอยู่ในระดับปริญญาตรี ข้อมูลนี้บ่งชี้ถึงความพร้อมของกลุ่มตัวอย่างในแง่ของประสบการณ์ และพื้นฐานความรู้ที่เพียงพอต่อการศึกษาเรื่องเทคโนโลยีสารสนเทศที่เกี่ยวข้องกับสนามรบ

5.2.1 การรับรู้เทคโนโลยีการเชื่อมต่อทุกสรรพสิ่งในสนามรบ

การรับรู้เทคโนโลยีเชื่อมต่อทุกสรรพสิ่งในสนามรบได้รับการประเมินในระดับที่สูง โดยเฉพาะด้านประโยชน์ที่มีต่อองค์กร และความสามารถในการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานเป็นทีม และจากผลจากการวิจัยพบกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่จำนวนร้อยละ 59.62 เป็น

ผู้ใช้งานกลุ่มเจนเนอเรชันวาย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของจิรวัดน์ วงศ์ธงชัย และกาญจนา สุคันธสิริกุล [4] ที่พบว่าผู้ใช้งานกลุ่มเจนเนอเรชัน Y มีความคิดเห็นเกี่ยวกับปัจจัยด้านการรับรู้โดยรวมอยู่ในระดับมาก สะท้อนให้เห็นถึงความเข้าใจในบทบาทของเทคโนโลยีดังกล่าวในเชิงยุทธศาสตร์และการปฏิบัติการทางยุทธวิธี อย่างไรก็ตามจากผลการวิจัยพบว่า การฝึกใช้งานอย่างต่อเนื่องมีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าด้านอื่น และจากประสบการณ์ในการทำงานของตัวผู้วิจัยเอง มีความคิดเห็นว่าการที่ผลการวิจัยส่วนนี้ไม่ได้รับการประเมินอยู่ในระดับที่สูงมากอาจเป็นเพราะตัวเจ้าหน้าที่ไม่มีความรู้ด้านเทคโนโลยีการเชื่อมต่อทุกสรรพสิ่งในสนามรบอย่างลึกซึ้ง อาจจะรวมไปถึงการความรู้พื้นฐานด้านเทคโนโลยีสารสนเทศต่างๆ ด้วย ซึ่งบ่งชี้ถึงความจำเป็นในการเสริมสร้างการฝึกอบรมอย่างสม่ำเสมอต่อเนื่อง และมีแผนในการเสริมสร้างความรู้ที่ชัดเจน เพื่อยกระดับความเชี่ยวชาญของเจ้าหน้าที่ปฏิบัติการพิเศษต่อไป

5.2.2 การยอมรับเทคโนโลยีการเชื่อมต่อทุกสรรพสิ่งในสนามรบ

การยอมรับเทคโนโลยีการเชื่อมต่อทุกสรรพสิ่งในสนามรบมีความสัมพันธ์กับปัจจัยด้านเสถียรภาพ ความปลอดภัย และความง่ายต่อการใช้งาน ซึ่งได้รับการประเมินในระดับสูง สอดคล้องกับงานวิจัยของชัชชติภักษ์ เคชจิรมณี และคณะ [5] เรื่องปัจจัยที่ส่งผลต่อระดับการยอมรับเทคโนโลยี Internet of Things (IoT) สำหรับบ้านพักอาศัย อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ประกอบด้วย การรับรู้ความเข้ากันได้ การรับรู้ความเพลิดเพลิน ความตั้งใจที่จะใช้การรับรู้ การเชื่อมต่อการรับรู้ ความง่ายในการใช้งาน การรับรู้การควบคุม การรับรู้คุณค่า และการรับรู้ประโยชน์ ข้อมูลนี้สะท้อนให้เห็นถึงทัศนคติที่ดีต่อการนำเทคโนโลยีมาใช้งานจริง อย่างไรก็ตาม การบำรุงรักษาและความพร้อมใช้งานของชิ้นส่วนอะไหล่ที่มีคะแนนเฉลี่ยต่ำกว่าส่วนอื่นๆ แทนที่

จะมีระดับการประเมินอยู่ในระดับสูงหรือสูงมาก บ่งชี้ว่าความสำคัญของการบริหารจัดการการสนับสนุนทรัพยากรหรือในทางทหารเราจะเรียกว่าการส่งกำลังบำรุงที่ยังต้องได้รับการพัฒนาเพิ่มเติม

5.2.3 การทดสอบสมมติฐาน

ผลการทดสอบสมมติฐานพบว่าปัจจัยด้านประชากรศาสตร์ เช่น เพศ อายุ ระดับการศึกษา หรือรายได้ ไม่ส่งผลต่อการรับรู้และยอมรับเทคโนโลยีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในระดับ 0.05 แสดงถึงความเป็นเอกภาพในมุมมองของกลุ่มตัวอย่าง โดยไม่คำนึงถึงความแตกต่างในด้านประชากรศาสตร์ อย่างไรก็ตาม อาจเป็นไปได้ว่าสิ่งนี้สะท้อนถึงลักษณะการทำงานในศูนย์ปฏิบัติการต่อต้านการก่อการร้ายสากลกองบัญชาการกองทัพไทย ที่มี Motto หรือคำขวัญประจำหน่วยว่า “WE ARE ONE WE WIN” ที่ให้ความสำคัญกับความสามารถเชิงวิชาชีพมากกว่าปัจจัยส่วนบุคคล โดยเฉพาะอย่างยิ่งในยุคปัจจุบันที่ท่านผู้บัญชาการทหารสูงสุดเน้นในด้านความเท่าเทียมของกำลังพล ทุกเพศ ทุกวัย ทุกชั้นยศ โดยหน่วยจะมีการฝึกกำลังพลในทุกส่วนอย่างเข้มข้นให้มีความชำนาญในหน้าที่ ตั้งแต่ระดับบุคคล ระดับชุด จนถึงระดับหน่วย เน้นความสามัคคี แน่นแฟ้น เพื่อเตรียมความพร้อมตลอด 24 ชั่วโมง ในการปฏิบัติการแก้ไขปัญหาการก่อเหตุร้ายและการก่อการร้าย รวมถึงภารกิจอื่นๆ ที่ได้รับมอบหมาย

5.2.4 แนวทางการวางแผนและบริหารจัดการ

แนวทางการพัฒนากำลังพลในด้านเทคโนโลยีสารสนเทศมีความเหมาะสมและชัดเจน โดยเน้นการเรียนรู้เทคโนโลยีที่สอดคล้องกับบทบาทหน้าที่ และการสร้างความเชี่ยวชาญเฉพาะด้าน การประเมินความต้องการและกำหนดเป้าหมายอย่างต่อเนื่องช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในระยะยาว โดยในปัจจุบัน ศูนย์ปฏิบัติการต่อต้านการก่อการร้ายสากล มีการใช้ระบบอำนาจการ

ยุทธที่ใช้เทคโนโลยีการเชื่อมต่อทุกสรรพสิ่งในสนามรบ เป็นเทคโนโลยีหลักในการปฏิบัติการของระบบ จึงควรเน้นพัฒนาในเทคโนโลยีนี้สำหรับเจ้าหน้าที่ปฏิบัติการพิเศษทุกคนที่จำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีนี้ให้เกิดความเชี่ยวชาญ เมื่อมีการใช้งานจริง จะไม่เกิดปัญหาร้ายแรงขึ้นได้ จึงเกิดเป็นงานวิจัยนี้ขึ้นมาเพื่อหาคำตอบ แต่อย่างไรก็ตาม เห็นควรมีการเพิ่มการพัฒนาหลักสูตรที่เน้นความเป็นสากลและเชื่อมโยงกับเทคโนโลยีใหม่ๆ เพื่อให้สามารถปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงของยุคดิจิทัลได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

5.2.5 สรุปผลการวิจัยโดยรวม

จากผลการวิจัยพบว่า เจ้าหน้าที่ปฏิบัติการพิเศษศูนย์ปฏิบัติการต่อต้านการก่อการร้ายสากล มีทัศนคติที่ดีต่อเทคโนโลยีการเชื่อมต่อทุกสรรพสิ่งในสนามรบ และยอมรับการนำเทคโนโลยีนี้มาใช้ในการปฏิบัติงาน โดยไม่พบความแตกต่างทางสถิติที่สำคัญระหว่างกลุ่มตัวอย่างที่มีลักษณะทางประชากรศาสตร์แตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตาม ผลจากการสัมภาษณ์เชิงลึกจากผู้บังคับบัญชาศูนย์ปฏิบัติการต่อต้านการก่อการร้ายสากลยังพบความกังวลในความปลอดภัยของการใช้เทคโนโลยีดังกล่าวในทางยุทธวิธี สอดคล้องกับงานวิจัยที่มีเนื้อหาเกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีการเชื่อมต่อทุกสรรพสิ่งในสนามรบ ซึ่งในประเทศไทยไม่มีงานวิจัยเทคโนโลยีประเภทนี้มากนัก ผู้วิจัยจึงได้ค้นหาข้อมูลงานวิจัยจากต่างประเทศยกตัวอย่างเช่น Alexander, K., Ananthram, S. & Bruce J.W. [6] พบว่าการใช้เทคโนโลยีดังกล่าวในปัจจุบันนั้นมีความเสี่ยงในหลายปัจจัย เนื่องจากหากเกิดความผิดพลาดในการสื่อสาร หรือปัจจัยอื่นๆ อาจจะทำให้เกิดเหตุ เกิดความเสียหายแรงกับผู้ปฏิบัติได้, Weiwei Wu and Di Lin [7] พบว่าอาจมีช่องทางเอื้อให้ฝ่ายตรงข้ามสามารถโจมตีด้วยรูปแบบต่างๆ เพื่อเข้าถึงข้อมูล ทำการก่อวินาศกรรม ยับยั้งการสื่อสารของเทคโนโลยี และการโจมตีแบบอื่นๆ เพื่อผลลัพธ์ทางการทหารได้ และ Basmh Alkanjr

and Imad Mahgoub [8] มีความเห็นว่าควรรักษาความปลอดภัยของข้อมูลตำแหน่ง และข้อมูลประจำตัวในเครือข่าย IoT ให้มากที่สุด เพื่อลดความสามารถในการเชื่อมโยงและการติดตามให้เหลือน้อยที่สุด เป็นต้น ดังนั้น เพื่อให้การพัฒนาเทคโนโลยีการเชื่อมต่อทุกสรรพสิ่งในสนามรบ รวมไปถึงเทคโนโลยีทางการทหารอื่นๆ และการนำไปใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพยังคงต้องอาศัยความร่วมมือจากทุกภาคฝ่าย เพื่อศึกษาเพิ่มเติม และแก้ไขปัญหา ปรับปรุงระบบให้ดียิ่งขึ้นไป

5.3 ข้อเสนอแนะ

ศูนย์ปฏิบัติการต่อต้านการก่อการร้ายสากลควรมีนโยบายการฝึกอบรมที่ครอบคลุมและต่อเนื่อง เพื่อยกระดับความเชี่ยวชาญในการใช้เทคโนโลยีเชื่อมต่อทุกสรรพสิ่งในสนามรบของเจ้าหน้าที่ปฏิบัติการพิเศษ โดยในส่วนของกำลังบำรุงหรือการสนับสนุนทรัพยากรนั้นก็ควร เพิ่มความพร้อมของชิ้นส่วนอะไหล่และพัฒนาแนวทางการบำรุงรักษาเพื่อรองรับการใช้งานในระยะยาว ในส่วนการบริหารหลักสูตรควรให้ส่วนงานที่เกี่ยวข้องทำการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของปัจจัยอื่นๆ เช่น ความพร้อมเชิงโครงสร้างพื้นฐาน หรือวัฒนธรรมองค์กร เพื่อเพิ่มความเข้าใจในมิติที่กว้างขึ้น พัฒนาหลักสูตรเฉพาะทาง โดยออกแบบหลักสูตรที่เหมาะสมกับบทบาทและภารกิจเฉพาะของเจ้าหน้าที่ปฏิบัติการพิเศษ รวมถึงการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศในการกิจปฏิบัติการพิเศษให้ครอบคลุมในทุกมิติ

ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

เพื่อให้ผลการศึกษาในครั้งนี้สามารถขยายผลต่อไปได้ในมุมมองที่กว้างมากขึ้น อันจะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาต่อขอจัดการบริหารจัดการกำลังพลในด้านเทคโนโลยีสารสนเทศของศูนย์ปฏิบัติการต่อต้านการก่อการร้ายสากล ผู้วิจัยจะขอเสนอแนะประเด็นดังต่อไปนี้

1) ควรทำการศึกษาปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อการรับรู้และการยอมรับเทคโนโลยีที่ศึกษา นอกเหนือจากปัจจัยทางด้านประชากรศาสตร์ เช่น ประสบการณ์ในการใช้งานเทคโนโลยี ความเชื่อมั่นในเทคโนโลยี และการสนับสนุนจากผู้บังคับบัญชา เป็นต้น

2) ศึกษาผลกระทบของเทคโนโลยีต่อประสิทธิภาพการทำงาน และควรมีการศึกษาเชิงปริมาณเพื่อวัดผลกระทบของเทคโนโลยีต่อประสิทธิภาพการทำงานของเจ้าหน้าที่อย่างเป็นรูปธรรม

3) ศึกษาเทคโนโลยีทางการทหารอื่นๆ ในหลายมิติ โดยพิจารณาจากแนวโน้มการปฏิบัติการในอนาคต ซึ่งจากข้อมูลจากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญและประสบการณ์การทำงานของผู้วิจัยคาดการณ์ว่าในอนาคตจะเป็นการทำสงครามนอกแบบเสียส่วนใหญ่

4) ในส่วนของการบริหารจัดการการศึกษา ควรเน้นการฝึกอบรมและพัฒนาอย่างต่อเนื่องให้กำลังพลมีความรู้ความสามารถในการใช้งานเทคโนโลยีอย่างเต็มที่ โดยกำหนดระบบสนับสนุนทางเทคนิคเพื่อแก้ไขปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างการใช้งานเทคโนโลยีและส่งเสริมให้มีการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ สร้างโอกาสให้กำลังพลได้แลกเปลี่ยนความรู้และประสบการณ์ในการใช้งานเทคโนโลยีต่างๆ รวมทั้งมีการประเมินผลการใช้งานเทคโนโลยีอย่างสม่ำเสมอ เพื่อปรับปรุงและพัฒนาให้ดียิ่งขึ้น

ผลการวิจัยฉบับนี้สะท้อนให้เห็นว่าพฤติกรรม การรับรู้และการยอมรับเทคโนโลยี IoT ของเจ้าหน้าที่ปฏิบัติการพิเศษ เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการวางแผนพัฒนากำลังพลด้านเทคโนโลยีสารสนเทศของศูนย์ปฏิบัติการต่อต้านการก่อการร้ายสากล โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อพิจารณาถึงบริบทของการฝึกปฏิบัติและสภาพแวดล้อมที่มีความเสี่ยงสูง ซึ่งส่งผลต่อการรับรู้ประโยชน์และความง่ายในการใช้งานของเทคโนโลยีดังกล่าว โดยผลจากการวิจัยแสดงให้เห็นว่าเจ้าหน้าที่ส่วนใหญ่มีความพร้อมที่จะรับเทคโนโลยีใหม่ๆ และเล็งเห็น

ถึงประโยชน์ของเทคโนโลยีในการปฏิบัติงาน อย่างไรก็ตาม การพัฒนาเทคโนโลยีและการนำไปใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพยังคงต้องอาศัยความร่วมมือจากทุกฝ่าย ในการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อแก้ไขปัญหาและปรับปรุงระบบให้ดียิ่งขึ้นไปในอนาคต

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ คณะผู้บังคับบัญชาศูนย์ปฏิบัติการต่อต้านการก่อการร้ายสากลทุกท่าน ที่กรุณาเสียสละเวลาในการให้สัมภาษณ์ รวมไปถึงเพื่อนร่วมงาน ศูนย์ปฏิบัติการต่อต้านการก่อการร้ายสากลทุกท่านที่ตอบแบบสอบถาม และช่วยเหลือในทุกด้าน

ท้ายที่สุดข้าพเจ้าขอขอบพระคุณบิดามารดาและทุกคนในครอบครัวที่คอยสนับสนุนทั้งทางด้านการเงินให้กำลังใจ และความช่วยเหลือตลอดระยะเวลาการศึกษา ความสำเร็จของงานวิจัยนี้ ถือเป็นผลจากความช่วยเหลือของทุกฝ่าย ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งและขอขอบพระคุณทุกท่านมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Ministry of Defense. (n.d.). “Digital Development Plan (B.E. 2566-2570)” [Online]. Available: <https://opsd.mod.go.th/Content/PDF/66-70.aspx> (in Thai)
- [2] Ubon Ratchathani University. (2020, Sep. 17). “Development of UBU-IoT wireless network system by Surasak Sriwised.” [Online]. Available: <https://www.ubu.ac.th/web/kmubu> (in Thai)
- [3] K. Karnchanakul, “Network Centric Operations: NCO,” Nopphayathipataya Journal, vol. 3, no.2, pp.4-15, Jul-Dec. 2019. (in Thai)
- [4] J. Wongthongchai and K. Sukanthasirikul, “Perception Factors Affecting Acceptance of 2-Dimensions Barcode of Generation Y Users,”

Student’s Project, Institute of Social Technology, Suranaree University of Technology., 2013 (in Thai).

- [5] C. Dachjiramanee et al., “Factors Affecting the Acceptance of Internet of Things (IoT) Technology for Residence,” Journal of Humanities and Social Sciences, Nakhon Phanom Univ., vol. 12, no.3, pp.271-286, Sep-Dec. 2022. (in Thai)
- [6] A. Kott, A. Swami and B.J. West, “The Internet of Battle Things,” IEEE Computer, vol. 49, no.12, pp.70-75, Dec. 2016.
- [7] W. Wu and D. Lin., “Dynamic Resource Allocation in an Adversarial Urban IoBT Environment,” M.S. Thesis, University of Electronic Science and Technology of China., 2022.
- [8] B. Alkanjr and I. Mahgoub, “Location Privacy-Preserving Scheme in IoBT Networks Using Deception-Based Techniques,” Sensors, vol. 23, no.6, pp.2-19, Mar. 2023.

วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงชนิดฟลายแบครวมโมดูลที่ใช้เทคนิคการ ประมวลกำลังบางส่วนสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ Module Integrated Flyback DC-DC Converter using Partial Power Processing Technique for Photovoltaic System

โชคชัย ชื่นวัฒนาประณีต¹ และ มณฑนา รังสิโยภาส^{2*}

Chokchai Chuenwattanapraniti¹ and Montana Rungsiyopas^{2*}

¹ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี 20131

² ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี 20131

ผู้พิมพ์ประสานงาน : montana@eng.buu.ac.th

วันที่รับบทความ: 17 เมษายน 2568 / วันที่แก้ไขบทความ : 27 พฤษภาคม 2568 / วันที่ตอบรับการตีพิมพ์: 29 พฤษภาคม 2568

บทคัดย่อ งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงชนิดฟลายแบคที่ใช้ผนวกเข้ากับโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ การแปลงผันในระดับโมดูลจะช่วยแก้ไขปัญหาการสูญเสียกำลังผลิตอันเนื่องมาจากความไม่สมดุลของสภาวะการทำงานระหว่างโมดูลในระบบสตริงแบบดั้งเดิม วงจรที่นำเสนอใช้เทคนิคการประมวลกำลังบางส่วนเพื่อลดการกระการส่งผ่านกำลังในวงจรภาคกำลัง ส่งผลให้ระบบมีประสิทธิภาพโดยรวมสูง นอกจากนี้ขนาดของวงจรมีขนาดเล็กทำให้ง่ายในการติดตั้งกับโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ ดันแบบที่สร้างขึ้นถูกนำมาทดสอบกับโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีกำลังไฟฟ้าสูงสุดเปลี่ยนแปลงในช่วง 30-250W ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าระบบแปลงผันไฟตรงที่ใช้เทคนิคการประมวลกำลังบางส่วนสามารถติดตามจุดให้กำลังสูงสุดของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะการทำงานที่แตกต่างกันได้อย่างถูกต้อง โดยสัดส่วนกำลังที่ถูกประมวลผ่านวงจรฟลายแบคประมาณ 20-30% และประสิทธิภาพรวมของระบบอยู่ในช่วง 95-97%

คำสำคัญ : ดีซีออฟติไมเซอร์, วงจรฟลายแบค, ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์, การติดตามจุดให้กำลังสูงสุด

Abstract This research proposes the design of a flyback DC-DC converter circuit intended for integration with photovoltaic (PV) modules. The module-level power conversion provides an effective solution to mitigate power losses resulting from mismatch conditions among photovoltaic (PV) modules in conventional string configurations. The proposed circuit employs the Partial Power Processing (PPP) technique to reduce the power transfer through the power stage, thereby improving overall system efficiency. Additionally, the compact circuit design allows for easy integration with individual PV modules. A prototype of the

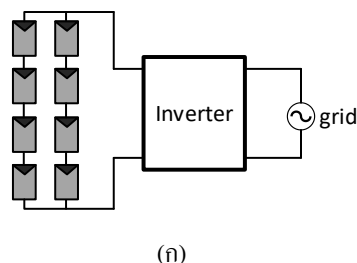
proposed system was developed and tested with PV modules exhibiting a wide range of maximum output power from 30 W to 250 W. The experimental results demonstrate that the proposed partial power processing converter can accurately track the maximum power point of PV modules under various operating conditions. The converter processes only 20–30% of the total power through the flyback converter, while achieving an overall system efficiency ranging from 95% to 97%.

Keywords: DC Optimizer, Flyback Converter, Photovoltaic system, Maximum Power Point Tracking

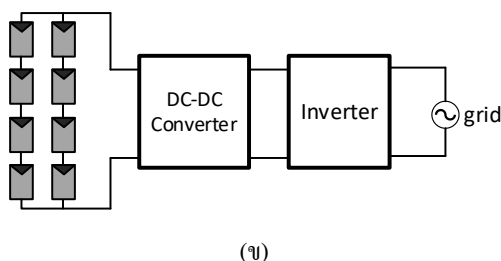
1. บทนำ

ปัจจุบันระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดเชื่อมต่อกับกริด (Grid-connected PV system) ที่ติดตั้งบนหลังคาที่พักอาศัยได้รับความนิยมมากขึ้น เนื่องจากสถานการณ์ค่าไฟฟ้าที่เพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่ราคาค่าต้นทุนของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงเป็นอย่างมาก การแปลงผันพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งเป็นไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับส่งเข้าสู่กริด (Grid) ในขั้นตอนเดียวดังรูปที่ 1 ก) จะจำกัดช่วงของแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่อินเวอร์เตอร์สามารถทำงานได้อยู่ในช่วงแคบ [1] ระบบแปลงผันแบบ 2 ขั้นตอนดังรูปที่ 1 ข) ประกอบไปด้วยวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง (DC-DC converter) และอินเวอร์เตอร์ (Inverter) การแปลงผันแบบ 2 ขั้นตอนดังกล่าวช่วยเพิ่มช่วงแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ระบบแปลงผันสามารถทำงานได้ให้กว้างขึ้น

การทำงานของระบบแปลงผันแบบ 2 ขั้นตอนนั้น วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงจะทำหน้าที่เพิ่มระดับแรงดันที่ได้รับจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้สูงขึ้นเพื่อให้อินเวอร์เตอร์สามารถควบคุมกระแสส่งเข้าสู่กริดได้ ในขณะที่อินเวอร์เตอร์ก็ติดตามจุดทำงานที่ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Maximum power point tracking) ตามการเปลี่ยนแปลงของสภาวะการทำงานในแต่ละช่วงเวลา



(ก)

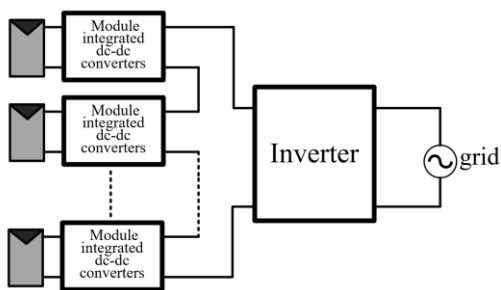


(ข)

รูปที่ 1 การแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับส่งเข้าสู่กริด (ก) แบบขั้นตอนเดียว (ข) แบบ 2 ขั้นตอน

สตริงที่เกิดจากการอนุกรมโมดูลจำนวนมากตามรูปที่ 1(ข) เมื่อต่อเข้ากับวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง อาจทำให้การติดตามจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดทำงานไม่ถูกต้อง ส่งผลให้กำลังผลิตไฟฟ้ารวมที่ได้น้อยกว่าที่ควรจะเป็น อันเนื่องมาจากสภาวะการทำงานที่ไม่เหมือนกันของแผงแต่ละแผงที่ต่ออนุกรมกัน [2-5] ปัญหาดังกล่าวจะเกิดขึ้นมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตเมืองที่มีข้อจำกัดด้านพื้นที่ติดตั้ง

แนวทางช่วยปรับปรุงผลผลิตไฟฟ้าของระบบที่มีโอกาสเกิดความไม่เท่าเทียมกันของสภาวะการทำงานในแต่ละโมดูลทำได้หลายวิธี ตัวอย่างเช่น การใช้วงจรแปลงผันกำลังในการจ่ายกระแสชดเชยสภาวะการทำงานที่แตกต่างกัน [6-7] ซึ่งต้องอาศัยการสื่อสารส่งค่าพารามิเตอร์ระหว่างโมดูล อีกวิธีการหนึ่งคือการใช้วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงขนาดเล็กหรือที่นิยมเรียกว่า ดีซีออปติไมเซอร์ (DC optimizer) [8-10] ติดตั้งไว้กับโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ 1 หรือ 2 โมดูล และเชื่อมต่อเอาต์พุตอนุกรมหรือขนานเข้ากับวงจรแปลงผันตัวอื่นๆ ดังรูปที่ 2 วงจรแปลงผันแต่ละตัวจะปรับการทำงานเพื่อดึงกำลังสูงสุดจากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์เฉพาะที่ต่ออยู่กับตัวมันโดยเป็นอิสระ จากโมดูลอื่นๆ เมื่อสภาวะการทำงานที่แตกต่างกันของแต่ละโมดูลไม่ส่งผลต่อจุดทำงานของโมดูลอื่นๆ จึงทำให้สามารถติดตั้งโมดูลในทิศทางหรือมุมเอียงที่แตกต่างกันได้



รูปที่ 2 ระบบที่ใช้วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงติดตั้ง

ระดับโมดูล

การติดตั้งใช้งานวงจรแปลงผันระดับโมดูลจะช่วยให้สามารถตรวจสอบการผลิตไฟฟ้าในระดับโมดูลได้ ทำให้ทราบปัญหาที่อาจเกิดขึ้นที่แต่ละโมดูล [11] อย่างไรก็ตามการเพิ่มวงจรแปลงผันระดับโมดูลจำนวนมากในระบบจะทำให้ต้นทุนของระบบโดยรวมสูงขึ้น ดังนั้นวงจรแปลงผันระดับโมดูลที่ดีควรจะออกแบบให้มีต้นทุนไม่สูง แต่มีความหนาแน่นกำลังสูงเพื่อให้ติดตั้งได้สะดวก และควรมีประสิทธิภาพสูง

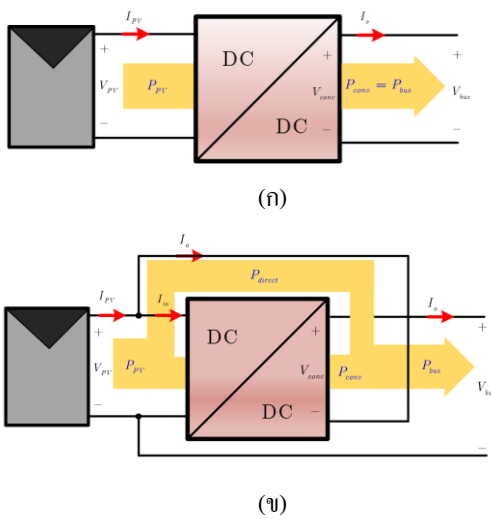
บทความนี้จะนำเสนอการออกแบบวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงที่ใช้ติดตั้งกับ โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเลือกใช้วงจรแปลงผันฟลายแบคที่มีส่วนประกอบในวงจรน้อยร่วมกับเทคนิคการประมวลกำลังบางส่วน ทำให้ได้ระบบที่มีประสิทธิภาพและความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูง แต่ยังสามารถติดตามจุดให้กำลังสูงสุดของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ได้

2. ระบบแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบการ

ประมวลกำลังบางส่วน

จากที่กล่าวมาแล้วว่าสำหรับอินเวอร์เตอร์ชนิดเชื่อมต่อกิริต กระบวนการติดตามจุดให้กำลังสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกประมวลด้วยส่วนควบคุมของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงซึ่งเป็นภาคข้างหน้าของวงจรอินเวอร์เตอร์ วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง (DC-DC converter) จะควบคุมกำลังที่ถ่ายโอนไปยังภาคอินเวอร์เตอร์อย่างเหมาะสมเพื่อให้ได้จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในขณะที่วงจรควบคุมของอินเวอร์เตอร์จะรักษาแรงดันที่บัสไฟฟ้ากระแสตรง (DC bus) ไว้ให้มีความคงที่

การแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบประมวลกำลังทั้งหมด (Full power processing) ดังรูปที่ 3(ก) วงจรแปลงผันจะต้องถูกออกแบบให้รองรับกำลังไฟฟ้าทั้งหมดจากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ไปยังบัสไฟตรง (DC bus) ทำให้วงจรมีขนาดใหญ่ น้ำหนักมากและมีการสูญเสียสูง ซึ่งแตกต่างกับระบบแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบประมวลกำลังบางส่วน (Partial power processing) ในรูปที่ 3(ข) ที่ใช้การส่งผ่านกำลังไฟฟ้าผ่านทางวงจรแปลงผันเพียงส่วนหนึ่ง ในขณะที่อีกส่วนหนึ่งจะไหลโดยตรงเข้าสู่บัสไฟตรง ทำให้ช่วยลดการกระเด็นกำลังของวงจรแปลงผันและการสูญเสียในระบบลงได้



รูปที่ 3 การแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง

(ก) การแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบประมวลกำลังทั้งหมด

(ข) การแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบประมวลกำลังบางส่วน

การแปลงผันที่ใช้การประมวลกำลังบางส่วน ที่แสดงในรูปที่ 3(ข) เป็นชนิดอินพุตขนาน เอาต์พุตอนุกรม (Input-parallel output-series) ลักษณะการจัดวางวงจรดังกล่าวแรงดันที่บัสไฟตรง (V_{bus}) จะเป็นผลรวมระหว่างแรงดันแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (V_{PV}) กับแรงดันขาออกของคอนเวอร์เตอร์ (V_{conv}) จึงเป็นการทำงานแบบขั้วระดับแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้นทำให้สามารถรองรับการใช้งานร่วมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีพิคกิ้งแรงดันไฟฟ้าต่ำได้

เมื่อสมมุติให้ไม่มีการสูญเสียในวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าที่ประมวลผ่านวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงมีค่าเท่ากับ

$$P_{conv} = V_{conv} I_o \quad (1)$$

และกำลังไฟฟ้าที่จ่ายเข้าสู่บัสไฟตรงมีค่าเท่ากับ

$$P_{bus} = V_{bus} I_o \quad (2)$$

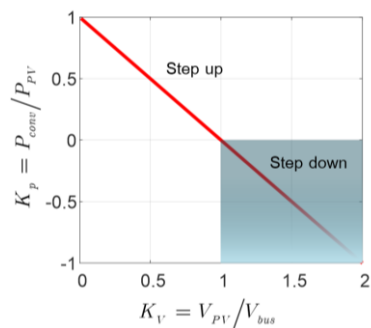
โดย I_o คือกระแสที่ออกจากวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง

จากสมการที่ 1 และ 2 สัดส่วนกำลังไฟฟ้า (K_p) ที่ต้องประมวลผ่านวงจรแปลงผันต่อกำลังไฟฟ้าที่บัสไฟตรง

$$K_p = \frac{P_{conv}}{P_{bus}} = \frac{V_{conv}}{V_{bus}} = 1 - K_V \quad (3)$$

โดย $K_V = \frac{V_{PV}}{V_{bus}}$ คือ อัตราส่วนระหว่างแรงดันของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ต่อแรงดันที่บัสไฟตรง

สมการที่ 3 แสดงให้เห็นว่า K_p ขึ้นอยู่กับ K_V โดยจากกราฟรูปที่ 4 แสดงให้เห็นว่ากำลังไฟฟ้าที่ต้องประมวลผ่านวงจรภาคกำลังจะมีค่าลดลงเมื่อสัดส่วนแรงดันโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ต่อแรงดันที่บัสไฟตรงมีค่าเข้าใกล้หนึ่ง โดยปกติแรงดันกับพิคกิ้งกำลังสูงสุดของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์จะสัมพันธ์กัน ซึ่งทำให้เมื่อใช้งานกับโมดูลที่มีพิคกิ้งกำลังสูงขึ้นจะทำให้สัดส่วนกำลังไฟฟ้าที่ต้องประมวลผ่านวงจรภาคกำลังลดลง ในกรณีที่แรงดันโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าสูงกว่าแรงดันที่บัสไฟตรงจะทำให้เกิดการไหลของกำลังจากด้านบัสไฟตรงย้อนกลับไปยังด้านแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นสถานะที่ไม่ควรออกแบบให้เกิดขึ้น

รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่าง K_p กับ K_V

เมื่อกำหนดให้วงจรที่ออกแบบใช้งานกับ โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์พิคกิ้งกำลังสูงสุด 290 W ซึ่งมีข้อมูลจำเพาะอื่นๆ แสดงในตารางที่ 1 และกำหนดแรงดันบัส

ไฟตรงเท่ากับ 50 V จะเห็นได้ว่าที่จุดกำลังสูงสุดของแผงเมื่อใช้เทคนิคการประมวลกำลังบางส่วนจะมีผลให้กำลังไฟฟ้าที่ประมวลผ่านวงจรแปลงผันเหลือประมาณ 20-30% ของกำลังไฟฟ้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ตารางที่ 1 ข้อมูลของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และค่าคงที่ต่างๆ ในระบบแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบประมวลกำลังบางส่วน

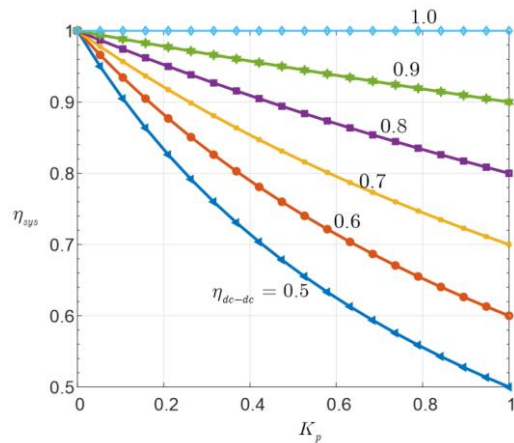
แรงดันบัสไฟตรง (V_{bus})	50 V
พิกัดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สภาวะทดสอบมาตรฐาน (standard test condition)	
กำลังสูงสุด (P_{mpp})	290 W
แรงดันไฟฟ้า ณ จุดกำลังสูงสุด (V_{mpp})	35.4 V
กระแสไฟฟ้า ณ จุดกำลังสูงสุด (I_{mpp})	8.2 A
K_V	0.708
K_p	0.292
P_{conv}	84 W

ประสิทธิภาพรวมของระบบแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง (η_{sys}) ที่ใช้เทคนิคการประมวลกำลังบางส่วนมีค่าดังนี้

$$\eta_{sys} = \frac{P_{bus}}{P_{PV}} = \frac{\eta_{dc-dc}}{\eta_{dc-dc} + K_p (1 - \eta_{dc-dc})} \quad (4)$$

โดย η_{dc-dc} คือ ประสิทธิภาพของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง

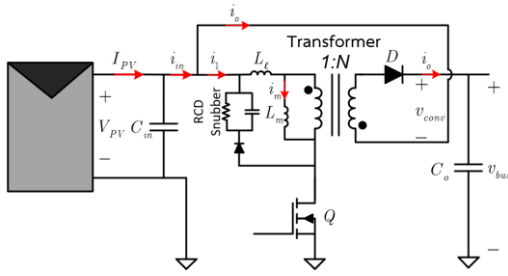
จากกราฟในรูปที่ (5) เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพของระบบแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบประมวลกำลังบางส่วนด้วยวงจรแปลงผันที่มีประสิทธิภาพค่าต่างๆ จะพบว่าเทคนิคการประมวลกำลังบางส่วนช่วยปรับปรุงให้ประสิทธิภาพของระบบแปลงผันกำลังดีขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อค่า K_p มีค่าน้อย ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อระบบแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงต่อกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีพิกัดกำลังสูง(แรงดันสูง)



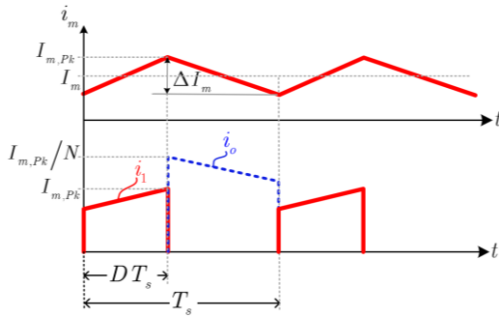
รูปที่ 5 ประสิทธิภาพของระบบแปลงผันที่ใช้เทคนิคการประมวลกำลังบางส่วน

3. การออกแบบวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบฟลายแบค

โครงสร้างของระบบแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบการประมวลกำลังบางส่วนที่แสดงในรูปที่ 3(ข) เพื่อไม่ให้เกิดการลัดวงจรจะต้องใช้วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงที่มีหม้อแปลงแยกโดด (Isolated dc-dc converter) วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงชนิดฟลายแบค ดังรูปที่ 6 เป็นวงจรที่น่าสนใจ เนื่องจากจำนวนองค์ประกอบวงจรมีน้อยกว่าวงจรแปลงผันแบบอื่นๆ ทำให้ต้นทุนของวงจรต่ำกว่า ข้อดีอีกประการคือเมื่อนำมาใช้แปลงผันไฟตรงแบบประมวลกำลังบางส่วนตามรูปที่ 6(ก) กระแสด้านขาเข้าระบบแปลงผัน (i_m) มีลักษณะต่อเนื่อง ทำให้สามารถใช้ตัวเก็บประจุขาเข้าขนาดเล็กได้ อย่างไรก็ตามค่าความเหนี่ยวนำแม่เหล็กที่รั่วไหลของหม้อแปลงจะทำให้เกิดแรงดันยอดแหลมตกคร่อมสวิตช์ จึงไม่นิยมใช้การแปลงผันที่ต้องการกำลังสูง [12]



(ก)



(ข)

รูปที่ 6 (ก) วงจรแปลงผันแบบฟลายแบค

(ข) รูปคลื่นกระแสที่ตำแหน่งต่างๆ ในวงจร

อัตราการแปลงแรงดันของวงจรฟลายแบคในโหมดกระแสต่อเนื่อง [12] เป็นดังนี้

$$\frac{V_{conv}}{V_{PV}} = \frac{D}{1-D} N \quad (5)$$

เมื่อนำวงจรฟลายแบคมาใช้ในการแปลงผันที่ประมวลกำลังบางส่วนตามโครงสร้างของระบบในรูปที่ 6 ค่า K_V สัมพันธ์กับวัฏจักรงาน (D) และสัดส่วนรอบของหม้อแปลง (N) ดังสมการที่ (6)

$$K_V = \frac{D'}{1 + D N - 1} \quad (6)$$

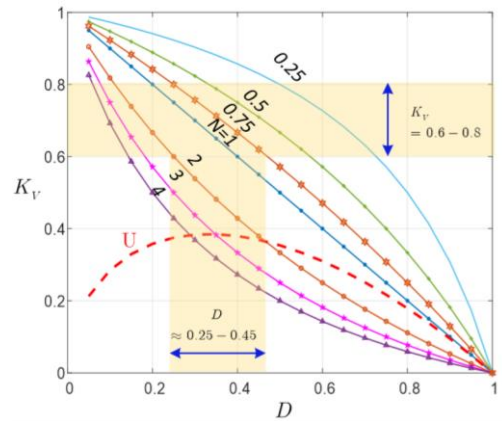
โดย $D' = 1 - D$

จากกราฟในรูปที่ 7 หากกำหนดให้ N เป็นตัวแปรที่สามารถเลือกได้อย่างอิสระ และกำหนดให้ K_V อยู่ระหว่าง 0.6-0.8 ($30 \text{ V} < V_{PV} < 40 \text{ V}$) เมื่อ N มีค่ามากจะ

ทำให้ช่วงวัฏจักรงานของการสวิตช์แคบกว่ากรณีที่ N มีค่าน้อย และเมื่อพิจารณาค่าตัวประกอบการใช้งานสวิตช์ (Switch utilization factor, U) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างกำลังขาออกของวงจรต่อค่าความเค้นที่สวิตช์กำลัง[12]

$$U = D' \sqrt{D} \quad (7)$$

กราฟในรูปที่ 7 แสดงให้เห็นว่าค่า N ที่สูงหรือค่า N ที่ต่ำเกินไปจะส่งผลให้ค่าตัวประกอบการใช้งานสวิตช์มีค่าน้อย จากกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อ N เท่ากับ 0.75 จะทำให้ได้ค่าตัวประกอบการใช้งานสวิตช์สูง ซึ่งเป็นช่วงที่ทำให้การใช้งานสวิตช์กำลังเป็นไปอย่างคุ้มค่า



รูปที่ 7 ช่วงการทำงานที่เหมาะสมสำหรับการแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงที่นำเสนอ

ในการออกแบบหม้อแปลงฟลายแบคจะกำหนดค่าความเหนี่ยวนำทำแม่เหล็ก (Magnetization inductance, L_m) กำหนดให้การกระเพื่อมของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำทำแม่เหล็ก (ΔI_{L_m}) ต่ำกว่า 20% ของค่ากระแสเฉลี่ย (I_{L_m})

$$\Delta I_m = \frac{V_{PV}}{L_m f_s} D \quad (8)$$

$$I_m = \frac{P_{conv}}{D V_{PV}} \quad (9)$$

จากสมการที่ (8) และ (9) ที่ความถี่การสวิตช์ (f_s) 80 kHz ค่าความเหนี่ยวนำทำแม่เหล็กควรจะมีค่าอย่างน้อย $34 \mu\text{H}$ ซึ่งมากกว่าค่าความเหนี่ยวนำต่ำสุดที่วงจรยังทำงานในโหมดกระแสต่อเนื่อง

$$L_{m,\min} = \frac{DK_V V_{bus}^2}{2f_s P_{conv}} = 12 \mu\text{H} \quad (10)$$

การเลือกพิกัดของสวิตช์กำลังและไดโอด จะพิจารณาจากแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมอุปกรณ์ในขณะหยุดนำกระแสและกระแสสูงสุดที่ไหลผ่านอุปกรณ์ในขณะที้นำกระแส

แรงดันสูงสุดที่ตกคร่อมสวิตช์ Q

$$V_{Q,\max} = \frac{N-1}{N} V_{PV} + V_{bus} \quad (11)$$

แรงดันสูงสุดที่คร่อมไดโอด D

$$V_{D,\max} = V_{bus} + N-1 V_{PV} \quad (12)$$

กระแสสูงสุดที่ไหลผ่านสวิตช์ Q

$$I_{Q,\max} = I_{L_m} + \frac{\Delta I_{L_m}}{2} \quad (13)$$

และกระแสสูงสุดที่ไหลผ่านไดโอด D

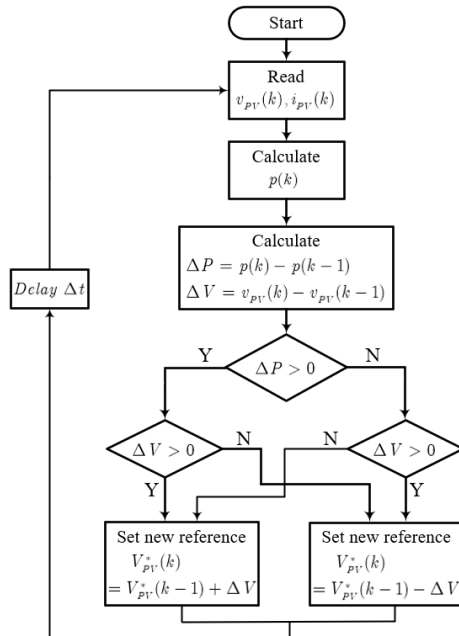
$$I_{D,\max} = \frac{\left(I_{L_m} + \frac{\Delta I_{L_m}}{2} \right)}{N} \quad (14)$$

4. การออกแบบระบบควบคุม

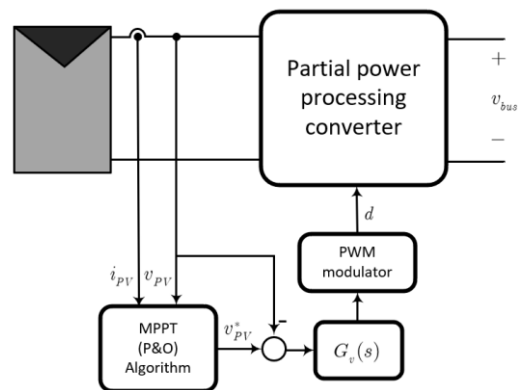
4.1 วิธีการติดตามจุดกำลังสูงสุด

อัลกอริทึมการติดตามจุดกำลังสูงสุดที่แสดงในรูปที่ 8 ใช้วิธีรบกวนและสังเกต (Perturb and observe หรือ P&O) [13] ซึ่งอาศัยการรบกวนระบบด้วยการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (ΔV) แล้วทำการสังเกตกำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไป (ΔP) หากผลของการรบกวนทำให้กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ก็ทำการรบกวนโดยสังเกตเปลี่ยนแปลงค่าตั้งแรงดัน (v_{PV}^*) ใน

ทิศทางเดิมเพื่อให้จุดทำงานเคลื่อนเข้าสู่จุดที่ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด



รูปที่ 8 อัลกอริทึมการติดตามจุดกำลังสูงสุด



รูปที่ 9 ระบบควบคุมสำหรับการติดตาม

จุดให้กำลังสูงสุด

วงรอบควบคุมแรงดันจะทำหน้าที่ควบคุมให้เป็นไปตามแรงดันคำสั่งจากอัลกอริทึมการติดตามจุดกำลังสูงสุดด้วยการเปลี่ยนแปลงวัฏจักรงานของการสวิตช์ ดังรูปที่ 9

4.2 การควบคุมแรงดันแม่เหล็กแปลงอาทิตย์

การออกแบบตัวควบคุมแรงดันจะต้องทราบถึงฟังก์ชันถ่ายโอนระหว่างวัฏจักรงานต่อแรงดันแม่เหล็กแปลงอาทิตย์ ฟังก์ชันการถ่ายโอนดังกล่าวจะทำให้ทราบลักษณะการตอบสนองของระบบ ซึ่งช่วยเลือกช่วงเวลาในการสังเกตค่ากำลังไฟฟ้าหลังจากทำการรบกวนระบบด้วยการเปลี่ยนแปลงวัฏจักรงาน

โครงสร้างวงจรแปลงผันฟลายแบคเปลี่ยนตามสถานะของสวิตช์กำลัง (มอสเฟต) ที่อยู่ในวงจรทำให้เกิดเป็นระบบที่แปรเปลี่ยนตามเวลา (Time-variant system) เมื่อใช้หลักการเฉลี่ยเฉพาะที่ (Local averaging) สามารถพิจารณาเป็นระบบที่ไม่แปรเปลี่ยนตามเวลา (Time-invariant system) ได้ สำหรับวงจรฟลายแบคที่อยู่ในระบบแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบประมวลกำลังบางส่วนตามโครงสร้างในรูปที่ 6(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันที่ตัวเหนี่ยวนำทำแม่เหล็กเป็นดังนี้

$$L_m \frac{d\langle i_m \rangle_{T_s}}{dt} = d\langle v_{PV} \rangle_{T_s} - d' \frac{\langle v_{conv} \rangle_{T_s}}{N} \quad (15)$$

โดย $\langle x(t) \rangle_{T_s} = \frac{1}{T_s} \int_t^{t+T_s} x(\tau) d\tau$ คือ ค่าเฉลี่ยเฉพาะที่ของ

ตัวแปรสถานะ $x(t)$

กระแสขาเข้าของระบบแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง (i_m) เป็นผลรวมของกระแสที่ไหลเข้าวงจร ฟลายแบค (i_i) กับกระแสที่ไหลออกจากวงจรฟลายแบค (i_o)

$$\langle i_m \rangle_{T_s} = \langle i_i \rangle_{T_s} + \langle i_o \rangle_{T_s} \quad (16)$$

โดย $\langle i_i \rangle_{T_s} = d\langle i_m \rangle_{T_s}$ และ $\langle i_o \rangle_{T_s} = d' \frac{\langle i_m \rangle_{T_s}}{N}$

เมื่อแทนที่ตัวแปรต่างๆ ($\langle x \rangle_{T_s}$) ในสมการที่ (15) และ (16) ด้วยผลรวมขององค์ประกอบคงตัว (X) กับองค์ประกอบขนาดเล็ก ($\hat{x}$) จะทำให้สมการที่ไม่เป็นเชิงเส้นสามารถพิจารณาให้เป็นเชิงเส้นรอบๆ จุดทำงานนิ่งสงบ (quiescent operating point) ได้

$$L_m \frac{d\tilde{i}_m}{dt} = D\tilde{v}_{PV} + \left(V_{PV} + \frac{V_{conv}}{N} \right) \tilde{d} - \frac{D'}{N} \tilde{v}_{conv} \quad (17)$$

$$\tilde{i}_m = K_1 \tilde{i}_m + K_2 \tilde{d} \quad (18)$$

โดย $K_1 = D + \frac{D'}{N}$ และ $K_2 = I_m \left(1 + \frac{1}{N} \right)$

โดยสมการที่ (17) และ (18) ได้ละเลขเทอมที่เป็นผลคูณระหว่างองค์ประกอบขนาดเล็ก

เนื่องจากแรงดันที่บัสไฟตรงถูกควบคุมให้คงที่โดยอินเวอร์เตอร์ดังนั้น

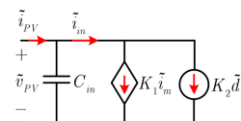
$$\tilde{v}_{conv} = -\tilde{v}_{PV} \quad (19)$$

ทำให้สมการที่ (17) เปลี่ยนเป็นดังนี้

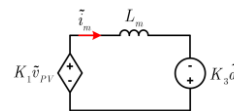
$$L_m \frac{d\tilde{i}_m}{dt} = K_1 \tilde{v}_{PV} + K_3 \tilde{d} \quad (20)$$

โดย $K_3 = V_{PV} + \frac{V_{conv}}{N}$

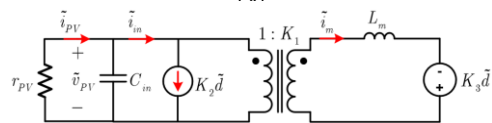
สมการที่ (18) และ (20) สามารถเขียนเป็นวงจรสมมูลสัญญาณขนาดเล็ก (Small-signal model) ได้ดังรูปที่ 10 (ก) และ (ข) ตามลำดับ และสามารถเชื่อมต่อกันทั้งสองเข้าด้วยกันโดยแทนแหล่งจ่ายไม่อิสระด้วยหม้อแปลงที่มีอัตราส่วน 1: K_1 ดังรูปที่ 10 (ค)



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 10 สมมูลสัญญาณขนาดเล็ก

(ก) กระแสด้านเข้า

(ข) วงรอบตัวเหนี่ยวนำ L_m

(ค) การเชื่อมโยงวงจรสอง วงจรเข้าด้วยกันผ่านหม้อแปลง

สำหรับสมมูลสัญญาณขนาดเล็กของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์จะพิจารณาจากปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงกระแสที่จ่ายออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งขึ้นอยู่กับ 3 ปัจจัยได้แก่ แรงดันไฟฟ้าของโมดูล อุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ (T_{cell}) และความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่โมดูลได้รับ (G)

$$\tilde{i}_{PV} = \frac{\partial i_{PV}}{\partial v_{PV}} \tilde{v}_{PV} + \frac{\partial i_{PV}}{\partial T_{cell}} \tilde{T}_{cell} + \frac{\partial i_{PV}}{\partial G} \tilde{G} \quad (21)$$

เมื่อสมมติว่าที่สภาวะชั่วขณะหนึ่งอุณหภูมิเซลล์และความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่แผงมีค่าคงที่ และพิจารณาหาการเปลี่ยนแปลงของกระแสต่อการเปลี่ยนแปลงแรงดันบริเวณจุดกำลังสูงสุด

$$\tilde{i}_{PV} = \left. \frac{\partial i_{PV}}{\partial v_{PV}} \right|_{mpp} \tilde{v}_{PV} \quad (22)$$

เนื่องจากที่จุดกำลังสูงสุดการเปลี่ยนแปลงกำลังต่อการเปลี่ยนแปลงแรงดันเท่ากับศูนย์

$$\left. \frac{\partial p_{PV}}{\partial v_{PV}} \right|_{mpp} = I_{mpp} + V_{mpp} \left. \frac{\partial i_{PV}}{\partial v_{PV}} \right|_{mpp} = 0 \quad (23)$$

ดังนั้น

$$\left. \frac{\partial i_{PV}}{\partial v_{PV}} \right|_{mpp} = \frac{\tilde{i}_{PV}}{\tilde{v}_{PV}} = -\frac{I_{mpp}}{V_{mpp}} \quad (24)$$

จากสมการที่ (24) สามารถแทนพฤติกรรมสัญญาณขนาดเล็กของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำงานรอบๆ จุดกำลังสูงสุดด้วยความต้านทานสมมูล r_{PV} ดังรูปที่ 10(ค)

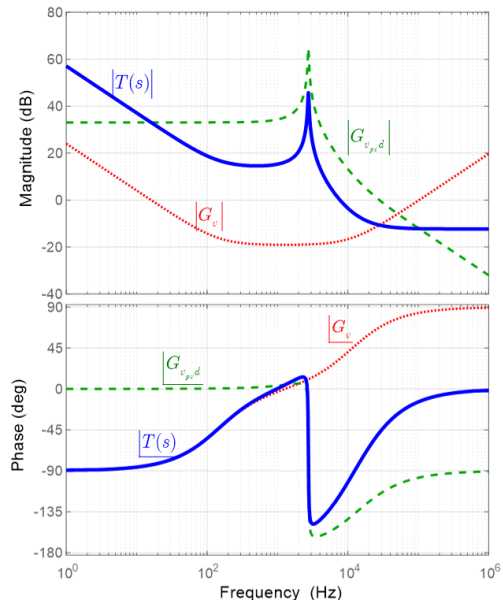
$$r_{PV} = \frac{V_{mpp}}{I_{mpp}} \quad (25)$$

จากรูปที่ 10(ค) ทำการวิเคราะห์หาฟังก์ชันถ่ายโอนระหว่างวัฏจักรงานต่อแรงดันแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้ทฤษฎีการทับซ้อน (Superposition)

$$G_{v_{pv,d}}(s) = \frac{\tilde{v}_{PV}(s)}{\tilde{d}(s)} = -\frac{K_2}{C_{in}} \frac{s + \frac{K_1 K_3}{K_2 L_m}}{s^2 + \frac{1}{r_{pv} C_{in}} s + \frac{K_1^2}{L_m C_{in}}} \quad (26)$$

ตารางที่ 2 พารามิเตอร์ในวงจรหลายแบบที่ออกแบบ

Switching frequency	80 kHz
Transformer Turn ratio	1 : N = 1 : 0.75
Magnetization inductance	$L_m = 50 \mu\text{H}$
Input capacitor	$C_{in} = 100 \mu\text{F}$
$K_1 = 1.22$	$K_2 = 15.7$
$K_3 = 54.9$	$r_{PV} = 4.32$



รูปที่ 11 ผลตอบสนองเชิงความถี่ของฟังก์ชันถ่ายโอน

$$G_{v_{pv,d}}(s), G_v(s) \text{ และ } T(s)$$

เมื่อแทนค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ตามตารางที่ 1 และ 2 ลงในสมการที่ (26) จะได้กราฟผลตอบสนองเชิงความถี่ของฟังก์ชันถ่ายโอน $G_{v_{pv,d}}(s)$ ดังรูปที่ 11 จากนั้นทำการออกแบบตัวควบคุมแรงดัน $G_v(s)$ เพื่อให้ฟังก์ชันถ่ายโอนวงเปิด (Loop transfer function) ดังสมการ

$$T(s) = G_v(s)G_{v_{pid}}(s) \quad (27)$$

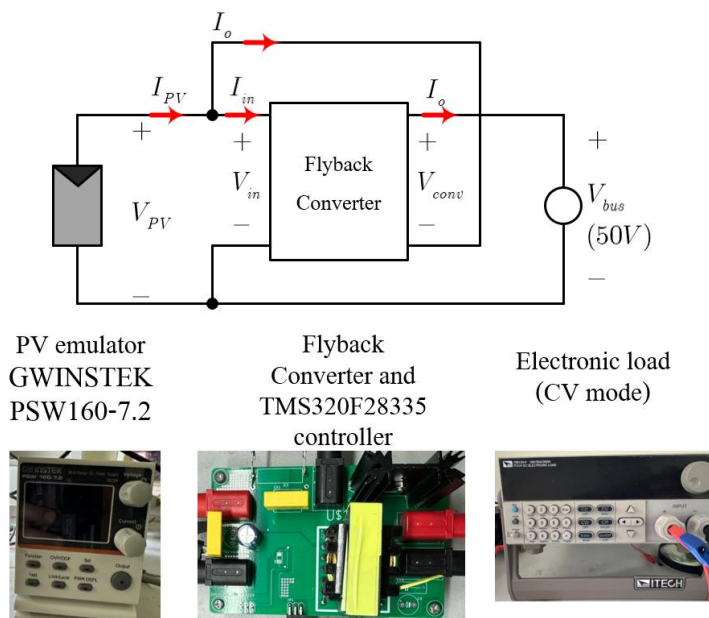
$$G_v(s) = -100 \frac{1 + 0.0011s}{s} \frac{1 + 0.000014s}{s} \quad (28)$$

เกิดความถี่ตัดผ่าน (crossover frequency) เท่ากับ 8 kHz ซึ่งเป็น 1 ใน 10 ของความถี่การสวิตช์ และมีค่าเฟอุมมเฟส (phase margin) 60 องศา โดยตัวควบคุมแรงดันที่ใช้มีฟังก์ชันถ่ายโอนดังนี้

5. ผลการทดลอง

การทดลองเพื่อตรวจสอบการทำงานของระบบแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบประมวลกำลังบางส่วนด้วยวงจรฟลายแบคที่นำเสนอ จะเริ่มจากการทดสอบเพื่อหา

ช่วงเวลาตอบสนองของวงรอบควบคุมแรงดันเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันอ้างอิงแบบขั้น การตรวจสอบอัลกอริทึมในการติดตามจุดให้กำลังสูงสุด การวิเคราะห์สัดส่วนการประมวลพลังงานและประสิทธิภาพของระบบแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง



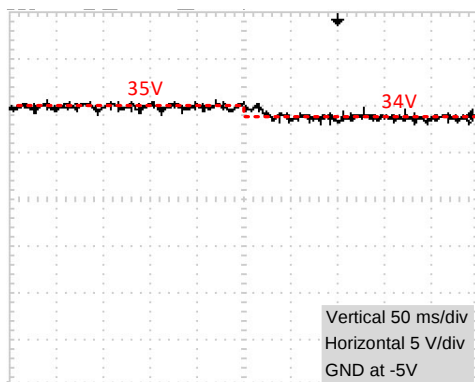
รูปที่ 12 อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบทดสอบ

อุปกรณ์หลักที่ใช้ในระบบทดสอบแสดงดังรูปที่ 12 ประกอบไปด้วยการแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบโปรแกรมได้อี่ห้อ GWINSTEK รุ่น PSW160-7.2 ที่สามารถปรับตั้งให้มีคุณลักษณะการจ่ายกระแสและแรงดันเสมือนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ผ่านทางโปรแกรม PTS PVMain วงจรฟลายแบคที่ควบคุมด้วยตัว

ประมวลผลแบบดิจิทัล TMS320F28335 และโหลดอิเล็กทรอนิกส์ทำงานในโหมดแรงดันคงที่ (Constant Voltage mode หรือ CV) เพื่อใช้จำลองเป็นบัสไฟตรงที่ถูกควบคุมด้วยวงรอบการควบคุมแรงดันของอินเวอร์เตอร์

5.1 ผลตอบสนองของวงจรควบคุมแรงดัน

การติดตามจุดให้กำลังสูงสุดของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยวิธีการรบกวนและสังเกต จำเป็นที่ต้องทราบถึงช่วงเวลาการตอบสนองของวงจรควบคุมแรงดัน เพื่อใช้กำหนดช่วงเวลาในการสังเกตการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตหลังจากการสั่งให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแรงดันของโมดูล

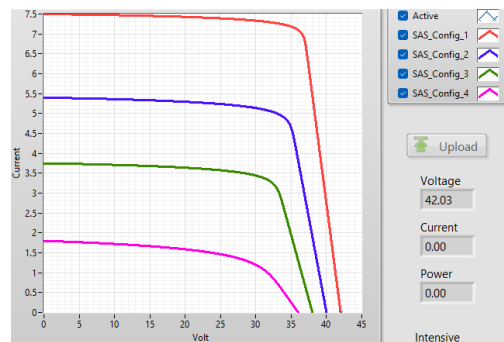


รูปที่ 13 ผลตอบสนองของวงจรควบคุมแรงดันโมดูลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าตั้งแรงดันจาก 35V ไปเป็น 34V

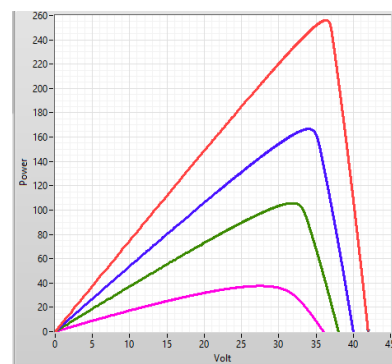
รูปที่ 13 แสดงผลการทดสอบเมื่อกำหนดให้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์มี $V_{mpp} = 36\text{ V}$ และ $I_{mpp} = 7\text{ A}$ และทำการเปลี่ยนแปลงค่าตั้งแรงดันจาก 35V เป็น 34V ซึ่งจะสังเกตเห็นว่าแรงดันของโมดูลลดลงเข้าสู่สภาวะคงตัวในเวลาน้อยกว่า 50 มิลลิวินาที ดังนั้นจึงกำหนดช่วงเวลารบกวนและสังเกตเป็น 200 มิลลิวินาทีต่อครั้ง

5.2 การติดตามจุดให้กำลังสูงสุด

อัลกอริทึมในการติดตามให้กำลังสูงสุดด้วยวิธีการรบกวนและสังเกตได้ถูกทดสอบกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่ทำงานเสมือนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ โดยตั้งค่ากราฟคุณลักษณะกระแส-แรงดันให้เหมือนการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงอาทิตย์ที่แตกต่างกัน 4 แบบ ดังรูปที่ 14



(ก)



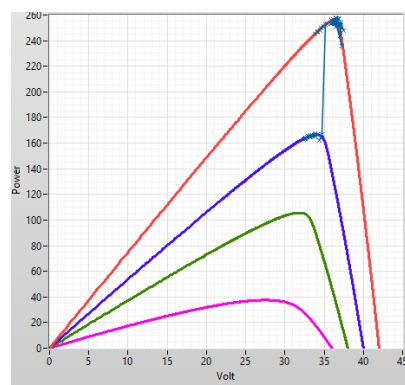
(ข)

รูปที่ 14 หน้าต่างโปรแกรม PTS PVMain ที่ใช้กำหนดคุณลักษณะทางไฟฟ้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์

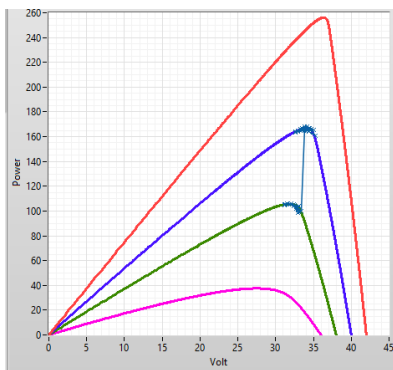
แตกต่างกัน 4 รูปแบบ

(ก) กระแส-แรงดัน และ

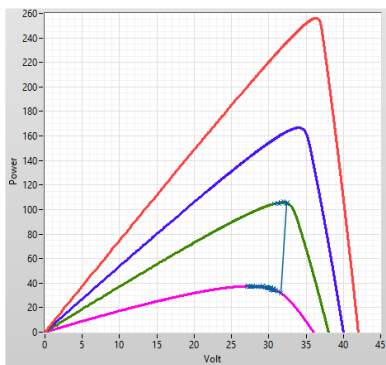
(ข) กำลัง-แรงดัน



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 15 การเคลื่อนที่ของจุดทำงานบนเส้นกราฟกำลัง-แรงดัน เมื่อเกิดการเปลี่ยนกราฟคุณลักษณะทางไฟฟ้าของโมดูลแบบฉับพลัน

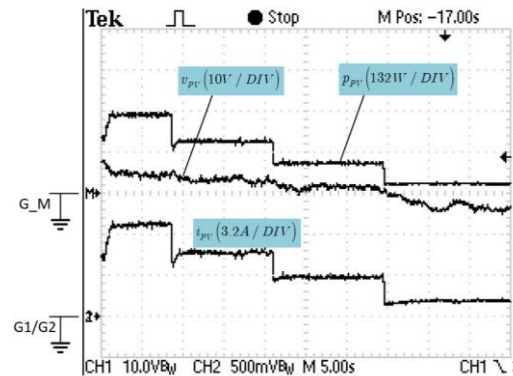
(ก) SAS_Config1 ไปยัง SAS_Config2

(ข) SAS_Config2 ไปยัง SAS_Config3

(ค) SAS_Config3 ไปยัง SAS_Config4

รูปที่ 15 แสดงการเคลื่อนที่ของจุดทำงานบนกราฟคุณลักษณะกำลัง-แรงดัน ของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ บนหน้าต่างของโปรแกรม PTS PVMMain ที่ใช้กำหนดกราฟคุณลักษณะทางไฟฟ้าของโมดูล โดยโปรแกรมสามารถแสดงจุดทำงานที่สภาวะจริง (Active) ซึ่งจะช่วยให้ทราบถึงลักษณะการเคลื่อนที่ของจุดทำงานและความถูกต้องของอัลกอริทึมในการติดตามจุดกำลังสูงสุด

โดยเมื่อทดลองเปลี่ยนกราฟคุณลักษณะจากเส้นกราฟที่ให้กำลังผลิตสูงไปยังเส้นกราฟที่ กำลังผลิตต่ำกว่าแบบฉับพลัน จะเห็นได้ว่าระบบสามารถค้นหาจุดกำลังสูงสุดค่าใหม่ได้อย่างถูกต้อง

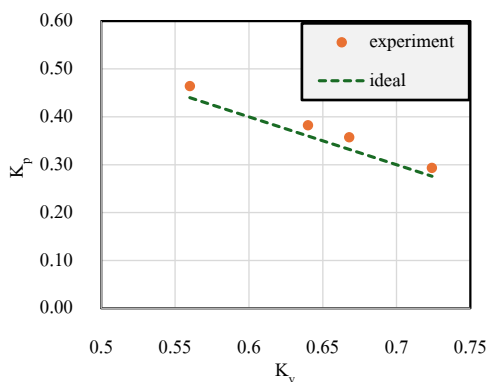


รูปที่ 16 ลักษณะกระแส แรงดันและกำลัง ของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ในช่วงที่เกิดการเปลี่ยนแปลงเส้นกราฟคุณลักษณะทางไฟฟ้าของโมดูล

รูปที่ 16 แสดงลักษณะกระแสและแรงดันของโมดูลที่ตรวจวัดด้วยออสซิลโลสโคป โดยเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงเส้นกราฟแบบฉับพลันจะสังเกตเห็นว่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จะตกลงมาต่ำในช่วงแรกเนื่องจากจุดทำงานไม่ตรงกับจุดกำลังสูงสุดใหม่ จากนั้นเมื่ออัลกอริทึมติดตามจุดกำลังสูงสุดทำการรบกวนและสังเกตเพื่อค้นหาจุดกำลังสูงสุด แรงดันที่โมดูลจึงค่อยๆ ลดลงเพื่อเคลื่อนที่ไปยังจุดกำลังสูงสุดใหม่ ทำให้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้เพิ่มมากขึ้น โดยมีช่วงเวลาในการค้นหาจุดกำลังสูงสุดใหม่ได้ภายในเวลา 1 วินาที และระบบยังคงทำงานที่บริเวณจุดกำลังสูงสุดใหม่นี้จนกว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงเส้นกราฟคุณลักษณะทางไฟฟ้าของโมดูลอีกครั้ง

5.3 สัดส่วนการประมวลกำลัง

การหาสัดส่วนกำลังไฟฟ้าที่ถูกประมวลผ่านวงจรฟลายแบคต่อกำลังไฟฟ้าที่โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ทำได้โดยการวัดค่าเฉลี่ยของกระแสและแรงดันที่ตำแหน่งโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ (V_{PV} และ I_{PV}) และที่ตำแหน่งบัสไฟตรง (V_{bus} และ I_o) ขณะวงจรทำงานที่สภาวะคงตัว ณ ตำแหน่งกำลังสูงสุด ของแต่ละเส้นกราฟคุณลักษณะตามรูปที่ 14

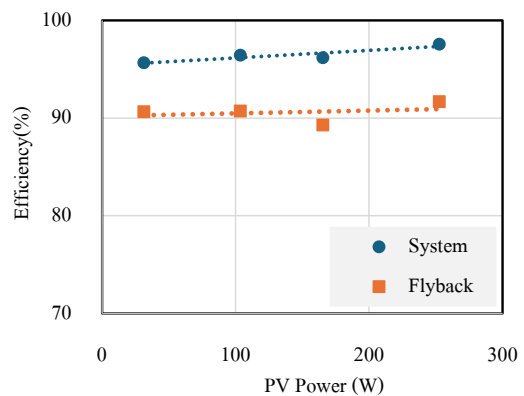


รูปที่ 17 สัดส่วนกำลังไฟฟ้าที่ถูกประมวลผ่านวงจรฟลายแบคที่ค่าอัตราส่วนแรงดันระหว่างโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ต่อแรงดันที่บัสไฟตรงต่างๆ กัน

รูปที่ 17 แสดงให้เห็นแนวโน้มที่สอดคล้องกันระหว่างเส้นกราฟในอุดมคติ (เส้นประ) กับผลการทดลอง โดยเมื่ออัตราส่วนแรงดันระหว่างโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ต่อแรงดันที่บัสไฟตรงมีค่าสูงขึ้นกำลังไฟฟ้าที่ถูกประมวลผ่านวงจรฟลายแบคจะมีค่าลดลง โดยปกติเมื่อความเข้มแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงมากแรงดัน ณ จุดกำลังสูงสุดของโมดูลจะมีค่าสูงกว่ากรณีที่มีความเข้มแสงน้อย [1] ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าสัดส่วนกำลังไฟฟ้าที่ถูกประมวลผ่านวงจรฟลายแบคจะมีค่าลดลงในสภาวะที่โมดูลสามารถผลิตไฟฟ้าได้มาก

5.4 ประสิทธิภาพ

การวิเคราะห์ด้านประสิทธิภาพได้ทำการตรวจวัดทั้งประสิทธิภาพของวงจรฟลายแบคและประสิทธิภาพรวมของระบบแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงขณะวงจรทำงานที่สภาวะคงตัว ณ ตำแหน่งกำลังสูงสุดของแต่ละเส้นกราฟคุณลักษณะทางไฟฟ้าตามรูปที่ 14



รูปที่ 18 ประสิทธิภาพของวงจรฟลายแบคและประสิทธิภาพรวมของระบบแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบประมวลกำลังบางส่วน

รูปที่ 18 แสดงให้เห็นการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพของระบบแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงเมื่อใช้เทคนิคการประมวลกำลังบางส่วน โดยวงจรฟลายแบคมีประสิทธิภาพประมาณ 90 % แต่ประสิทธิภาพรวมของระบบแปลงผันไฟตรงอยู่ที่ 95-97% ซึ่งมีค่าสูงเทียบเท่าอุปกรณ์ที่จำหน่ายในเชิงพาณิชย์ที่พิกัดกำลังใกล้เคียงกัน [14] ประสิทธิภาพรวมของระบบมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อโมดูลผลิตกำลังไฟฟ้าได้มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องตามสมการที่ (4) เมื่อ K_p มีค่าน้อยซึ่งจะเกิดขึ้นในกรณีที่โมดูลผลิตกำลังได้มาก จะทำให้ประสิทธิภาพของระบบสูงขึ้น

6.สรุปผล

บทความนี้ได้นำเสนอการออกแบบและสร้างต้นแบบวงจรแปลงผันไฟตรงที่ประมวลกำลังบางส่วนบนพื้นฐานของวงจรฟลายแบ็กเพื่อใช้งานในการติดตามจุดกำลังสูงสุดของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการติดตามจุดกำลังสูงสุดยังคงทำงานถูกต้องด้วยเทคนิคการจัดการกำลังบางส่วนและสามารถทำให้ประสิทธิภาพของระบบแปลงผันไฟตรงมีประสิทธิภาพสูง ซึ่งระบบที่นำเสนอสามารถพัฒนาให้ใช้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีพิกัดกำลังต่อแผงสูงขึ้นอย่างมากในอนาคตได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] J. Zapata, S. Kouro, G. Carrasco, and T. Meynard, “Step-Down Partial Power DC-DC Converters for Two-Stage Photovoltaic String Inverters,” *Electronics (Basel)*, vol. 8, p. 87, Mar. 2019.
- [2] H. S. Moreira, T. P. e Oliveira, M. V. G. dos Reis, J. F. Guerreiro, M. G. Villalva, and T. G. de Siqueira, “Modeling and simulation of photovoltaic systems under non-uniform conditions,” in *Proc. 2017 IEEE 8th International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG)*, 2017, pp. 1–6.
- [3] C. Saiprakash, A. Mohapatra, A. Manna, and A. Nandi, “Hybrid Array Configurations to Reduce Mismatch Loss of a PV Array under Partial Shading Conditions,” in *Proc. 2022 International Conference on Intelligent Controller and Computing for Smart Power (ICICCS)*, 2022, pp. 1–6.
- [4] A. M. Sadati, S. Krauter, and J. Bendfeld, “Comparison of micro inverters based on practical analysis,” in *Proc. 2015 5th International Youth Conference on Energy (IYCE)*, 2015, pp. 1–6.
- [5] J. S. Koh, R. H. G. Tan, W. H. Lim, and N. M. L. Tan, “A Modified Particle Swarm Optimization for Efficient Maximum Power Point Tracking Under Partial Shading Condition,” *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. 14, no. 3, pp. 1822–1834, 2023.
- [6] M. Tahmasbi-Fard, M. Tarafdar-Hagh, S. Pourpayam, and A.-A. Haghrah, “A Voltage Equalizer Circuit to Reduce Partial Shading Effect in Photovoltaic String,” *IEEE Journal of Photovoltaics*, vol. 8, no. 4, pp. 1102–1109, 2018.
- [7] Y. Nimni and D. Shmilovitz, “A returned energy architecture for improved photovoltaic systems efficiency,” in *Proc. 2010 IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, 2010, pp. 2191–2194.
- [8] H. Deboucha, M. Kermadi, S. Mekhilef, and S. L. Belaid, “Voltage Track Optimizer Based Maximum Power Point Tracker Under Challenging Partially Shaded Photovoltaic Systems,” *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 36, no. 12, pp. 13817–13825, 2021.
- [9] S.-M. Chen, T.-J. Liang, and K.-R. Hu, “Design, Analysis, and Implementation of Solar Power Optimizer for DC Distribution System,” *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 28, no. 4, pp. 1764–1772, 2013.

- [10] B. Allahverdinejad and A. Ajami, “Analyses of a Flyback Based Solar Power Optimizer and its behaviour in a PV system,” in *Proc. 2025 16th Power Electronics, Drive Systems, and Technologies Conference (PEDSTC)*, 2025, pp. 1–5.
- [11] J. L. de Souza Silva, H. S. Moreira, D. B. de Mesquita, M. M. Cavalcante, and M. G. Villalva, “Modular Architecture with Power Optimizers for Photovoltaic Systems,” in *Proc. 2019 International Conference on Smart Energy Systems and Technologies (SEST)*, 2019, pp. 1–6.
- [12] R. W. and M. D. Erickson, *Fundamentals of Power Electronics* 2ed., Springer, 2001.
- [13] T. Esmar and P. L. Chapman, “Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques,” *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 22, no. 2, pp. 439–449, 2007.
- [14] R. C. N. Pilawa-Podgurski and D. J. Perreault, “Sub-module integrated distributed maximum power point tracking for solar photovoltaic applications,” in *Proc. 2012 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, 2012, pp. 4776–4783.

ประวัติผู้ประพันธ์ :



ผศ.ดร.โชคชัย ชื่นวัฒนาประณีต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยบูรพา
งานวิจัยที่สนใจ: ระบบผลิต
ไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์และ
การประยุกต์ใช้วงจร
อิเล็กทรอนิกส์กำลัง



ผศ.ดร.มันทนา รังติโยภาส
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยบูรพา
งานวิจัยที่สนใจ: เทคโนโลยี
พลังงานและระบบทางความร้อน

การใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการออกแบบและประมาณราคา ทางด้านวิศวกรรมทางหลวง Utilizing Software for Model Development and Cost Estimation in Highway Engineering

สุวิมล เจียรธรวานิช^{1*}, ธรรมมา เจียรธรวานิช² และ สิริชัย เพชรรุ่ง²

Suwimol Jairtalawanich^{1*}, Thamma Jairtalawanich² and Sirichai Pethrung²

^{1*}ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

2 ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพฯ ประเทศไทย

²ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

2 ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพฯ ประเทศไทย

ผู้นิพนธ์ประสานงาน : Suwimol.J@mail.rmutk.ac.th

วันที่รับบทความ: 22 กุมภาพันธ์ 2568 / วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 : 26 มีนาคม 2568 / วันที่ตอบรับการตีพิมพ์: 29 พฤษภาคม 2568

วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 2 : 9 เมษายน 2568

วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 3 : 23 พฤษภาคม 2568

บทคัดย่อ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและใช้โปรแกรมออกแบบและประมาณราคาทางด้านงานทาง โดยใช้โปรแกรม Blender สำหรับการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ และโปรแกรม Road Price สำหรับประมาณราคา ใช้กรณีศึกษาด้วยโครงการปรับปรุงถนนจากสำนักงานโยธาธิการและผังเมืองจังหวัดยะลา จากการศึกษพบว่าร้อยละความแตกต่างระหว่างการประมาณราคาก่อสร้างที่ได้จากโปรแกรม และการประมาณราคาด้วยการคำนวณแบบปกติอยู่ที่ร้อยละ 1.36 จะพบว่าการใช้โปรแกรมให้ค่าประมาณราคาที่ใกล้เคียงกับราคาในการก่อสร้างจริงมากกว่า นอกจากนี้หากมีการแก้ไขสามารถคำนวณใหม่ได้สะดวกกว่าและประหยัดเวลาได้มาก พบว่าสามารถลดเวลาการทำงานได้ลงร้อยละ 69.57 การพัฒนาโปรแกรมออกแบบและประมาณราคาให้เชื่อมโยงกันให้ความคลาดเคลื่อนน้อย และใช้ประโยชน์โปรแกรมในการเลือกหรือเปลี่ยนวัสดุ ในกรณีที่ต้นทุนของโครงการเกินจากงบประมาณที่ตั้งไว้ได้ และนำเสนอข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่า ซึ่งพบว่าความพึงพอใจของผู้ปฏิบัติงานมีค่าความพึงพอใจเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจากคะแนน 3.04 ระดับปานกลาง เป็น 4.16 ระดับมาก เพิ่มขึ้น 1.12 คะแนน หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 36.84

คำสำคัญ : การออกแบบ, วิศวกรรมทาง, ความคลาดเคลื่อน, ประมาณราคา

Abstract This research aims to study and utilize software for the design and cost estimation of roadworks by using Blender for 3D modeling and Road Price for cost estimation. A case study was conducted on a road improvement project from the Yala Provincial Office of Public Works and Town & Country Planning. The findings revealed that the percentage difference

between the construction cost estimated using the software and the conventional calculation method was 1.36%. This indicates that the software provides cost estimates that closely align with the actual construction costs. Moreover, revisions can be made and recalculated more conveniently and quickly, reducing the working time by 69.57%. The development of integrated design and cost estimation software minimizes errors and enables users to select or change materials in cases where project costs exceed the set budget. It also enhances the effectiveness of data presentation. The satisfaction level of practitioners increased from an average score of 3.04 (moderate level) to 4.16 (high level), an increase of 1.12 points or 36.84%.

Keywords: Design, Highway Engineering, Tolerance, Cost Esitimated

1. บทนำ

การออกแบบงานทางและการประมาณราคา เพื่อความปลอดภัยและประหยัดงบประมาณให้มากที่สุด ในการประมาณราคา พบปัญหาที่เกิดขึ้นบ่อยเป็นลำดับต้นๆของหลายองค์กรที่เกี่ยวกับงานก่อสร้าง คือการประมาณราคาที่ไม่แม่นยำ ไม่มีประสิทธิภาพ เช่น การกำหนดวัสดุที่มากเกินไปเกินไป จึงเป็นการสิ้นเปลืองงบประมาณของโครงการ หรือการกำหนดวัสดุน้อยเกินไป ทำให้วัสดุขาดแคลนจึงเป็นการสิ้นเปลืองเวลาในการดำเนินงานใหม่ เพื่อลดปัญหาในการประมาณราคาที่ไม่มีประสิทธิภาพ เป็นอีกหนึ่งแนวทางด้วยการใช้โปรแกรม Blender และ Road Price เป็นโปรแกรมสำหรับสร้างแบบจำลอง 3D จากสิ่งปลูกสร้าง และโปรแกรมประมาณราคาถนน ที่มีความง่ายและแม่นยำต่อการใช้งานจากการประมาณราคาจากแบบ 3D เสมือนจริง และวิศวกรสามารถนำไปใช้งานได้ โดยส่วนใหญ่จะถูกนำมาใช้ในงานประมาณราคา วิศวกรรมทาง [1,2] จากงานวิจัยเรื่อง การพัฒนาโปรแกรมสำหรับออกแบบผิวทางถนนคอนกรีตด้วยภาษาไพทอน พบว่าผลการวิเคราะห์ที่ถือว่ายอดเยี่ยมเนื่องจากความล้ำค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ของความ

คลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เท่ากับ 3.62 ส่วนการวิเคราะห์การสึกกร่อนมีค่าเท่ากับ 1.24 ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการออกแบบด้วยโปรแกรมจะให้ผลการวิเคราะห์ที่แม่นยำกว่าการประมาณค่าจากกราฟการออกแบบ [3] โดยงานวิจัยดังกล่าวได้ใช้โปรแกรม โดยให้ความสำคัญกับการออกแบบงานทางเป็นหลัก และจากงานวิจัยเรื่อง การประยุกต์ใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคาร 5 มิติ เพื่อปรับปรุงการลดปริมาณงานกรณีศึกษาโครงการก่อสร้างอาคารเรียนรู้และปฏิบัติการ 4 ชั้น พบว่าการประยุกต์ใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคาร 5 มิติเพื่อการลดปริมาณงานของโครงการก่อสร้างสามารถลดระยะเวลาในการทำงาน ตรวจสอบความถูกต้องของแบบก่อสร้างลดข้อผิดพลาดจากการลดปริมาณงานสนับสนุนและเพิ่มความเข้าใจในการทำงานของผู้ประมาณราคาได้เป็นอย่างดีเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการวัดปริมาณงานก่อสร้างแบบเดิมจากการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างปริมาณงานจากโปรแกรม Autodesk Revit และ บัญชีแสดงปริมาณวัสดุและราคา (BOQ)พบว่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเฉลี่ยของงานโครงสร้าง งานสถาปัตยกรรม และงานสุขาภิบาลมีค่าน้อยกว่า 2.69%, 4.12% และ 8.43% ตามลำดับสามารถสรุปได้

ว่าปริมาณงานจากโปรแกรม Autodesk Revit มีความแม่นยำมากกว่าเนื่องจากวิธีการวัดปริมาณงานก่อสร้างแบบเดิมมีการวัดปริมาณงานซ้ำซ้อน เช่นการวัดปริมาณงานคอนกรีตโครงสร้างประกอบด้วยงานคอนกรีตพื้นคานและเสาโดยที่โครงสร้างทั้ง 3 ส่วนซ้อนทับกันทำให้การวัดปริมาณงานซ้ำซ้อนแตกต่างกับปริมาณงานจากโปรแกรม Autodesk Revit ที่วัดปริมาณงานเฉพาะโครงสร้างแต่ละส่วน [4] แต่ในงานวิจัยชิ้นนี้ มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาคือ เพื่อศึกษาและใช้โปรแกรมออกแบบและประมาณราคาทางด้านงานทาง เพื่อให้สอดคล้องกับวิธีการดำเนินงาน

ดังนั้นทางคณะผู้วิจัยจึงได้มีความประสงค์จัดทำการศึกษา การใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการพัฒนารูปแบบและประมาณราคาทางด้านงานทางเพื่อสร้างความแม่นยำและมีประสิทธิภาพให้กับการประมาณราคาทางด้านงานทาง และประหยัดเวลาในการทำงานของวิศวกรต่อไป

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 โปรแกรมที่ใช้ในการศึกษา

โปรแกรม Blender เป็นซอฟต์แวร์สำหรับการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ คุณสมบัติของโปรแกรม Blender มีจุดเด่น เช่น เป็นโปรแกรมที่ใช้ทรัพยากรระบบน้อย พื้นที่ในการติดตั้งน้อย ติดตั้งง่ายใช้เวลาน้อย สร้างงานได้หลากหลายรูปแบบ สามารถทำงานได้หลายแพลตฟอร์ม เช่น Microsoft Windows, Mac OS, Linux และโปรแกรม Blender เป็น OpenSource อีกด้วย ส่วนโปรแกรม Road Price เป็นโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาจาก Microsoft Excel + VBA (Visual Basic for Application) ถูกออกแบบโดย วิศวกร

พงษ์สิทธิศักดิ์ เพื่อใช้สำหรับการประมาณราคา, คำนวณราคากลางงานทาง ตามหลักเกณฑ์การคำนวณราคากลางงานก่อสร้างทาง สะพาน และท่อเหลี่ยม ซึ่งเป็นโปรแกรมที่สามารถประมาณราคาและคำนวณราคากลางงานทางได้ ช่วยอำนวยความสะดวกและย่นระยะเวลาในการคำนวณการประมาณราคาได้ และได้รับการพัฒนาจากผู้ออกแบบตลอด มีข้อมูลวัสดุก่อสร้าง และบัญชีค่าแรงล่าสุดให้ประกอบการคำนวณ

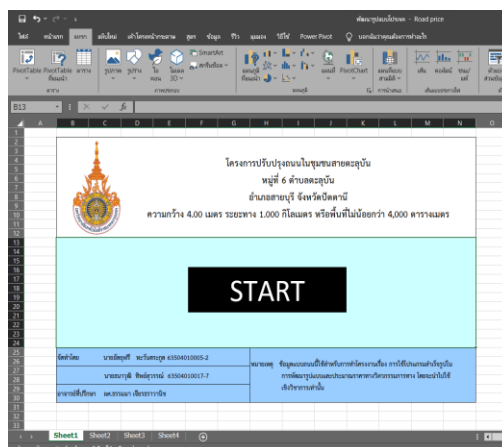
2.2. วิธีการดำเนินงาน

2.2.1 รวบรวมข้อมูล และจัดทำกรออกแบบและประมาณราคา

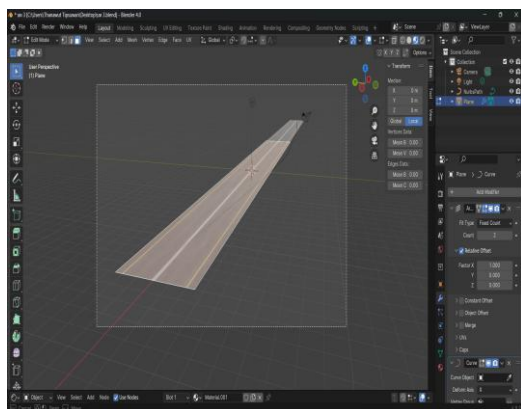
นำตัวอย่างการศึกษาแบบโครงการปรับปรุงถนนที่ได้ความอนุเคราะห์ข้อมูลในการทำวิจัยจากสำนักงานโยธาธิการและผังเมืองจังหวัดยะลา เพื่อนำข้อมูลถนนชุดนี้มาใช้ประมาณราคาในโปรแกรม Road Price เช่น รายละเอียดโครงการ, รายละเอียดโครงสร้างทาง และรายละเอียดการเสริมเหล็ก ในส่วนของราคาค่าวัสดุและบัญชีค่าแรงเพื่อนำไปคำนวณใน BOQ นั้น ผู้วิจัยอ้างอิงจากกรมบัญชีกลางในปี พ.ศ. 2566 จากนั้นทำการออกแบบสามมิติด้วยโปรแกรม Blender [5] เพื่อนำมาพัฒนารูปแบบโปรแกรมให้ใช้งานง่ายมากขึ้น ลดเวลาในการทำงานและมีประสิทธิภาพมากกว่าการคำนวณปกติ การนำข้อมูลที่ได้มากรอกรายละเอียดในโปรแกรม Road Price ดังแสดงในรูปที่ 1 และการออกแบบถนนสามมิติในโปรแกรม Blender ดังแสดงในรูปที่ 2



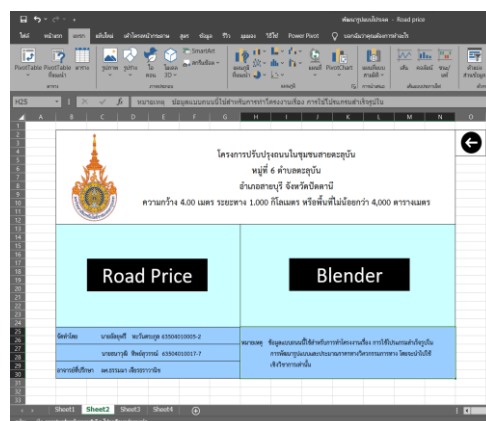
รูปที่ 1 การกรอกรายละเอียดใน
โปรแกรม Road Price



รูปที่ 3 การพัฒนารูปแบบในขั้นตอนที่ 1



รูปที่ 2 การออกแบบถนนสามมิติใน
โปรแกรม Blender



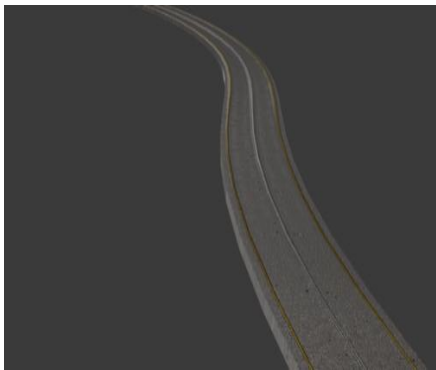
รูปที่ 4 การพัฒนารูปแบบในขั้นตอนที่ 2

2.2.2 การพัฒนารูปแบบและประมาณราคาทางด้าน วิศวกรรมการทาง

โดยการพัฒนารูปแบบโปรแกรมด้วย Microsoft Excel ใช้รายละเอียดโครงการให้ครบถ้วน คลิก “Start” เพื่อเข้าสู่หน้าต่างต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 3 และสามารถดูข้อมูลการประมาณราคาด้วยการคลิก “Road Price” และคลิกดูแบบภาพถนนจำลองสามมิติด้วยการคลิกที่ “Blender” ดังแสดงในรูปที่ 4

ในการพัฒนารูปแบบโปรแกรมโดยใช้โปรแกรม Road Price ในการประมาณราคา, โปรแกรม Blender สำหรับงานออกแบบสามมิติ เพื่อพัฒนารูปแบบโปรแกรมให้ใช้งานง่าย สะดวก และมีประสิทธิภาพมากกว่าการคำนวณแบบปกติ ในส่วนของโปรแกรม Road Price เมื่อกรอกรายละเอียดต่างๆ และประมาณราคาในโปรแกรมเสร็จสิ้น โปรแกรมสามารถส่งออกไฟล์เอกสารทางราชการได้ เอกสารที่สามารถส่งออกจากโปรแกรมได้มีทั้งหมด 12 รายการ ตัวอย่างเช่น ตารางแสดงวงเงินงบประมาณ บก 01,

แบบสรุปราคากลางงานทาง ป.ร 5, แบบสรุปราคากลางงานทาง BOQ และรายละเอียดการคำนวณค่างานต้นทุนต่อหน่วย [6] ในส่วนของโปรแกรม Blender สามารถ Render ภาพสามมิติจากโปรแกรมที่ได้ได้ออกแบบถนน เมื่อนำโปรแกรมทั้ง 2 มาพัฒนาผ่าน Microsoft Excel ทำให้ใช้งานง่าย ลดเวลาการทำงาน สะดวกต่อวิศวกรหรือผู้ที่จัดทำโครงการ และสามารถเห็นภาพถนนเสมือนจริงที่ได้จากการออกแบบอีกด้วย และตัวอย่างภาพจำลองถนนสามมิติที่ได้ Render จากโปรแกรม Blender ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 ตัวอย่างภาพจำลองถนนสามมิติ

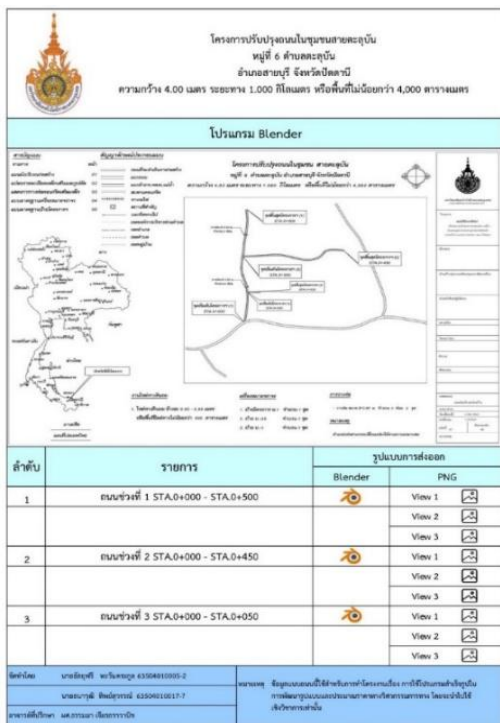
3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

ผลการวิจัยจากการประมาณราคาและออกแบบถนนจำลองรูปแบบสามมิติ โดยใช้โปรแกรม Road Price, Blender และ Excel เข้ามาช่วยในการประมาณราคาและออกแบบสามมิตินี้ เป็นการศึกษาเบื้องต้นเพื่อพัฒนารูปแบบโปรแกรมให้ใช้งานง่าย ไม่ยุ่งยากซับซ้อน ช่วยให้สามารถสร้างแบบได้เสมือนจริง ในการพัฒนาโปรแกรมในการประมาณราคา มีส่วนช่วยในการคำนวณมูลค่าในแต่ละรายการวัสดุ ลดระยะเวลาในการประมาณราคาและลดปัญหาความ

ผิดพลาดในการประมาณราคาได้ ผู้วิจัยตั้งเป้าหมายในการศึกษาครั้งนี้โดยมุ่งเน้นไปที่การศึกษาเบื้องต้นของการพัฒนารูปแบบโปรแกรมให้ใช้งานง่ายมากกว่าการประมาณราคาแบบปกติ เพื่อลดระยะเวลาลดความผิดพลาด และสามารถดูแบบสามมิติได้เสมือนจริง โดยจะมีการพัฒนาต่อไปในอนาคตได้ต่อไป ซึ่งสามารถดูรายละเอียดข้อมูลการประมาณราคาด้วยโปรแกรม Road Price โดยคลิกดูรายการต่างๆ ได้ที่ไอคอน Excel หรือ PDF [7,8] ดังแสดงในรูปที่ 6 และการเรียกดูข้อมูลรายละเอียดการจำลองภาพสามมิติด้วยโปรแกรม Blender สามารถคลิกดูรายการถนนแต่ละช่วงได้ โดยคลิกที่ไอคอน Blender เพื่อเข้าดูแบบถนนสามมิติ และคลิกที่ไอคอน PNG เพื่อดูภาพจำลองถนนสามมิติที่ได้ Render จากโปรแกรม Blender ได้ 3 มุมมอง ดังแสดงในรูปที่ 7

โปรแกรม Road Price			
ลำดับ	รายการ	รูปแบบการเลือก	
		Excel	PDF
1	ตารางแสดงราคาในงบประมาณ บก 01		
2	แบบสรุปราคากลางงานทาง ป.ร		
3	แบบสรุปราคากลางงานทาง BOQ		
4	รายละเอียดการคำนวณค่างานต้นทุนต่อหน่วย		
5	รายการคำนวณค่า Factor F	-	
6	แบบสรุปข้อมูลวัสดุและค่าดำเนินการ	-	
7	ค่าขนส่งรถบรรทุก 6 ล้อ	-	
8	ค่าขนส่งรถบรรทุก 10 ล้อ	-	
9	ค่าขนส่งรถบรรทุก 10 ล้อ + ลากพ่วง	-	
10	รายการตารางค่าดำเนินการค่าเสื่อม	-	
11	แบบสรุปข้อมูลถนน	-	
12	รายการไม้แบบ	-	

รูปที่ 6 การเรียกดูรายละเอียดการประมาณราคา



รูปที่ 7 การเรียกดูรายละเอียดการจำลองภาพสามมิติ

4. สรุปผล

จากการวิจัยพบว่า การประมาณราคาโครงการปรับปรุงถนนด้วยโปรแกรมพบว่าใช้งบประมาณต้นทุนงานก่อสร้างทาง 2,575,274 บาท คูณด้วยค่า Factor F งานก่อสร้างทาง 1.3848 รวมราคาค่าก่อสร้าง

ได้ 3,566,240 บาท และบวกเพิ่ม 5% (เนื่องจากอยู่ 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้) พบว่าใช้งบประมาณราคาค่าก่อสร้างทั้งหมด 3,744,552 บาท ส่วนการประมาณราคาด้วยการคำนวณแบบปกติ พบว่าใช้งบประมาณราคาค่าก่อสร้างทั้งหมดได้ 3,796,244 บาท เมื่อเปรียบเทียบพบว่าร้อยละความแตกต่างระหว่างการประมาณราคาค่าก่อสร้างที่ได้จากโปรแกรม และการประมาณราคาด้วยการคำนวณแบบปกติอยู่ที่ 1.36 % ดังตารางที่ 1 และการประมาณราคาด้วยโปรแกรมใช้ระยะเวลาน้อยกว่าการ

ประมาณราคาด้วยการคำนวณแบบปกติ และตัวโปรแกรมสามารถได้ละเอียดข้อมูลวัสดุก่อสร้าง และบัญชีค่าแรงไว้ในโปรแกรม และโปรแกรมได้ข้อมูลวัสดุก่อสร้าง และบัญชีค่าแรง โดยอ้างอิงจากกรมบัญชีกลางในทุกๆปี เพื่อลดความผิดพลาดในการทำงานและการจัดซื้อจัดจ้าง เมื่อพัฒนารูปแบบโปรแกรม จะสามารถนำผลข้อมูลที่จัดทำมาเสนอด้วยโปรแกรมที่พัฒนารูปแบบขึ้นมาได้อย่างละเอียดและแม่นยำ ดังนั้นคณะผู้วิจัยสรุปว่าการพัฒนารูปแบบโปรแกรมในการประมาณราคาเพื่อหาค่าแรงค่าวัสดุในการจัดซื้อจัดจ้างก่อนที่จะจัดทำโครงการสามารถทำงานได้อย่างรวดเร็ว โดยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลได้ดังตารางที่ 2 พบว่าสามารถลดเวลาการทำงานได้ลงร้อยละ 69.57 และนำเสนอข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่า ดังตารางที่ 3 พบว่าความพึงพอใจของผู้ปฏิบัติงานมีค่าความพึงพอใจเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจากคะแนน 3.04 ระดับปานกลาง เป็น 4.16 ระดับมาก เพิ่มขึ้น 1.12 คะแนน หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 36.84

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบงบประมาณ

ประเด็น	การคำนวณปกติ	การใช้โปรแกรม	ความแตกต่าง
งบประมาณ (บาท)	3,796,244	3,744,552	ร้อยละ -1.36 (งบประมาณลดลง)

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบเวลาในการทำงาน

ประเด็น	การคำนวณปกติ	การใช้โปรแกรม	ความแตกต่าง
เวลาในการประมาณราคา (ชั่วโมง)	23	7	ร้อยละ - 69.57 (เวลาลดลง)

ตารางที่ 3 ความพึงพอใจของผู้ปฏิบัติงาน

ที่	ประเด็น	การ คำนวณ ปกติ	การใช้โปรแกรม	เพิ่มขึ้น
1	ระยะเวลาในการปฏิบัติงาน	2.20 (น้อย)	4.60 (มากที่สุด)	ร้อยละ 109.09
2	ความสะดวกในการปฏิบัติงาน	2.40 (น้อย)	4.40 (มาก)	ร้อยละ 83.33
3	ความพร้อมของอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการปฏิบัติงาน	3.80 (มาก)	3.80 (มาก)	ร้อยละ 0.00
4	ความจำเป็นด้านทักษะของผู้ปฏิบัติงาน	3.60 (มาก)	3.80 (มาก)	ร้อยละ 5.56
5	ความแม่นยำของผลงาน	3.20 (ปานกลาง)	4.20 (มาก)	ร้อยละ 31.25
	เฉลี่ย	3.04 (ปานกลาง)	4.16 (มาก)	ร้อยละ 36.84

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย 4.51-5.00 มากที่สุด / 3.51-4.50 มาก / 2.51-3.50 ปานกลาง / 1.51-2.50 น้อย / 1.00-1.50 น้อยที่สุด

ซึ่งข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งถัดไป พบว่า ในระหว่างปีที่มีการเปลี่ยนแปลงข้อมูลจากการประกาศของกรมบัญชีกลาง ในการประมาณราคาค่าวัสดุ และค่าแรงควรอ้างอิงจากกรมบัญชีกลางในปีปัจจุบัน และทางคณะผู้วิจัยมีความเห็นว่าถ้าสามารถใช้โปรแกรมแบบจำลองทางด้านวิศวกรรมการทางโดยตรง เช่น โปรแกรม City Engine นำมาพัฒนา รูปแบบจะทำให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ได้ภาพแบบจำลองสามมิติที่สมจริง เพราะโปรแกรมสามารถดึงข้อมูลภูมิประเทศในจุดที่ต้องการเพื่อแสดงเป็นภาพสามมิติได้ละเอียดมากยิ่งขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม และ คณะวิศวกรรมศาสตร์ หน่วยงานต้นสังกัดของผู้วิจัย สำหรับความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในด้านต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาในการทำวิจัย และขอขอบคุณ นายชนาวุฒิ ทิพย์สุวรรณ และ นายอัสยุฟรี หะวันตระกูล ในการเก็บรวบรวมข้อมูลในการทดสอบ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณเว็บไซต์โยธาไทย ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการจัดสร้างโปรแกรมเพื่อศึกษาในการทำวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบพระคุณสำนักงานโยธาธิการและผังเมืองจังหวัดยะลา ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลงานทางเพื่อใช้ในการศึกษาในการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] The Comptroller General's Department. (2023, Nov. 16). "Price account for construction materials and labor cost" [Online]. Available: <https://www.cgd.go.th/>
- [2] Planning Division, Department of Health Service Support, Ministry of Public Health. (2023, Nov. 16). " Price estimation" [Online] . Available: <https://dcd.hss.moph.go.th/>
- [3] W. Hirun and T. Pobutdee, "Development of a Program for Designing Concrete Pavement Using Python Programming Language," *Kasem Bundit Engineering Journal*, vol. 11, no.2, pp.27-52, 2021.
- [4] S. Kanangkaew, et al. , " Applying 5D- BIM to Improve the Quantity Takeoff: A Case Study of Educational and Laboratory Building Construction

Project,” *Sarasatr: Journal of Architecture and Design*, vol. 7, no.1, pp.103-113, 2024.

- [5] K. Limphongsathorn, “ Comparison of two-dimensional drawing programs and Building Information Modeling (BIM) for retail store construction drawings in Thailand,” M. S. Thesis, Siam Univ., 2017 (in Thai).
- [6] P. Wisawavisut and T. Pratharnsap, “The Software development for Estimating Cost from preliminary model,”M.S. Thesis, Silpakorn Univ. 2017 (in Thai).
- [7] W. Panthong and P. Jansiri, “Development of a Pipe Repair Estimate Program for the Provincial Waterworks Authority, Ban Mi Branch, Ban Mi District, Lopburi Province,” in Proc. *National Conference on Vocational Education Innovation and Technology*, 29-30 Oct. 2021, pp. 465-470.
- [8]R. Buasatit, “The use of Spreadsheet Program for Concrete Formwork Design and Cost Estimation,” M.S. Thesis, Suranaree Univ., 2017 (in Thai).

ประวัติผู้ประพันธ์ :



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุวิมล เจียรวานิช สำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาเอก สาขาวิชาอุดมศึกษา คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ และ สาขาวิชาการวัด และ ประเมิน ผล การ ศึก ษา มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช งานวิจัยที่สนใจ คือ การควบคุมคุณภาพการผลิต เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม และ งาน วิจัย เชิง สำร วจ สาค าร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธรรมมา เจียรวานิช สำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาเอก สาขาวิชาอุดมศึกษา คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สาขาวิชาการจัดการงานก่อสร้าง มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช และสาขาวิชาการวัดและประเมินผลการศึกษา มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช งานวิจัยที่สนใจ คือ วิศวกรรมขนส่งและจราจร วิศวกรรมกรรมการทาง การ ทดสอบวัสดุก่อสร้าง และงานวิจัยเชิงสำรวจ



ดร. สิริชัย เพชรรุ่ง สำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาเอก และโท สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ งานวิจัยที่สนใจ คือ วิศวกรรมปฐพี การทดสอบวัสดุก่อสร้าง

การศึกษาผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้เชิงรุกบน Mobile Application ในรายวิชา

คณิตศาสตร์ กรณีศึกษา MTTS Math application

ของนักเรียนช่างฝีมือทหาร

A Study of the Learning Achievement results of Active Learning on Mobile Application in Mathematics Subject: Case Study of MTTS Math Application of Military Technical Training

ธิติยา กันบัวแก้ว* และ ชุตินา พิศาลย์

Thitiya Kanbuakaew* and Chutima Pisarn

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาการจัดการนวัตกรรมดิจิทัล คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต

ผู้นิพนธ์ประสานงาน : thitiya.ka65@rsu.ac.th*

วันที่รับบทความ: 10 มีนาคม 2568 / วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 : 31 พฤษภาคม 2568 / วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 2 : 14 มิถุนายน 2568

วันที่ตอบรับการตีพิมพ์: 17 มิถุนายน 2568

บทคัดย่อ การวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อ 1) เพื่อพัฒนาการเรียนรู้เชิงรุกบน Mobile Application ด้วยโปรแกรม AppSheet รายวิชาคณิตศาสตร์ของนักเรียนช่างฝีมือทหาร (MTTS MATH Application) 2) เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ของนักเรียนช่างฝีมือทหาร ระหว่างการเรียนรู้ในห้องเรียนและเรียนรู้เชิงรุกบน Mobile Application (MTTS MATH Application) 3) เพื่อประเมินประสิทธิภาพการเรียนรู้เชิงรุกบน Mobile Application รายวิชาคณิตศาสตร์ของนักเรียนช่างฝีมือทหาร (MTTS MATH Application) รูปแบบการวิจัยเป็นการวิจัยเชิงปริมาณ กลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนช่างฝีมือทหาร จำนวน 30 คน เรียนวิชาคณิตศาสตร์ โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่เรียนในห้องเรียน จำนวน 15 คน และ กลุ่มที่เรียนรู้เชิงรุกบน Mobile Application จำนวน 15 คน เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล คือ Mobile Application เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และแบบสอบถามสอบถามความพึงพอใจต่อการใช้ Mobile Application ของผู้เชี่ยวชาญ พบว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรายวิชาคณิตศาสตร์ของนักเรียนช่างฝีมือทหาร ชั้นปีที่ 1 ที่เรียนรู้เชิงรุกบน Mobile Application มีคะแนนเฉลี่ยสูงกว่าเรียนรู้ในห้องเรียน และทดสอบค่า t -test พบว่าค่า t -test มีค่ามากกว่า 1.76 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 แสดงให้เห็นว่าการเรียนรู้เชิงรุกบน Mobile Application (MTTS MATH Application) มีผลสัมฤทธิ์แตกต่างจากการเรียนรายวิชาคณิตศาสตร์ในห้องเรียน และความพึงพอใจในภาพรวมต่อการใช้งานของ Mobile Application พบว่า $\bar{X} = 4.52$ S.D. = 0.69 โดยผลของการประเมินความพึงพอใจมีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมากที่สุด

คำสำคัญ : การเรียนรู้เชิงรุกบนโทรศัพท์, การเรียนในห้องเรียน, Appsheet

Abstract This research aimed 1) to develop active learning media on Mobile applications for math subjects of the Military Technical Training students called the MTTS math application. 2) to compare the academic achievement in math subjects of the Military Technical Training students between learning in the classroom and the MTTS math application, and 3) to evaluate the efficiency of the MTTS math application. The research design was quantitative research. The sample consisted of 30 Military Technical Training students studying math subjects, which were divided into 2 groups: A group studied in the classroom (15 students), and a group studied actively on Mobile Applications (15 students). The research instrument used for data collection was the Mobile Application. Academic achievement was compared between the groups and the questionnaire was collected from math teachers to ask about their satisfaction with using mobile applications. It was found that the academic achievement in mathematics of the first-year military vocational students who learned actively on the Mobile Application had a higher average score than learning in the classroom. The *t-test* value was found to be greater than 1.76, which is statistically significant at the 0.05 level, indicating that active learning on the MTTS math application has different achievements from learning mathematics in the classroom. The overall satisfaction with the application's use was found to be $\bar{x} = 4.52$ S.D. = 0.69, with the satisfaction evaluation results having the highest average value.

Keyword : Active Learning on Mobile Application, Passive Learning, Appsheet

1. บทนำ

เทคโนโลยีที่กำลังพัฒนาเพิ่มมากขึ้นในประเทศไทย ทำให้สังคมของประเทศไทยต้องศึกษาพฤติกรรมการใช้งานของคนมากขึ้นในการปรับตัวตามยุคสมัย และพัฒนาศักยภาพเทคโนโลยีของประเทศไทยให้ดียิ่งขึ้น โดยการสำรวจและจัดทำตัวชี้วัดด้านดิจิทัลของประเทศ ปี 2566 จากข้อมูลของผลการศึกษาใน โครงการ Thailand Digital Outlook ซึ่งให้เห็นถึงพฤติกรรมการใช้อินเทอร์เน็ตของคนไทยในปี 2566 เพิ่มขึ้นจากปี 2565 จากเวลาในการใช้งานอินเทอร์เน็ต เฉลี่ย 7 ชั่วโมง 4 นาที เพิ่มขึ้น ผู้คนส่วนใหญ่ในประเทศไทยเข้าถึงการใช้อินเทอร์เน็ต 88.22% จากผลสำรวจนี้ชี้ให้เห็นว่า

“คนไทยมีแนวโน้มในการใช้เวลาบนอินเทอร์เน็ตมากขึ้น” โดยคิดเป็นอัตราส่วนร้อยละ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงอัตราส่วนของผู้ใช้งานอินเทอร์เน็ต

ความถี่ของผู้ใช้อินเทอร์เน็ต	ร้อยละ
5-7 วันต่อสัปดาห์	85.45 %
1-4 วันต่อสัปดาห์	13.29%
น้อยกว่า 1 วันต่อสัปดาห์	1.25%
ไม่เลิกใช้งานอินเทอร์เน็ต	11.78%

ผู้ใช้งานอินเทอร์เน็ตในประเทศไทย (อายุ 6 ปีขึ้นไป) มีอัตราส่วนการใช้อินเทอร์เน็ตเพิ่มขึ้นจาก 85.00% เป็น 87.69% โดยกลุ่มที่น่าสนใจคือ กลุ่มผู้สูงอายุ (อายุ 55-74 ปี) เพิ่มขึ้นจาก 63.10% เป็น 71.60% [1]

การสำรวจพฤติกรรมผู้ใช้อินเทอร์เน็ตในประเทศไทย ประจำปี 2565 หรือ Thailand Internet User Behavior (IUB) 2022 ใช้แบบสอบถามออนไลน์ จากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 46,348 รายทั่วประเทศ ตั้งแต่เดือนเมษายนจนถึงกรกฎาคม 2565 พบว่าเวลาการใช้งานอินเทอร์เน็ตของกลุ่มประชากรดังตารางที่ 2 [2]

ตารางที่ 2 แสดงเวลาการใช้งานอินเทอร์เน็ตของกลุ่มประชากร

กลุ่มประชากร	เวลาการใช้ อินเทอร์เน็ต
Gen Z (อายุน้อยกว่า 22 ปี)	8 ชม. 24 น.
Gen Y (ช่วงอายุ 22-41 ปี)	8 ชม. 55 น.
Gen X (ช่วงอายุ 42-57 ปี)	5 ชม. 52 น.
Baby Boomers (ช่วงอายุ 58 ปีขึ้นไป)	3 ชม. 21 น.

การจัดการเรียนรู้เชิงรุก (Active learning) เป็นการจัดการเรียนรู้ที่กระตุ้นให้นักเรียนมีความตื่นตัว ทั้งทางด้านร่างกาย สติปัญญา อารมณ์ สังคม ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยให้นักเรียนมีสมรรถนะที่จำเป็นต่อการใช้ชีวิต การทำงาน การเรียนรู้ การลงมือทำ นักเรียนมีส่วนร่วมในการสร้างความรู้ ตั้งคำถาม หาคำตอบ อภิปราย แสดงความคิดเห็น แลกเปลี่ยนเรียนรู้ การสื่อสารระหว่างครูผู้สอนและนักเรียน ร่วมกันแก้ปัญหา นำเสนอกิจกรรม การเรียนรู้และชิ้นงาน ทำงานเป็นทีม มีการแบ่งหน้าที่ ความรับผิดชอบและร่วมกันเป็นผู้นำและผู้ตาม อีกทั้งยังเป็นการพัฒนาความคิดให้นักเรียนคิดเป็น แก้ปัญหาได้ สร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองจากแหล่งเรียนรู้ที่หลากหลาย สร้างสรรค์ชิ้นงานได้ สามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้หรือปรับใช้กับสถานการณ์ใหม่ๆ หรือสภาพแวดล้อมใกล้ตัว และการแก้ปัญหา

ของชุมชน สังคม ประเทศชาติ และสังคมโลกได้ หัวใจสำคัญของการจัดการเรียนรู้เชิงรุก จำเป็นต้องมี 4 องค์ประกอบ ได้แก่ 1) การเรียนรู้ผ่านการคิดขั้นสูง (Thinking based learning) 2) เรียนรู้จากการลงมือทำ (Learning by doing) 3) เรียนรู้จากการทำงานร่วมกัน (Cooperative learning) และ 4) เรียนรู้จากการสำรวจค้นหา (Inquiry based learning โดยนักเรียนจะถูกเปลี่ยนบทบาทจากผู้รับความรู้ ไปสู่การมีส่วนร่วมในการสร้างความรู้ และการเรียนรู้ที่นักเรียนได้คิดและลงมือทำด้วยตนเองทำให้นักเรียนสามารถเรียนรู้ได้ดีกว่าวิธีอื่น ๆ [3]

การจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้เกมเป็นฐาน ได้มีผู้วิจัยให้ความหมาย ดังนี้ Franco-Mariscal ให้ความหมายการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้เกมเป็นฐาน หมายถึง การเรียนรู้ด้วยการเล่นเกมที่ไม่ซับซ้อนและมีกติกาที่ไม่ยุ่งยาก มีความสนุกสนาน มีจุดประสงค์การเรียนรู้ โดยครูผู้สอนใช้คำถามเพื่อนำเข้าสู่การอภิปรายเกี่ยวกับวิธีการเล่น กติกาการเล่น และผลของการเล่นเกมเพื่อเชื่อมโยงถึงสาระการเรียนรู้ และจุดประสงค์การเรียนรู้ นรรีซด์ ฟีนเชียร์ ให้ความหมายการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้เกมเป็นฐาน หมายถึง แนวทางการเรียนรู้โดยใช้เกมเป็นสื่อ ทำให้เกิดการเรียนรู้โดยผสมผสานทำให้มีความสนุกสนานจากการเล่นเกมไปพร้อม ๆ กัน ซึ่งช่วยดึงดูดความสนใจของผู้เรียน วรศักดิ์ อินทสระ ให้ความหมายการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้เกมเป็นฐาน หมายถึง สื่อในการเรียนรู้ ซึ่งออกแบบมาเพื่อให้นักเรียนเกิดความสุขสนุกสนานไปพร้อม ๆ กับการได้รับความรู้ไปด้วย โดยสอดแทรกเนื้อหาเอาไว้ภายในเกม สุรศักดิ์ แซ่ลิ้ม ให้ความหมายการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้เกมเป็นฐาน หมายถึง การ

สอนผ่านเกมเพื่อให้นักเรียนเกิดการเรียนโดยผสมผสานระหว่างเกมกับเนื้อหาสาระ อย่างลงตัว [4]

นับจากอดีตจนถึงปัจจุบัน การสอนคณิตศาสตร์ยังไม่ประสบผลสำเร็จเท่าที่ควร เนื่องจากวิชาคณิตศาสตร์มีลักษณะเนื้อหาที่ยากไม่สามารถอธิบายให้นักเรียนเข้าใจได้ การเข้าใจหลักการทางคณิตศาสตร์ต้องใช้เวลาในการคิดและฝึกฝน ด้วยเหตุนี้ นักเรียนส่วนใหญ่จึงไม่ชอบเรียนวิชาคณิตศาสตร์ และมีคะแนนอยู่ในระดับที่ไม่น่าพอใจ นักเรียนคิดแก้ปัญหาคณิตศาสตร์ไม่เป็น อีกทั้งการเรียนคณิตศาสตร์มีการให้นักเรียนจดจำและเข้าใจขั้นตอนการแก้โจทย์ปัญหา นักเรียนทำแบบฝึกหัดหรือทำการบ้านไม่ได้ จึงทำให้นักเรียนไม่สนใจและไม่ตั้งใจเรียน [5] และจากการประเมินการสอนนักเรียนช่วงฝีมือทหาร พบว่าเกิดความเหลื่อมล้ำทางการเรียนทำให้การเรียนในห้องไปไม่พร้อมกันเนื่องจากพื้นฐานที่แตกต่างกันนั้นทำให้การเรียนการสอนต้องใช้เวลามากขึ้นจากแผนการสอนที่วางไว้

โปรแกรม Appsheet คือ Platforms ที่สามารถปรับปรุง Application ได้ทุกที่ทุกเวลาโดย Application ที่สามารถสร้าง Mobile Application ได้โดยไม่ต้องเขียน Code ทำให้ทุกคนสามารถสร้าง Application ได้โดยไม่ต้องมีความรู้เรื่องการเขียนโปรแกรม สามารถออกแบบหน้าตาของ Application เลือกสีและรูปแบบแสดงหน้าจอ โดยการแสดงผลของ Appsheet จะแสดงออกเป็น Mobile Application Tablet หรือ Notebook การใช้งานเป็นการใช้งานผ่าน Web Browser จึงทำให้การสร้าง Application นี้ใช้งานได้ฟรี ไม่มีค่าบริการ และสามารถสร้าง

จำนวน Application ได้ไม่จำกัด ดังนั้น การพัฒนา Application ผ่าน Appsheet สามารถปรับให้เข้ากับส่วนของการศึกษา หรือ ด้านธุรกิจ รวมถึงประโยชน์ด้านอื่น ๆ อีกด้วย

การเริ่มต้นใช้งาน Application สามารถเริ่มต้นจาก Web browser หรือไปที่ link เพื่อขอรับการติดตั้ง Appsheet ทำให้สามารถกำหนดการเข้าถึง Application ของผู้ใช้งานแต่ละคนได้ว่าสามารถเห็นทั้งหมดหรือต้องการให้เห็นบางส่วน มีระบบความปลอดภัยในการเข้ารหัสก่อนเข้าสู่ Application และที่สำคัญ คือองค์กรทางด้านการศึกษามีความประสงค์ในการใช้งาน AppSheet เพื่อกิจกรรมทางการศึกษาได้ฟรี ไม่มีค่าใช้จ่ายเมื่อผ่านการตรวจสอบ และผ่านการอนุมัติจากบริษัทแล้วว่าเป็นการนำระบบไปใช้งานทางด้านหน่วยงานทางการศึกษา [6]

จากงานวิจัยข้างต้น ผู้วิจัยได้เห็นความสำคัญของการเรียนรู้เชิงรุก คือ การเรียนรู้ที่มีการกระตุ้นให้นักเรียนเกิดความคิด โดยนักเรียนจะเรียนรู้ด้วยตนเองและเมื่อเกิดการทำงานร่วมกันกับผู้อื่นจะทำให้นักเรียนเปลี่ยนบทบาทจากผู้รับความรู้เป็นผู้ให้ความรู้ เกิดการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นซึ่งกันและกัน กระบวนการนี้จะทำให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้อย่างถ่องแท้และลดความเหลื่อมล้ำทางการเรียนในห้องเรียนได้ สื่อการเรียนรู้เชิงรุก ที่ใช้ในการทำวิจัย คือ Mobile Application เนื่องจากผลการสำรวจการใช้อินเทอร์เน็ตของ Gen Z ที่มีอายุน้อยกว่า 22 ปี พบว่ามีการใช้อินเทอร์เน็ตวันละประมาณ 8 ชั่วโมง ซึ่งตรงกับ Gen ของนักเรียนช่วงฝีมือทหาร ทำให้ผู้วิจัยมีความต้องการพัฒนา

Mobile Application เพื่อให้ให้นักเรียนช่วงฝีมือทหาร ได้เรียนรู้ผ่านสื่อการเรียนรู้เชิงรุกบน Mobile Application ซึ่งจะทำให้การพัฒนาผ่าน Appsheet เป็นการพัฒนาโปรแกรมแบบ No code ทำให้การพัฒนา Mobile Application ได้อย่างรวดเร็ว และครอบคลุมความต้องการภายใน Mobile Application มีการรวบรวมรูปแบบการเรียนรู้เชิงรุก หลาย ๆ รูปแบบ เช่น จากเรียนรู้ด้วยตนเอง และจากการเล่นเกมส์ เป็นต้น อีกทั้งยังสามารถติดตามงานที่ได้รับมอบหมาย หรือ เอกสารประกอบการสอนได้จาก ภายใน Mobile Application อีกด้วย ดังนั้น ผู้วิจัยจึง พัฒนา Mobile Application เพื่อศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเชิงรุก บน Mobile Application ของวิชาคณิตศาสตร์ของนักเรียนช่วงฝีมือทหาร

วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาการเรียนรู้เชิงรุกบน Mobile Application รายวิชาคณิตศาสตร์ของนักเรียนช่วงฝีมือทหาร (MTTS MATH Application)
2. เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ของนักเรียนช่วงฝีมือทหาร ระหว่างการเรียนในห้องเรียนและจากการเรียนรู้เชิงรุกบน Mobile Application (MTTS MATH Application)
3. เพื่อประเมินประสิทธิภาพการเรียนรู้เชิงรุกบน Mobile Application รายวิชาคณิตศาสตร์ของนักเรียนช่วงฝีมือทหาร (MTTS MATH Application)

สมมติฐานการวิจัย

การเรียนรายวิชาคณิตศาสตร์ด้วยการเรียนรู้เชิงรุกบน Mobile Application (MTTS MATH

Application) มีผลสัมฤทธิ์แตกต่างจากการเรียนรายวิชาคณิตศาสตร์ในห้องเรียน

ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยต้องมีการเรียนรู้ด้วยตนเองบน Mobile Application จึงต้องใช้ประชากรที่มีความรับผิดชอบต่อตนเอง โดยใช้ประชากร คือ นักเรียนช่วงฝีมือทหาร ชั้นปีที่ 1 โรงเรียนช่วงฝีมือทหาร ที่มีเกรดรายวิชาคณิตศาสตร์ ตั้งแต่ 3.5 ขึ้นไป จำนวน 134 คน กลุ่มตัวอย่างได้จากประชากรแบบสุ่มจำนวน 30 คน

แนวคิดการเรียนรู้เชิงรุก

การเรียนรู้เชิงรุก เป็นกระบวนการจัดการเรียนรู้ที่เน้นกระบวนการเรียนรู้มากกว่าเนื้อหาวิชา เพื่อช่วยให้นักเรียนเกิดกระบวนการเรียนรู้ด้วยตนเอง จากการลงมือปฏิบัติจริงผ่านสื่อหรือกิจกรรมการเรียนรู้ ที่มีครูผู้สอนแนะนำ หรือ สื่อการเรียนรู้ที่กระตุ้นให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ขึ้น โดยกระบวนการคิดมีการวิเคราะห์ และการประเมินค่าจากสิ่งที่ได้รับจากสื่อการเรียนรู้หรือกิจกรรมการเรียนรู้ทำให้การเรียนรู้เป็นไปอย่างมีระบบและความหมาย สามารถนำไปใช้และประยุกต์ใช้ในสถานการณ์ต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ลักษณะของการจัดการเรียนการสอนแบบเชิงรุก เป็นดังนี้

1. เป็นการเรียนการสอนที่ทำให้เกิดกระบวนการคิด การแก้ปัญหา และการนำความรู้ไปประยุกต์ใช้
2. เป็นการเรียนการสอนที่เปิดโอกาสให้นักเรียนมีส่วนร่วมในกระบวนการเรียนรู้สูง

3. นักเรียนสามารถสร้างองค์ความรู้และจัดกระบวนการเรียนรู้ด้วยตนเอง

4. นักเรียนมีส่วนร่วมในการเรียน และการสร้างปฏิสัมพันธ์ร่วมกันมากกว่าการแข่งขัน

5. นักเรียนเรียนรู้ความรับผิดชอบร่วมกัน การมีวินัยในการทำงานและการแบ่งหน้าที่ความรับผิดชอบ

6. กระบวนการสร้างสถานการณ์ให้นักเรียนอ่าน พูด ฟัง คิดอย่างลุ่มลึก นักเรียนจะเป็นผู้จัดระบบการเรียนรู้ด้วยตนเอง

7. กิจกรรมการเรียนการสอนที่เน้นทักษะการคิดขั้นสูง

8. กิจกรรมที่เปิดโอกาสให้นักเรียนบูรณาการข้อมูล และหลักการความคิดรวบยอด

9. ครูผู้สอนจะการจัดการเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนเป็นผู้ปฏิบัติด้วยตนเอง

10. ความรู้เกิดจากกระบวนการเรียนรู้ด้วยตนเองและการสรุปบทวนของนักเรียน

บทบาทของครูผู้สอนในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวทางของการเรียนรู้เชิงรุก ดังนี้

จัดให้นักเรียนเป็นศูนย์กลางของการเรียนการสอน กิจกรรมต้องสะท้อนความต้องการในการพัฒนานักเรียนและเน้นการนำไปประยุกต์ใช้ในชีวิตของนักเรียน

1. สร้างบรรยากาศของการมีส่วนร่วม และการเจรจาโต้ตอบที่ส่งเสริมให้นักเรียนมีปฏิสัมพันธ์ที่ดีกับครูผู้สอนและเพื่อนในชั้นเรียน

2. จัดกิจกรรมการเรียนการสอนให้ส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนเพื่อให้มีส่วนร่วมในกิจกรรม รวมทั้งกระตุ้นให้นักเรียนให้เกิดกระบวนการคิด

3. จัดสภาพการเรียนรู้แบบร่วมมือ ส่งเสริมให้เกิดการร่วมมือในกลุ่ม

4. จัดกิจกรรมการเรียนการสอนที่หลากหลาย เช่น เพื่อให้นักเรียนเกิดกระบวนการเรียนรู้ที่ท้าทาย

5. วางแผนเกี่ยวกับเวลาในการจัดการเรียนการสอนอย่างชัดเจน ทั้งในส่วนของเนื้อหา และกิจกรรม

6. ครูผู้สอน ต้องใจกว้าง เปิดรับความสามารถในการเรียนรู้และการแสดงออกของนักเรียน [7]

การจัดการเรียนรู้เชิงรุก สามารถการจัดการเรียนรู้แบบ Active Learning สามารถสร้างให้เกิดขึ้นได้ทั้งในห้องเรียนและนอกห้องเรียน รวมทั้งสามารถใช้ได้กับนักเรียนทุกระดับ ทั้งการเรียนรู้เป็นรายบุคคล การเรียนรู้แบบกลุ่มเล็ก และการเรียนรู้แบบกลุ่มใหญ่ McKinney ได้เสนอตัวอย่างรูปแบบหรือเทคนิค การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่จะช่วยให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้เชิงรุกได้ ได้แก่

1. การเรียนรู้แบบแลกเปลี่ยนความคิด (Think-Pair-Share) คือ การแลกเปลี่ยนความคิดกับเพื่อนอีกคน 3-5 นาที (Pair) และให้นักเรียนนำเสนอความคิดเห็นต่อเพื่อนร่วมห้อง (Share)

2. การเรียนรู้แบบร่วมมือ (Collaborative learning group) คือ การจัดกิจกรรมโดยให้นักเรียนได้ทำงานร่วมกับผู้อื่น โดยจัดเป็นกลุ่ม ๆ ละ 3-6 คน

3. การเรียนรู้แบบทบทวนโดยนักเรียน (Student-led review sessions) คือ การทบทวนความรู้หลังจากการทำกิจกรรม

4. การเรียนรู้แบบใช้เกม (Games) คือนำเกมเข้ามาช่วยในการจัดการเรียนการสอน

5. การเรียนรู้แบบวิเคราะห์วิดีโอ (Analysis or reactions to videos) คือการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ให้นักเรียนได้ดูคลิปวิดีโอ 5-20 นาที แล้วให้นักเรียนแลกเปลี่ยนความคิดเห็นเพื่อสะท้อนความคิดหลังจากดูคลิปวิดีโอ

6. การเรียนรู้แบบโต้เถียง (Student debates) คือ การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ให้นักเรียนได้แลกเปลี่ยนข้อมูลจากประสบการณ์ของตนเอง และรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น

7. การเรียนรู้แบบนักเรียนออกแบบแบบทดสอบ (Student generated exam questions) คือ การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ให้นักเรียนออกแบบแบบทดสอบจากสิ่งที่เรียนรูมาแล้ว

8. การเรียนรู้แบบกระบวนการวิจัย (Mini-research proposals or project) คือ การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่อิงกระบวนการวิจัย

9. การเรียนรู้แบบกรณีศึกษา (Analyze case studies) คือการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ให้นักเรียนได้อ่านตัวอย่างที่ต้องการ จากนั้นนำเสนอความคิดเห็นต่อเพื่อนร่วมห้อง

10. การเรียนรู้แบบการจดบันทึก (Keeping journals or logs) คือการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่นักเรียนจดบันทึกหรือเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น และเสนอความคิดเห็นเพิ่มเติมจากการจดบันทึกที่เขียน

11. การเรียนรู้แบบการเขียนจดหมายข่าว (Write and produce a newsletter) คือการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ให้นักเรียนร่วมกันเขียน บทความ ข้อมูลสารสนเทศ ข่าวสาร และเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น

12. การเรียนรู้แบบแผนผังความคิด (Concept mapping) คือการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ให้นักเรียนออกแบบแผนผังความคิดเพื่อนำเสนอ

ความคิด จากนั้นเปิดโอกาสให้เพื่อนได้ซักถามและแสดงความคิดเห็นเพิ่มเติม [8]

บททวนวรรณกรรม

[9] ได้ทำการวิจัยเรื่อง การพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุก ร่วมกับการเรียนรู้ผ่าน Google Sites รายวิชาวัสดุอุตสาหกรรมและการผลิตกลุ่มประชากร คือ นักศึกษาหลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ชั้นปีที่ 1 คณะอุตสาหกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีจำนวน 50 คน และกลุ่มตัวอย่าง คือ นักศึกษาหลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ชั้นปีที่ 1 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีจำนวน 25 คน เครื่องมือที่ใช้ ประกอบด้วย 1) แผนการจัดการเรียนรู้เชิงรุกเป็นระยะเวลา 16 สัปดาห์ 2) สื่อการเรียนรู้เชิงรุก คือ Google site โดยให้นักศึกษาศึกษาเนื้อหาใน Google site และให้ทำความเข้าใจกับกิจกรรม และกระตุ้นให้นักศึกษาหาความรู้ด้วยตนเอง และนำข้อมูลที่ได้นำมาเสนอผลงานเพื่อทบทวนความรู้ไปใช้จริง 3) ความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อรูปแบบการเรียนรู้เชิงรุก ผลการวิจัยพบว่า คะแนนก่อนเรียนค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 18.550 คะแนน และคะแนนหลังเรียนอยู่ที่ 28.875 คะแนน และได้ทำการทดสอบสถิติ t-test พบว่ามีค่า Sig. เท่ากับ 0.00 ซึ่ง น้อยกว่า 0.05 หมายความว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนด้วยรูปแบบ Active Learning สูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และผลความพึงพอใจของนักศึกษามีความพึงพอใจอยู่ระดับมาก มีคะแนนค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.52 S.D. 0.49 สำหรับการวิจัยการเรียนรู้แบบ Active Learning โดยใช้ Google

Classroom เข้ามาช่วย ผลการวิจัยพบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังจากการเรียนรู้เชิงรุกโดยใช้ Google Classroom สูงกว่าการเรียนแบบปกติ[9] คล้ายกับงานวิจัย[10] ได้ทำการวิจัย เรื่อง การเสริม Application การเรียนการสอนเชิงรุกสำหรับ Google Classroom เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านสมรรถนะหลักของนักศึกษาอาชีวศึกษา วิทยาลัยการอาชีพปัตตานี กลุ่มตัวอย่าง คือ นักศึกษาหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงปีที่ 2 (ปวส. 2) สาขาวิชาไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัยการอาชีพปัตตานี จำนวน 42 คน โดยจะแบ่งนักศึกษาแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ 1) กลุ่มควบคุม กลุ่มละ 21 คน จะไม่มีการเรียนรู้เชิงรุก และ 2) กลุ่มการทดลอง กลุ่มละ 21 คน จะได้รับการทดลอง โดยใช้ Application ในการเรียนรู้เชิงรุกบน Google Classroom โดยผู้วิจัยจะมีการสร้างห้องใน Google Classroom และใช้การเรียนรู้เชิงรุก ดังนี้ 1) มีการสร้างเกมส์ผ่านแบบทดสอบออนไลน์ (Quizizz) เพื่อกระตุ้นการเรียนรู้และการทำงานร่วมกัน 2) มีการทำกิจกรรมผ่านโปรแกรมออกแบบวงจรออนไลน์ (Tinker CAD) ร่วมกัน เพื่อฝึกทักษะการวิเคราะห์ขั้นสูง และ 3) มีการใช้กระดานแสดงความคิดเห็นออนไลน์ บน Padlet เพื่อให้ให้นักศึกษาแสดงความคิดเห็นอย่างมีส่วนร่วม ผลการวิจัยพบว่า คะแนนของกลุ่มควบคุม มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 12.95 คะแนน และ มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.66 และคะแนนของกลุ่มทดลอง มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 18.76 และ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.77 และเมื่อทดสอบค่า *t-test* ในตารางพบว่า มีค่าเท่ากับ 14.57 และค่า Sig = 0.006 น้อยกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 จึงสรุปว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาที่ใช้ Application ในการ

เรียนรู้เชิงรุก บน Google Classroom สูงกว่านักศึกษา กลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 [10]

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

การวิจัยผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้เชิงรุกบน Mobile Application ใน รายวิชา คณิตศาสตร์ ตรีศึกษา MTTS Math application ของนักเรียนช่วงฝีมือทหาร ใช้ Appsheet ในการเก็บรวบรวมข้อมูลบน Mobile Application โดยใช้ Google Sheets เป็นฐานข้อมูล โดยให้นักเรียนช่วงฝีมือทหารทดลองเรียนรู้เชิงรุก เพื่อหาค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ใช้ *t-test* แบบ Independent และแบบสอบถามความพึงพอใจต่อการใช้ Mobile Application มีวิธีดำเนินการวิจัย มีการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติการกำหนดกลุ่มตัวอย่าง การสร้างเครื่องมือ และการเก็บรวบรวม ตามลำดับ ดังนี้

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร คือ นักเรียนช่วงฝีมือทหาร ชั้นปีที่ 1 โรงเรียนช่วงฝีมือทหาร ที่มีเกรดรายวิชา คณิตศาสตร์ ตั้งแต่ 3.5 ขึ้นไป จำนวน 134 คน เนื่องจากการวิจัยต้องมีการเรียนรู้ด้วยตนเองบน Mobile Application จึงต้องใช้ประชากรที่มีความรับผิดชอบต่อตนเอง

กลุ่มตัวอย่างได้จากประชากรแบบสุ่ม จำนวน 30 คน แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มละ 15 คน

กลุ่มที่ 1 ให้นักเรียนช่วงฝีมือทหารชั้นปีที่ 1 เรียนในห้องเรียน

กลุ่มที่ 2 ให้นักเรียนช่างฝีมือทหารชั้นปีที่ 1 เรียนรู้เชิงรุกบน Mobile Application โดยกลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่มส่งงานที่ได้รับมอบหมายที่ครูโดยตรง

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. Mobile Application ที่พัฒนา MTTS MATH Application
2. เนื้อหาหรือสื่อการเรียนรู้เชิงรุกบน Mobile Application
3. แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์วิชาคณิตศาสตร์หลังเรียน

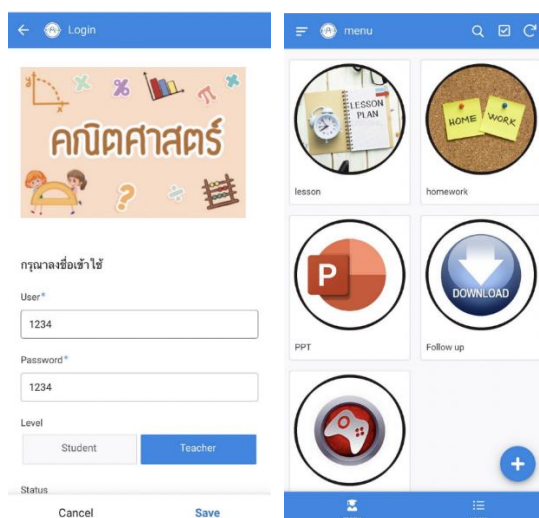
1. การพัฒนา Mobile Application ด้วย โปรแกรม

Appsheet

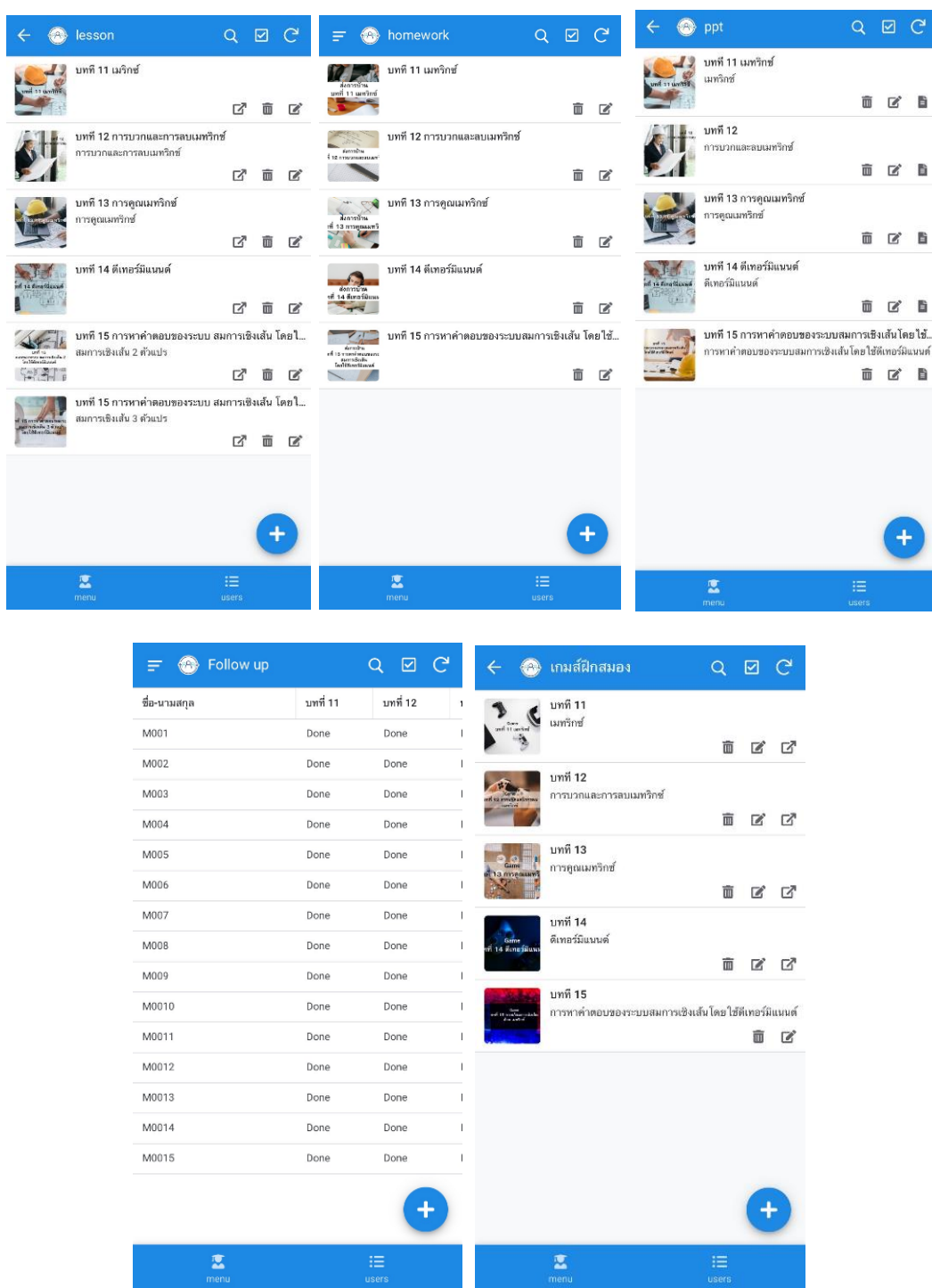
การเริ่มต้นใช้งาน Appsheet สามารถเข้าสู่ Web browser เพื่อเข้าสู่ระบบในการพัฒนา Mobile Application โดยใช้ Google Sheets เป็นฐานข้อมูล มีการออกแบบการจัดเรียงข้อมูลบน Google Sheets ที่

เหมาะสมและทำการเชื่อมฐานข้อมูลโดยเลือกขั้นตอนดังต่อไปนี้ Extension > AppSheet > Creat an app บนหน้าต่างของ Appsheet เพื่อการพัฒนา Application MTTS MATH ที่ใช้สำหรับการเรียนรู้เชิงรุก [11]

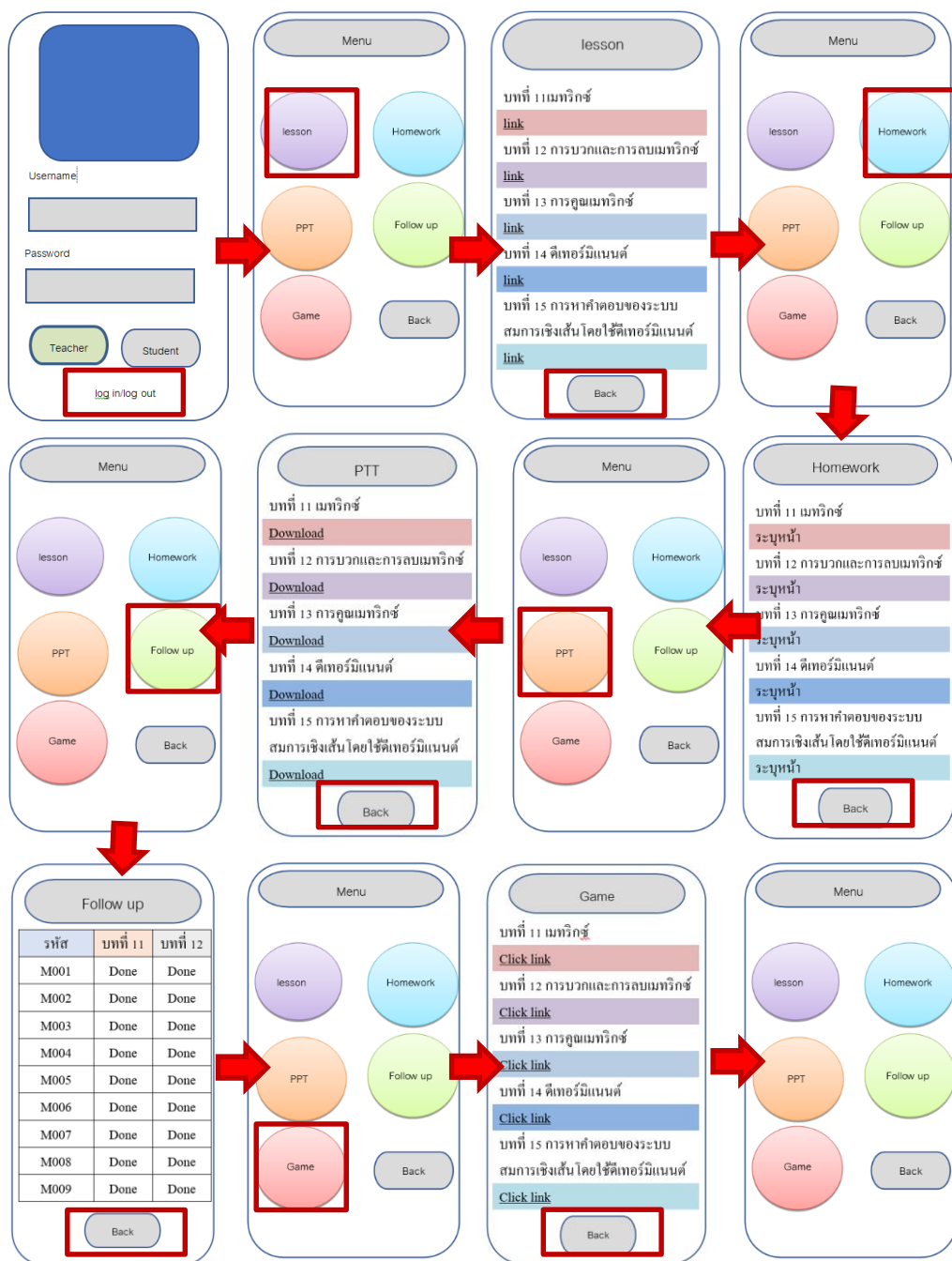
เมื่อคลิกเข้าสู่ Application MTTS MATH หน้าแรกของ Application คือ การ log in เข้าสู่ระบบ เมื่อ log in เข้ามาแล้ว จะเข้าสู่หน้าจอ Menu ดังรูปที่ 1 จะประกอบไปด้วย 5 ส่วน คือ 1. Lesson คือหน้าจอแสดงลิงค์นำเข้าสู่บทเรียนผ่านอินเทอร์เน็ต 2. Homework คือหน้าจอแสดงการบ้านของแต่ละบทที่ครูผู้สอนมอบหมาย 3. PPT คือหน้าจอแสดงเอกสารประกอบการเรียน 4. Follow up คือหน้าจอแสดงการติดตามงานของนักเรียนที่ได้รับมอบหมายจากครูผู้สอน 5. Game คือ หน้าจอแสดงลิงค์นำเข้าสู่เกมดังแสดงในรูปที่ 2 หากต้องการกลับไป Menu อีกรอบ ให้กด Back หากต้องการออกจาก Application MTTS MATH ให้กด log out ดังรูปที่ 3



รูปที่ 1 หน้าจอ Menu ของ Application MTTS MATH



รูปที่ 2 หน้าจอทั้ง 5 ส่วน ของ Application MTTs MATH



รูปที่ 3 ตัวอย่างการแสดงผลลำดับที่เกิดจากการคลิกในแต่ละส่วนของหน้าจอ Menu

2. การวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ของนักเรียนช่วงฝีมือทหารระหว่างการเรียนรู้ในห้องเรียนและการเรียนรู้เชิงรุกบน Mobile Application

ทำการวิเคราะห์เนื้อหาและสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ให้สอดคล้องกับสาระการเรียนรู้ จำนวน 5 เรื่อง โดยเนื้อหาที่นำมาใช้ในการวัดผลสัมฤทธิ์ประกอบด้วยเรื่อง เมทริกซ์, การบวกและการลบเมทริกซ์, การคูณเมทริกซ์, ดีเทอร์มิแนนต์ และการหาคำตอบของระบบสมการเชิงเส้น โดยใช้ดีเทอร์มิแนนต์ โดยผู้วิจัยออกแบบแบบวัดผลสัมฤทธิ์เป็นรูปแบบปรนัย 4 ตัวเลือก เรื่องละ 10 ข้อ เมื่อออกแบบเสร็จแล้วจะนำไปให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบคุณภาพจำนวน 3 ท่าน เพื่อหาค่า IOC คือ ความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับจุดประสงค์การเรียนรู้ โดยค่าดัชนีความสอดคล้องที่ยอมรับได้ต้องมีค่าตั้งแต่ 0.5 ขึ้นไป เมื่อแบบวัดผลสัมฤทธิ์ผ่านมาตรฐาน IOC นำแบบวัดผลสัมฤทธิ์ไปให้นักเรียน

ช่วงฝีมือทหารทั้ง 2 กลุ่ม คือกลุ่มที่เรียนรู้ในห้องเรียน และกลุ่มที่เรียนรู้เชิงรุกบน Mobile Application ทำหลังจากเรียนรู้เนื้อหาแต่ละเรื่อง จากนั้น นำผลสัมฤทธิ์ที่ได้หาค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ใช้ *t*-test แบบ Independent โดยการคำนวณค่า *t* (*t*-test) เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเป็นไปตามสมมุติฐาน คือ การเรียนเชิงรุกบน Mobile Application (MTTS MATH Application) รายวิชาคณิตศาสตร์ด้วยสื่อการเรียนรู้เชิงรุกบน Mobile Application มีผลสัมฤทธิ์แตกต่างจากการเรียนรายวิชาคณิตศาสตร์ในห้องเรียน

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

จากการทดลองแบ่งกลุ่มตัวอย่างเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่เรียนรู้เชิงรุกบน Mobile Application และกลุ่มที่เรียนในห้องเรียน การวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนแบ่งเป็นวัดผลสัมฤทธิ์ตามหน่วยการเรียนรู้จำนวน 5 เรื่อง ดังนี้

ตารางที่ 3 ผลการเปรียบเทียบคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ระหว่างการเรียนในห้องเรียนและการเรียนรู้เชิงรุกบน Mobile Application

การทดสอบ	n	คะแนนเต็ม	$\bar{x}$	S.D.	t - test
หน่วยการเรียนรู้เรื่องที่ 1 เมทริกซ์					
กลุ่มเรียนในห้องเรียน	15	10	8.60	1.50	1.82
กลุ่มเรียนรู้เชิงรุกบน Mobile Application	15	10	9.07	0.68	
หน่วยการเรียนรู้เรื่องที่ 2 การบวกและการลบเมทริกซ์					
กลุ่มเรียนในห้องเรียน	15	10	8.60	0.95	2.82
กลุ่มเรียนรู้เชิงรุกบน Mobile Application	15	10	9.07	1.00	

ตารางที่ 3 ผลการเปรียบเทียบคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ระหว่างการเรียนในห้องเรียน และการเรียนรู้เชิงรุกบน Mobile Application (ต่อ)

การทดสอบ	n	คะแนนเต็ม	$\bar{x}$	S.D.	t - test
หน่วยการเรียนรู้เรื่องที่ 3 การคูณเมทริกซ์					
กลุ่มเรียนในห้องเรียน	15	10	7.47	1.45	4.78
กลุ่มเรียนรู้เชิงรุกบน Mobile Application	15	10	8.93	1.39	
หน่วยการเรียนรู้เรื่องที่ 4 ดีเทอร์มิแนนต์					
กลุ่มเรียนในห้องเรียน	15	10	7.80	1.28	5.17
กลุ่มเรียนรู้เชิงรุกบน Mobile Application	15	10	8.87	1.41	
หน่วยการเรียนรู้เรื่องที่ 5 การหาคำตอบของระบบสมการเชิงเส้นโดยใช้ดีเทอร์มิแนนต์					
กลุ่มเรียนในห้องเรียน	15	10	8.73	1.39	3.76
กลุ่มเรียนรู้เชิงรุกบน Mobile Application	15	10	9.80	0.54	

จากตารางที่ 3 พบว่าคะแนนเฉลี่ยของกลุ่มที่เรียนรู้เชิงรุกบน Mobile Application มีคะแนนเฉลี่ยที่สูงกว่ากลุ่มที่เรียนรู้อในห้องเรียน คะแนนเฉลี่ยเรื่อง เมทริกซ์ กลุ่มที่เรียนรู้เชิงรุกบน Mobile Application สูงกว่า กลุ่มที่เรียนรู้อในห้องเรียน คือ 9.07 S.D. = 0.68 และ 8.60 S.D. = 1.50 ตามลำดับ คะแนนเฉลี่ยเรื่อง การบวกและลบเมทริกซ์ กลุ่มที่เรียนรู้เชิงรุกบน Mobile Application สูงกว่า กลุ่มที่เรียนรู้อในห้องเรียน คือ 9.07 S.D. = 1.00 และ 8.60 S.D. = 0.95 ตามลำดับ คะแนนเฉลี่ยเรื่อง การคูณเมทริกซ์ กลุ่มที่เรียนรู้เชิงรุกบน Mobile Application สูงกว่า กลุ่มที่เรียนรู้อในห้องเรียน คือ 8.93 S.D. = 1.39 และ 7.47 S.D. = 1.45 ตามลำดับ คะแนนเฉลี่ยเรื่อง ดีเทอร์มิแนนต์ กลุ่มที่เรียนรู้เชิงรุกบน Mobile Application สูงกว่า กลุ่มที่เรียนรู้อในห้องเรียน คือ

8.87 S.D. = 1.41 และ 7.80 S.D. = 1.28 ตามลำดับ คะแนนเฉลี่ยเรื่อง การหาคำตอบของระบบสมการเชิงเส้นโดยใช้ดีเทอร์มิแนนต์ กลุ่มที่เรียนรู้เชิงรุกบน Mobile Application สูงกว่า กลุ่มที่เรียนรู้อในห้องเรียน คือ 9.80 S.D. = 0.54 และ 8.73 S.D. = 1.39 ตามลำดับ และเมื่อทำการทดสอบค่า *t-test* พบว่า ค่า *t-test* มีค่า มากกว่า 1.76 ดัง *t-test* ของตารางที่ 3 ซึ่งเป็นไปตามสมมุติฐาน คือ การเรียนรู้เชิงรุก บน Mobile Application (MTTS MATH Application) มีผลสัมฤทธิ์แตกต่างจากการเรียนรายวิชาคณิตศาสตร์ในห้องเรียน เนื่องจากการเรียนรู้เชิงรุกบน Mobile Application ที่ผู้วิจัยออกแบบให้ภายใน Mobile Application ให้สอดคล้องกับการเรียนรู้เชิงรุกที่ McKinney (2008) ได้แก่

ฟังก์ชัน lesson ให้ผู้เรียนได้เรียนรู้เนื้อหาด้วยตัวเองผ่านวิดีโอ 5-15 นาที ซึ่งสอดคล้องกับการเรียนรู้เชิงรุกรูปแบบการวิเคราะห์วิดีโอ (Analysis reactions to video) ส่วนนี้ทำให้ส่งเสริมการมีอิสระทางด้านความคิด และการกระทำของนักเรียน มีความคิดสร้างสรรค์ ค้นหาได้ผลการเรียนรู้ของตนเอง ผู้การเป็นผู้รู้คิด รู้ตัดสินใจด้วยตนเอง

ฟังก์ชัน Homework ให้นักเรียนทำแบบฝึกหัดหลังจากดูคลิปวิดีโอ ซึ่งสอดคล้องกับการเรียนรู้เชิงรุกแบบร่วมมือ (Collaborative Learning group) คือ เกิดการร่วมมือกันของนักเรียนในการแลกเปลี่ยนความรู้กับผู้อื่น โดยนักเรียนเกิดการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นซึ่งกันและกัน จากการทำโจทย์และเกิดความรับผิดชอบต่อตนเอง เกิดทีมตลอดจนเกิดความสำเร็จในภาพรวม

ฟังก์ชัน Game คือ หลังจากนักเรียนเรียนรู้แบบวิเคราะห์วิดีโอ บน Mobile Application จะมีฟังก์ชันเกม เพื่อใช้ในการวัดความรู้หลังจากการวิเคราะห์วิดีโอ ซึ่งสอดคล้องกับการเรียนรู้เชิงรุกแบบใช้เกม (Game) ทำให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้อย่างสร้างสรรค์

การเรียนรู้เชิงรุกเป็นรูปแบบ online บน Mobile Application ทำให้ปฏิสัมพันธ์ระหว่างครูผู้สอนและนักเรียนไม่เกิดปฏิสัมพันธ์กัน และอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการเรียน อาจจะไม่รองรับได้ทุกคน ความเสถียรของอินเทอร์เน็ต ของแต่ละคนแตกต่างกัน และเป็นการเรียนรู้ด้วยตนเองในห้องเรียน อาจจะไม่ทราบได้ว่าขณะเรียนรู้ด้วยตนเองนั้น มีความตั้งใจในเนื้อหาที่เรียนมากหรือน้อยเพียงใด และอาจทำให้นักเรียนเกิดการคิดโทรศัพท์

ตารางที่ 4 แบบประเมินความพึงพอใจในภาพรวมต่อการใช้งานของ Mobile Application สำหรับผู้เชี่ยวชาญ

ข้อที่	ข้อความ	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
ด้านประสิทธิภาพของการใช้งาน (Efficiency)				
1	Application สามารถใช้งานได้ลื่นไหลไม่ติดขัดขณะเปิดการใช้งาน	4.67	0.58	มากที่สุด
2	Application สามารถเพิ่มข้อมูลได้อย่างสะดวก	4.33	0.58	มาก
3	Application สามารถแสดงข้อความ รูปภาพและ รูปแบบรหัส Code ตัวอย่างได้อย่างรวดเร็ว	4.33	1.15	มาก
	ค่าเฉลี่ย	4.44	0.77	มาก
ด้านประสิทธิผล (Effectiveness)				
1	Application สามารถแสดงสิ่งที่สืบค้นได้ง่าย	4.00	1.00	มาก
2	Application สามารถแสดงข้อความ รูปภาพและรูปแบบรหัส Code ตัวอย่างได้ถูกต้องและเหมาะสม	4.67	0.58	มากที่สุด
3	ขั้นตอนการใช้งาน Application ไม่ซับซ้อน	4.67	0.58	มากที่สุด

ตารางที่ 4 แบบประเมินความพึงพอใจในภาพรวมต่อการใช้งานของ Mobile Application สำหรับผู้เชี่ยวชาญ (ต่อ)

ข้อที่	ข้อความ	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
	ค่าเฉลี่ย	4.44	0.72	มาก
ด้านการเรียนรู้ (Learn ability)				
1	Application สามารถแสดงเนื้อหาและรูปแบบตัวอย่างทำให้สามารถเรียนรู้และทำความเข้าใจได้ง่าย	4.67	0.58	มากที่สุด
2	สามารถใช้งาน Application ได้ด้วยตัวเอง	4.67	0.58	มากที่สุด
	ค่าเฉลี่ย	4.67	0.58	มากที่สุด
	ค่าเฉลี่ยรวม	4.52	0.69	มากที่สุด

จากตารางที่ 4 ผู้วิจัยได้ศึกษาความพึงพอใจในภาพรวมต่อการใช้งานของ Mobile Application ทั้ง 3 ด้าน คือ 1. ด้านประสิทธิภาพของการใช้งาน (Efficiency) 2. ด้านประสิทธิผล (Effectiveness) และ 3. ด้านการเรียนรู้ (Learn ability) Mobile Application พบว่าผลของการประเมินความพึงพอใจมีค่าเฉลี่ยรวมอยู่ในระดับมาก คือ 4.52 S.D. = 0.69 และพิจารณาในแต่ละด้าน พบว่า ด้านการเรียนรู้ หมายถึงความพึงพอใจที่มีต่อความสามารถของ Mobile Application ที่ทำให้ผู้ใช้งานสามารถเรียนรู้ได้ด้วยตัวเอง ได้คะแนนความพึงพอใจเฉลี่ยมากที่สุด คือ 4.67 S.D. = 0.58 ด้านประสิทธิภาพของการใช้งาน หมายถึงความพึงพอใจที่มีต่อความเร็วในการทำงานของ Mobile Application ได้คะแนนความพึงพอใจเฉลี่ย คือ 4.44 S.D. = 0.77 ด้านประสิทธิผล หมายถึงความพึงพอใจที่มีต่อความสามารถของ Mobile Application ที่ทำให้ผู้ใช้งานใช้งานได้อย่างถูกต้องและตรงตามเป้าหมาย ได้คะแนนความพึงพอใจเฉลี่ย คือ 4.4 S.D. = 0.72

4. สรุปผลการทดลอง

เรื่อง ผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้เชิงรุกบน Mobile Application ในรายวิชาคณิตศาสตร์กรณีศึกษา MTTs Math application ของนักเรียนช่วงฝีมือทหาร สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรายวิชาคณิตศาสตร์ของนักเรียนช่วงฝีมือทหาร ชั้นปีที่ 1 ที่เรียนรู้เชิงรุกบน Mobile Application สูงกว่าเรียนรู้ในห้องเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 แสดงให้เห็นถึงการเรียนรู้เชิงรุกบน Mobile Application มีผลต่อกระบวนการคิด ความเข้าใจ และทักษะทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนช่วงฝีมือทหาร ชั้นปีที่ 1 โดย Mobile Application ประกอบไปด้วยหลายฟังก์ชันด้วยกัน ไม่ว่าจะเป็นฟังก์ชัน lesson ที่ให้นักเรียนเรียนรู้ผ่านวิดีโอด้วยตนเอง ฟังก์ชัน Game ที่เกิดกระบวนการเรียนรู้โดยสอดแทรกเนื้อหาเข้าไปด้วย ฟังก์ชัน Homework ที่เกิดการแลกเปลี่ยนความรู้ร่วมกัน จนเกิดกระบวนการเรียนรู้เชิงรุกบน Mobile Application

2. ผู้เชี่ยวชาญมีความพึงพอใจต่อการใช้งาน Mobile Application มากที่สุด แสดงให้เห็นการออกแบบของ Mobile Application ที่มีความเหมาะสมต่อการใช้งาน มีความเข้าใจง่าย ขั้นตอนการใช้ไม่ซับซ้อน แสดงข้อความได้อย่างถูกต้อง

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณสถาบันวิชาการป้องกันประเทศและโรงเรียนช่างฝีมือทหาร ที่เปิดโอกาสให้เข้ามาทำวิจัย และขอขอบคุณผู้เชี่ยวชาญทุกท่านที่ตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือวิจัยและผู้เชี่ยวชาญให้ข้อมูลเพื่อวิจัยขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยรังสิต ที่ให้ทุนกองทัพไทยในการศึกษาระดับปริญญาโท โดยงานวิจัยนี้ได้รับรองจริยธรรมในคนเรียบร้อย แล้วรหัสหนังสือรับรอง COA. No. RSUERB2024-091

เอกสารอ้างอิง

- [1] ไทยรัฐออนไลน์.(2566). 10 อันดับกิจกรรมและพฤติกรรมการใช้อินเทอร์เน็ตของคนไทย 2566. สืบค้นเมื่อ 10 มกราคม 2567, จาก <https://www.thairath.co.th/lifestyle/life/2722450>
- [2] สำนักงานพัฒนาธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์. (2565) การสำรวจพฤติกรรมผู้ใช้อินเทอร์เน็ตในประเทศไทย Thailand Internet User Behavior. สืบค้นเมื่อ 10 มกราคม 2567, จาก <https://www.etda.or.th/>

- [3] สมนึก บุญปัญญา. (2566) “การออกแบบการจัดการเรียนรู้ที่เน้นกระบวนการเชิงรุก (Active Learning) เพื่อพัฒนาสมรรถนะนักเรียนตามรูปแบบ PLPSA + PBL”. *ครูสภาวิทยากร JOURNAL OF TEACHER PROFESSIONAL DEVELOPMENT*, 4 (1), 3
- [4] ปาริชาติ ชื่นเจริญ. “การพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้บอร์ดเกมเป็นฐานที่ส่งเสริมความฉลาดรู้ด้านระบบนิเวศ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4” *วิทยานิพนธ์ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา มหาวิทยาลัยนเรศวร*, 2564.
- [5] ประมินทร์ ธัญญะภู. “การพัฒนาการจัดการเรียนรู้โดยใช้เกมทางคณิตศาสตร์ เพื่อส่งเสริมทักษะการสื่อสาร และการนำเสนอทางคณิตศาสตร์ เรื่อง ความน่าจะเป็น ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3” *วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาคณิตศาสตร์ศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม*, 2566.
- [6] ดำรงค์ฤทธิ์ จันทรา. “การประยุกต์ใช้โปรแกรม Apsheet พัฒนาแอปพลิเคชัน เพื่อใช้ในการสอนพลศึกษา เรื่องสัญลักษณ์ของผู้ตัดสินกีฬาวอลเลย์บอล ของนักศึกษาชั้นปีที่4 มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ” *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ*, 14 (มกราคม – เมษายน 2563) : 85-86

[7] สถาพร พงษ์พิบูล . “คุณภาพผู้เรียนเกิดจากกระบวนการเรียนรู้ QUALITY OF STUDENTS DERIVED FROM ACTIVE LEARNING PROCESS”. วารสารการบริหารการศึกษา มหาวิทยาลัยบูรพา, 6 (เมษายน - กันยายน 2555) : 5,7-8,10-11

[8] นรินทร์ เจริญพันธ์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร. (2559).การจัดการเรียนการสอนแบบ Active Learning สืบค้นเมื่อ 31 มีนาคม 2567, จาก https://km.buu.ac.th/article/frontend/article_detail/141

[9] อัญญรัตน์ สอนสนาม, สมพร วงษ์เพ็ง, ภาวินี อ่างบุญตา, สุภารัตน์ บุตรไชย และ ธนัช ศรีพนม. (ตุลาคม 2565). “การพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุก (Active Learning) ร่วมกับการเรียนรู้ ผ่าน Google Sites รายวิชาวัสดุอุตสาหกรรมและการผลิต”. Journal of Modern Learning Development, 7(9), 2565

[10] กวิสรา อับดุลลาดีฟ. “การเสริมแอปพลิเคชันการเรียนการสอนเชิงรุก สำหรับภูเก็ลคลาสรูม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านสมรรถนะหลักของนักศึกษาอาชีวศึกษา วิทยาลัยการอาชีพปัตตานี” สารนิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศ, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2564

[11] Demeter.(2567). มีแอปพลิเคชันได้ง่ายๆ ใน 7 ขั้นตอนกับ AppSheet. สืบค้นเมื่อ 20 มกราคม 2567, จาก <https://www.etda.or.th/>

ประวัติผู้ประพันธ์ :



ชิตยา ก้านบัวแก้ว
ดำรงตำแหน่ง ครูวิชา
พื้นฐาน โรงเรียนช่างฝีมือ
ทหาร สถาบันวิชาการ
ป้องกันประเทศ สำเร็จ
การศึกษาจาก วิทยาศาสตร

บัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อปี พ.ศ.
2561 และปัจจุบันกำลังศึกษาวิทยาศาสตร
มหาบัณฑิต สาขาการจัดการนวัตกรรมดิจิทัล คณะ
วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุตี
มา พิศาลย์
ดำรงตำแหน่งอาจารย์
ประจำวิทยาลัยนวัตกรรมการ
ดิจิทัลเทคโนโลยี คณะ
วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัย

รังสิต สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาเทคโนโลยี จากสถาบันเทคโนโลยีระหว่าง
ประเทศสิรินธร เมื่อปี พ.ศ. 2549 ปัจจุบันเป็น
คณาจารย์ในวิทยาลัยนวัตกรรมการดิจิทัลเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยรังสิต และดำรงตำแหน่ง
ผู้อำนวยการหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาการจัดการนวัตกรรมดิจิทัล งานวิจัยที่สนใจ
ได้แก่การประมวลผลภาษาธรรมชาติ การรู้จำ
เสียง การแทนความรู้เชิงความหมาย ตลอดจน
การจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศและนวัตกรรม

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความ
SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY

ปีที่ 11 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน พ.ศ. 2568

ชื่อ – นามสกุล	ต้นสังกัด	
รองศาสตราจารย์ ดร.ปริญญา	สงวนสตัย	สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์
รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย	ฉิมฉวี	มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
รองศาสตราจารย์ ดร.จิรศักดิ์	ชาญวุฒิธรรม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร.พานิช	อินตะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
รองศาสตราจารย์ ดร.กวี	หวังนิเวศน์กุล	มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
รองศาสตราจารย์ ดร.ทวีชัย	สำราญวานิช	มหาวิทยาลัยบูรพา
รองศาสตราจารย์ ดร.จันทนา	ปัญญาวราภรณ์	มหาวิทยาลัยบูรพา
น.อ.ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไชโย	ธรรมรัตน์	มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุวรรณ	จันทิวาสารกิจ	มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นงนุช	เกตุย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกษมสุข	เสพศิริสุข	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โชคชัย	ชื่นวัฒนาประณีติ	มหาวิทยาลัยบูรพา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชฎาพร	เกตุมณี	มหาวิทยาลัยรามคำแหง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐ	โอธนาทรัพย์	มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
ดร.พิมพ์พรรณ	ทิพย์แสง	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
ดร.ภาณุวัฒน์	ด่านกลาง	มหาวิทยาลัยบูรพา
ดร.ชนกานต์	กิ่งแก้ว	สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์
ดร.สุริยา	แก้วอาษา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร

คำแนะนำสำหรับผู้เขียน

วารสาร SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY ตีพิมพ์ปีละ 2 ฉบับ โดยมหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ บทความที่พิจารณาตีพิมพ์ในวารสารนี้จะต้องเป็นบทความที่ไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารใดมาก่อน และไม่อยู่ในการพิจารณาของวารสารอื่นๆ เรื่องที่จะตีพิมพ์จะต้องได้รับการกลั่นกรองจากผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้องอย่างน้อย 2 คน กองบรรณาธิการอาจให้ผู้เขียนปรับปรุงให้เหมาะสมยิ่งขึ้นและทรงไว้ซึ่งสิทธิ์ในการคัดลอกตีพิมพ์หรือไม่ก็ได้

ประเภทผลงานที่ตีพิมพ์

1. บทความวิจัย (Research articles) เป็นผลงานที่เตรียมจากข้อมูลของผู้เขียน หรือทีมงานผู้เขียนได้ค้นคว้าวิจัยด้วยตนเอง
2. บทความวิชาการ (Academic articles) อาจแยกเป็นบทความปริทรรศน์ (Review articles) บทความเทคนิค (Technical article) เรียบเรียงจากการสืบค้น ตรวจสอบเอกสารวิชาการในสาขานั้นๆ และบทความพิเศษ (Special articles) เสนอความรู้ทั่วไปในด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

การเตรียมต้นฉบับบทความ

บทความหรือผลงานวิจัยที่นำเสนออาจอยู่ในรูปแบบภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ โดยจัดพิมพ์ด้วยโปรแกรมเวิร์ดโปรเซสเซอร์ ภายใต้ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ สำหรับตาราง แผนภาพและภาพประกอบในส่วน of ต้นฉบับจะต้องตามรูปแบบที่กำหนดเพื่อให้พร้อมตีพิมพ์ได้ทันที (Camera ready) ต้นแบบสำหรับบทความสามารถดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์ saujournalst.sau.ac.th

การส่งบทความ

ส่ง “ต้นฉบับบทความ” โดยไม่ต้องระบุชื่อที่อยู่และประวัติของผู้ประพันธ์และทีมงานและส่ง “ใบรับรองบทความ” ด้วยอิเล็กทรอนิกส์ไฟล์นามสกุล PDF และ ไฟล์ Doc ส่งผ่านระบบ Thaijo ได้ที่ วารสาร SAUJOURNALST

บทความทุกบทความที่เสนอมายังวารสาร SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY จะได้รับการกลั่นกรองโดยผู้ทรงคุณวุฒิ หากมีการแก้ไขหรือตอบรับการตีพิมพ์ผู้เขียนต้องส่งต้นฉบับอิเล็กทรอนิกส์ไฟล์นามสกุล PDF และ DOC ของบทความที่แก้ไข สอบถามข้อมูลเพิ่มเติมได้ที่ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์

โทรศัพท์ : 0-2807-4500-27 # 404 โทรสาร: 0-2807-4528

e-mail : saujournalst@sau.ac.th

ต้นฉบับสำหรับบทความที่เขียนเป็นภาษาไทยสำหรับวารสาร

SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY

ชื่อบทความ

Title of the Paper

ชื่อ-นามสกุล ผู้ประพันธ์ (ภาษาไทย)

ชื่อ-นามสกุล ผู้ประพันธ์ (ภาษาอังกฤษ)

ภาค/สาขาวิชา สถาบัน/มหาวิทยาลัย

ที่อยู่/ประเทศ

ผู้พิมพ์ประสานงาน : Your email address

วันที่รับบทความ: / วันที่แก้ไขบทความ: / วันที่ตอบรับการตีพิมพ์:

บทคัดย่อ นี่คือนิตยสารต้นฉบับสำหรับบทความของคุณเพื่อเสนอพิจารณาตีพิมพ์ในวารสาร SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY จัดพิมพ์ด้วย Microsoft Word for Windows โดยจัดระยะขอบบน 3.0 ซม. ระยะขอบขวา ขอบซ้ายและขอบล่าง 2.5 ซม. โดยมีการตั้งค่าขนาดของกระดาษ Custom size (19 ซม.x26.5 ซม.) หลัง “คำสำคัญ:” ให้กำหนดรูปแบบเป็น 2 สดมภ์ ด้วยความกว้าง 6.73 ซม. และระยะห่างสดมภ์ 0.5 ซม. พิมพ์บทความด้วยอักษร Angsana New ขนาด 13pt ความยาวของบทความไม่ควรเกิน 15 หน้า และสำหรับคำ **บทคัดย่อ คำสำคัญ และเอกสารอ้างอิง** ให้กำหนดเป็นตัวเข้ม-เอียงด้วยอักษร Angsana New ขนาด 14pt

คำสำคัญ : เว้น 1 บรรทัดหลังจากบทคัดย่อ แล้วพิมพ์คำสำคัญของบทความ (4-5 คำ)

Abstract This is a template of your full paper for publishing on SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY. Use Microsoft Word for Windows. Leave 3.0 cm. margins from the top, 2.5 cm. from the right side, left side and bottom. Please adjust the page setup to custom size (19 cm.x26.5 cm.) sheet. Use double-column format width of 6.73 cm. with a space of 0.5 cm. between columns after the keywords. Use 11 point Times New Roman font in typing the abstract. The length of paper should not be longer than 15 pages. For the headings, such as **Abstract, Keywords** and **References** use 12 point Times New Roman bold-Italic.

Keywords: Please leave one blank line after the *Abstract* and write your keywords (4-5 words).

1. บทนำ

ชื่อบทความภาษาไทย (ใช้ตัวอักษรAngsana New ขนาด 20pt ตัวเข้ม กลางหน้ากระดาษ) ตามด้วยชื่อบทความภาษาอังกฤษ (ใช้ตัวอักษร Times New Roman ขนาด 16pt ตัวเข้ม กลางหน้ากระดาษ) จากนั้นเว้น 1 บรรทัด ตามด้วยชื่อผู้ประพันธ์ (ใช้ตัวอักษรAngsana New ขนาด 13pt ตัวเข้มกลางหน้ากระดาษ) ภาควิชา/สาขาวิชา สถาบัน/มหาวิทยาลัย (ใช้ตัวอักษรAngsana New ขนาด 13pt กลางหน้า) และที่อยู่/ประเทศ(ใช้ตัวอักษรAngsana New ขนาด 13pt กลางหน้า) จากนั้นระบุ email address ของผู้พิมพ์/ประสานงาน (ใช้ตัวอักษร Times New Roman ขนาด 10pt กลางหน้า) หัวข้อเรื่องแต่ละข้อ (ใช้ตัวอักษร Angsana New ขนาด 15pt หน้าชิดขอบซ้าย) โดยใช้หมายเลขแบบอินดู อารบิก (1, 2, 3,...) ไม่ใช่แบบเลขโรมัน (I, II, III, ...).

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

สรุปอธิบายถึงขั้นตอนการทดลองและการวิเคราะห์และมีข้อมูลที่เพียงพอสำหรับคนอื่นๆ ที่จะสามารถที่จะทำให้เกิดการทดลองซ้ำได้

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

สำหรับชื่อหัวข้อใหญ่ใช้ตัวอักษรAngsana New ขนาด 15pt, ตัวเข้ม ชิดขอบซ้าย เรียงลำดับหัวข้อด้วย 1, 2, 3,... (ไม่ใช่ I, II, III,...) การขึ้นหัวข้อใหม่แต่ละครั้งให้เว้น 1 บรรทัด สำหรับสมการคณิตศาสตร์ให้จัดเรียงด้วย (1), (2), (3),...

3.1 หัวข้อย่อยลำดับที่ 1

หัวข้อข้อย่อยลำดับที่ 1 ใช้ตัวอักษร Angsana New ขนาด 13pt ตัวเข้ม ชิดขอบซ้าย

3.1.1 หัวข้อย่อยลำดับที่ 2

หัวข้อข้อย่อยลำดับที่ 2 ใช้ตัวอักษร Angsana

New ขนาด 13pt ตัวเข้ม ชิดขอบซ้าย

3.2 ตาราง รูป และการอ้างอิง

สำหรับรูปภาพตารางและการอ้างอิงตัวเลขควรเป็นเลขดังนี้ รูปที่ 1 รูปที่ 2, ... ฯลฯ (ที่กึ่งกลาง) และตารางควรจะเป็นเลขดังนี้ Table1, Table2 ... ฯลฯ (ที่ด้านซ้าย) การอ้างอิงในบทความให้ใช้เครื่องหมายวงเล็บเหลี่ยม เช่น [2] จะต้องเรียงลำดับหมายเลขอ้างอิงจากหมายเลขน้อยไปสู่หมายเลขมากให้ถูกต้อง การอ้างอิงหมายเลขที่มีลำดับติดต่อกัน ตัวอย่างเช่น[1-5]

4. สรุปผล

เพื่อให้ทุกบทความที่ได้รับการพิจารณาตีพิมพ์มีรูปแบบที่ตรงกัน ผู้ประพันธ์จะต้องจัดทำบทความตามต้นแบบ ไม่เช่นนั้นบทความของท่านจะถูกส่งคืนเพื่อปรับปรุงรูปแบบให้ตรงกับต้นแบบนี้ขอขอบคุณท่านสำหรับการให้ความร่วมมือ

5. กิตติกรรมประกาศ

ในส่วนนี้ไม่จำเป็นต้องมี แต่ท่านสามารถใช้ส่วนนี้ในการนำเสนอให้ทราบถึงผู้ที่สนับสนุนการทำงานวิจัยของท่าน เช่น นักศึกษาที่มีส่วนร่วม ผู้ที่มีส่วนร่วมจากภายในหรือภายนอก หรือองค์กรที่ให้ทุนสนับสนุน

6. หลักเกณฑ์ในการเขียนเอกสารอ้างอิง

การเขียนเอกสารอ้างอิงกำหนดให้ใช้ ตัวอักษร Angsana New ขนาด 13pt และเขียนตามตัวอย่างของเอกสารอ้างอิงในแม่แบบนี้ กรณีที่เป็น

เอกสารอ้างอิง [1] หมายถึง “หนังสือ”

เอกสารอ้างอิง [2] หมายถึง “รายงาน”

เอกสารอ้างอิง [3] หมายถึง “วารสาร”

เอกสารอ้างอิง [4] หมายถึง “ประชุมวิชาการ”

เอกสารอ้างอิง [5] หมายถึง “มาตรฐาน”

เอกสารอ้างอิง [6] หมายถึง “เว็บไซต์”

เอกสารอ้างอิง [7] หมายถึง “ปริญญาโท”

เอกสารอ้างอิง [8] หมายถึง “วิทยานิพนธ์”

เอกสารอ้างอิง [9] หมายถึง “คุณวุฒิบัตร”

โดยในกรณีที่เอกสารอ้างอิงเป็นภาษาไทยให้แปลเป็นภาษาอังกฤษและใส่คำว่า “(in Thai)” ต่อท้าย

เอกสารอ้างอิง

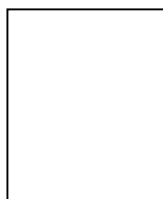
- [1] M. Ned, U. M. Tore and R. P. William, Power Electronic, John Wiley and sons, 1995.
- [2] The Federation of Thai Industries, Executive Summary: Eco-industrial development under the cost to develop green industry, 2013(in Thai).
- [3] D. Susa and H. Nordman, “A Simple model for calculating transformer hot-spot temperature,” *IEEE Transaction on Power Delivery*, vol. 24, no.3, pp.1257-1264, Jul. 2009.
- [4] C. Tangsiriworakul, S. Tadsuan, “A Comparison of iron losses and acoustic noise supplied by pwm inverter of dm and spwm techniques,” in *Proc. International Conference on Mechanical and Electrical Technology (ICMET 2009)*, China, 8-11Aug. 2009, pp. 105-110.
- [5] IEEE Guide for loading mineral-oil-immersed overhead and pad-mounted distribution transformers rated 500 kVA and less with 65°C or 55°C average winding rise, ANSI/IEEE C57.91-1981.
- [6] Wikipedia. (2010, Jun. 28). “Biodiesel” [Online]. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/Biodiesel>
- [7] K. Khianjutturut, W. Chaingam, S. Damrongnavavith, S. Nitcumharn, and A. Duangin, “The software implement for electric energy data logger of single-phase kilowatt-hour meter

with image signal processing,” Student’s Project, Dep. Elec. Eng., Southeast Asia Univ., 2014 (in Thai).

- [8] C. Bundanphrai, “A comparison of electric power and temperature on three- phase induction motor by varying wind flow with damper and pwm inverter supply,” M.S. Thesis, Southeast Asia Univ., 2014 (in Thai).
- [9] V. Kinnares, “Measurement, Analysis and prediction of harmonic power losses in pwm feed induction motors,” Ph.D. Dissertations, Univ., Nottingham, 1997.

หมายเหตุ กรณีที่เอกสารอ้างอิงเป็นภาษาไทย ให้แปลเป็นภาษาอังกฤษและใส่คำว่า “(in Thai)” ต่อท้าย

ประวัติผู้ประพันธ์ :



ผู้ประพันธ์ระบุประวัติโดยย่อของตนเอง ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับประวัติศึกษาตำแหน่ง สถานที่ทำงาน และงานวิจัยที่สนใจ พร้อม

รูปถ่าย ขนาด 2 ซม. x 2.4 ซม.

Guidelines for Contributors

SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY is published two-annually by Southeast Asia University. All articles are considered for publication in this journal will have to follow the following conditions, 1) they have not been published elsewhere and 2) they are not currently being submitted for consideration in any other journals. All articles are independently assessed (peer reviewed) by at least three specialists in their relevant fields. The editor board reserves a privilege to ask the authors to improve their articles, and to decide whether submitted articles should be published or not.

Types of work published

1. Research articles by individual or team researchers.
2. Academic articles include review articles, technical articles, and special articles on science and technology.

Manuscripts

Manuscripts must be prepared to meet professional standards using word processors on Windows. The table, diagrams and illustrations in the contributed manuscripts should be in a camera-ready format. For the template article can be downloaded from the website <http://saujournalst.sau.ac.th>

Submission

The manuscripts of the prospective contributors should be submitted to the editor-in-chief. Authors must submit manuscript (without name, address and authors, biography notifications) with electronic file (PDF) and "Copyright Transfer Form".

- Directly to the editor-in-chief of SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY, Faculty of Engineering, Southeast Asia University.

- By mail to the editor-in-chief of SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY, Faculty of Engineering, Southeast Asia University, 19 / 1, Nongkhangphlu, Nongkhaem, Bangkok 10160, Thailand.

- By online at Website saujournalst.sau.ac.th

All papers submitted to SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY are subject to peer review. If revised or accepted of article should be submitted the manuscript (PDF and DOC) to the editor-in-chief. You may contact us using the information listed at Southeast Asia University, Tel.#: 0-2807-4500-27 EXT 331, FAX : 0-2807-4528 19/1, Nongkhangphlu, Nongkhaem, Bangkok 10160, Thailand; Email address : SAUJournalST@sau.ac.th

Manuscripts of paper writing as english language for SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY

Title of the Paper

Author's Names

Department, University

Address, (country)

Corresponding author : e-mail address

Received: / Revised: / Accepted:.....

บทคัดย่อ นี้คือต้นแบบสำหรับบทความของคุณเพื่อเสนอพิจารณาตีพิมพ์ในวารสาร SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY จัดพิมพ์ด้วย Microsoft Word for Windows โดยจัดระยะขอบบน 3.0 ซม. ระยะขอบขวา ขอบซ้ายและขอบล่าง 2.5 ซม. โดยมีการตั้งค่าขนาดของกระดาษ Custom size (19 ซม.x26.5 ซม.) หลัง “คำสำคัญ :” ให้กำหนดรูปแบบเป็น 2 สดมภ์ ด้วยความกว้าง 6.73 ซม. และระยะห่างสดมภ์ 0.5 ซม. พิมพ์บทความด้วยอักษร Angsana New ขนาด 13pt ความยาวของบทความไม่ควรเกิน 15 หน้า และสำหรับคำบทคัดย่อ คำสำคัญ และ**เอกสารอ้างอิง** ให้กำหนดเป็นตัวเข้ม-เอียงด้วยอักษร Angsana New ขนาด 14pt

คำสำคัญ : เว้น 1 บรรทัดหลังจากบทคัดย่อ แล้วพิมพ์คำสำคัญของบทความ (4-5 คำ)

Abstract This is a template of your full paper for publishing on SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY. Use Microsoft Word for Windows. Leave 3.0 cm. margins from the top, 2.5 cm. from the right side, left side and bottom. Please adjust the page setup to custom size (19 cm.x26.5 cm.) sheet. Use double-column format width of 6.73 cm. with a space of 0.5 cm. between columns. Use 11 point Times New Roman font in typing the abstract. The length of paper should not be longer than 15 pages. For the headings, such as **Abstract**, **Keywords** and **References** use 12 point Times New Roman bold-Italic.

Keywords : Please leave one blank line after the Abstract and write your keywords (4-5 words).

1. Introduction

The title of the paper you must use 16 point Times New Roman in Bold at the center of the page. Leave one blank line and type the authors' names, department and country in capital letters with 11 point Times New Roman in Bold and centered. For the corresponding author, use 11 point Times New Roman centered. The heading of each section should be printed in small 12 point, left justified, bold Times New Roman font. Use Hindu-Arabic number (1, 2, 3,...) for the section's numbering and not the Roman Numerals (I, II, III, ...).

2. Materials and Methods

Brief description of the experimental procedure and analysis and sufficient information for others to be able to reproduce the experiments.

3. Results and Discussion

For section heading, use 12 point left justified Times New Roman in bold, numbered as follows : 1, 2, 3,... (not I, II, III,...). Please leave one blank spaces between successive sections. Mathematical equations must be numbered as follows : (1), (2), (3)....

3.1 Subsection

For subsection heading, use 11 point left justified Times New Roman in bold.

3.1.1 Sub-subsection

When including a sub-subsection, use 11 point left justified Times New Roman in bold.

3.2 Figures, Tables and Reference

Figures should be numbered as follows: Fig.1, Fig.2, ... etc.(at center) and Tables should be numbered as follows: Table.1, Table.2, ... etc.(at Left). Type the corresponding number of references in square brackets.

4. Conclusion

Please follow our instructions faithfully, otherwise, you have to resubmit your paper. This will enable us to maintain uniformity in the journal. Thank you for your cooperation.

5. Acknowledgement

This section is optional. You can use this section to acknowledge support you have had for your research from your colleagues, student's participation, internal or external partners' contribution or funding organization.

6. Rules for writing reference

The letter, in 11 point Times New Roman, will be used for writing reference and the reference in this template being subject to the condition as below :

Ref. [1] stand for "Book"

Ref. [2] stand for "Report"

Ref. [3] stand for "Journal"

Ref. [4] stand for "Conference"

Ref. [5] stand for "Standard"

Ref. [6] stand for "Website"

Ref. [7] stand for "Student' Project"

Ref. [8] stand for "Thesis"

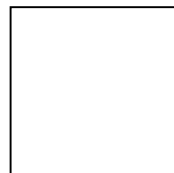
Ref. [9] stand for "Dissertation"

In case of reference written in Thai being used. It need to be translated to English and put the word "(in Thai)" at the back of reference.

References

- [1] M. Ned, U. M. Tore and R. P. William, Power Electronic, John Wiley and sons, 1995.
- [2] The Federation of Thai Industries, Executive Summary: Eco-industrial development under the cost to develop green industry, 2013. (in Thai)
- [3] D. Susa and H. Nordman, "A Simple model for calculating transformer hot-spot temperature," IEEE Transaction on Power Delivery, vol. 24, no.3, pp. 1257-1264, Jul. 2009.
- [4] C. Tangsiriworakul, S. Tadsuan, "A Comparison of iron losses and acoustic noise supplied by pwm inverter of dm and spwm techniques," in Proc. International Conference on Mechanical and Electrical Technology (ICMET 2009), China, 8-11 Aug. 2009, pp. 105-110.
- [5] IEEE Guide for loading mineral-oil-immersed overhead and pad-mounted distribution transformers rated 500 kVA and less with 65 °C or 55 °C average winding rise, ANSI/IEEE C57.91-1981.
- [6] Wikipedia. (2010, Jun. 28). "Biodiesel" [Online]. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/Biodiesel>
- [7] K. Khianjutturut, W. Chaingam, S. Damrongnavavith, S. Nitcumharn, and A. Duangin, "The software implement for electric energy data logger of single-phase kilowatt-hour meter with image signal processing," Student's Project, Dep. Elec. Eng., Southeast Asia Univ., 2014. (in Thai)
- [8] C. Bundanphrai, "A comparison of electric power and temperature on three-phase induction motor by varying wind flow with damper and pwm inverter supply," M.S. Thesis, Southeast Asia Univ., 2014. (in Thai)
- [9] Kinnares, "Measurement, Analysis and prediction of harmonic power losses in pwm fed induction motors," Ph. D. Dissertations, Univ., Nottingham, 1997.

Authors' Biography:



The author should include a brief introduction about his/ her interest in the research topic and a scanned 2 cm. x 2.4 cm.

photo attached the original manuscript



หมายเลขบทความ
(เฉพาะเจ้าหน้าที่กรอก)

แบบฟอร์มใบรับรองบทความ SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY

1. ประเภทของบทความ (Article type)

- ☐ วิจัย (Research) ☐ วิชาการปริทรรศน์ (Periscope academic) ☐ วิชาการเทคนิค (Academic technical)
☐ วิชาการพิเศษ (Special academic) ☐ อื่น ๆ (Others).....

2. สาขาบทความที่ส่ง

- ☐ Electrical Engineering ☐ Electronic & communication Engineering ☐ Industrial Engineering
☐ Civil Engineering ☐ Computer Science & Engineering ☐ Mechanical Engineering
☐ Agricultural Engineering ☐ Occupational Health & Safety ☐ Environment Engineering
☐ Energy ☐ Etc..

3. ชื่อบทความ (Article title)

ภาษาไทย :

English :

4. ชื่อ-สกุลของผู้รับผิดชอบประสานงาน (Name-Family name of corresponding author):

:

5. สถานที่ติดต่อของผู้รับผิดชอบประสานงาน (Contact location of corresponding author)

ที่อยู่ (Address):

.....

โทรศัพท์ (Tel.) โทรสาร (Fax) E-mail:

6. รายชื่อและที่อยู่ของเจ้าของบทความทั้งหมด (List of names and addresses of all article authors)

ชื่อ-สกุล (ภาษาไทย ตัวบรรจง)	Name-Family name. (Scripted)	หน่วยงาน (Affiliation)	โทรศัพท์ (Tel.)	E-mail
1.				
2.				
3.				

7. เสนอรายชื่อผู้ประเมิน (Proposed a list of reviewers/evaluators)

ชื่อ-สกุล (Name-Family name)	หน่วยงาน (Affiliation)	โทรศัพท์ (Tel.)	E-mail
1.			
2.			
3.			
4.			

8. การรับรองบทความ (Certification of article)

☐ ขอรับรองว่าบทความต้นฉบับนี้ยังไม่เคยได้รับการเผยแพร่และตีพิมพ์ในวารสารอื่นใดมาก่อน

(I certify that this original article has not been previously published or submitted in any other journal.)

ขอรับรองว่าข้อความดังกล่าวข้างต้นเป็นจริงทุกประการ (I hereby certify that the above statement is true in all respects.)

ลงชื่อ (Sign).....ผู้รับผิดชอบประสานงาน (Corresponding author)

()

วัน (date)..... เดือน (month)..... พ.ศ. (year).....

หมายเหตุ ส่งแบบฟอร์มนี้มาพร้อมกับบทความตามช่องทางในคำแนะนำสำหรับผู้เขียน (การส่งบทความ)

Note: Submit this form with your article according to the instructions for authors. (Article submission)



สมาชิกเลขที่

.....

ใบสมัครสมาชิก SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY

วันที่สมัคร

ข้าพเจ้า นาย/นาง/นางสาว สกุล อาชีพ

ที่อยู่ (สำหรับจัดส่งวารสาร) เลขที่ ถนน แขวง/ตำบล

เขต/อำเภอ จังหวัด รหัสไปรษณีย์

โทรศัพท์ โทรสาร E-mail

มีความประสงค์สมัครเป็นสมาชิก

อัตราค่าสมาชิก

☐ ปี (2 ฉบับ/ปี)

500 บาท

พร้อมกันนี้ได้ส่งค่าสมาชิก จำนวน บาท

จำนวนเงิน(ตัวอักษร)

โอนเงินเข้าบัญชีธนาคาร ชื่อบัญชี เลขที่บัญชี

หมายเหตุ 1. กรุณาส่งสำเนาใบเสร็จการจ่ายเงินมาที่ E-mail Address : saujournalst@sau.ac.th

พร้อมเขียนชื่อ-นามสกุล และหมายเลขสมาชิก (ถ้ามี)

ลงชื่อ ผู้สมัคร

(.....)

สำนักวิจัย มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ 19/1 ถนนเพชรเกษม แขวงหนองค้างพลู เขตหนองแขม กรุงเทพฯ 10160

โทรศัพท์ 0-2807-4500-27 ต่อ 404 โทรสาร 0-2807-4528 E-mail Address : saujournalst@sau.ac.th

สาขาวิชาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่เปิดสอน

ปริญญาเอก

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า (ปร.ด.)

ปริญญาโท

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า (วศ.ม.)

สาขาวิชาบริหารงานวิศวกรรมการก่อสร้าง (วศ.ม.)

ปริญญาตรี

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม (วศ.บ.)

สาขาวิชาวิศวกรรมความปลอดภัย (วศ.บ.)

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ (IoT) (วศ.บ.)

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา (วศ.บ.)

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า (วศ.บ.)

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ (วศ.บ.)

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล (วศ.บ.)

สาขาวิชาดิจิทัลมีเดีย (วท.บ.)

สาขาวิชาเทคโนโลยีดิจิทัลและนวัตกรรม (วท.บ.)



มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
SOUTHEAST ASIA
UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์

19/1 ถนนเพชรเกษม 106 หองแชน กรุงเทพฯ 10160

โทรศัพท์ 02-807-4500-27 ต่อ 404

Email : saujournalst@sau.ac.th

