

STJ RMUTK

Journal of Science and Technology
Rajamangala University of Technology Krungthep

ฉบับที่ 01



2026

JANUARY - APRIL

ปีที่ 3 ฉบับที่ 1 มกราคม - เมษายน

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ISSN 2392-5647 (PRINT) ISSN XXXX-XXXX (ONLINE)

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ



(Journal of Science and Technology Rajamangala University of Technology Krungthep)

ปีที่ 3 ฉบับที่ 1 เดือน มกราคม – เมษายน 2569

ISSN 2392-5647 (Print) ISSN xxxx-xxxx (Online)

เจ้าของวารสาร

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

วัตถุประสงค์ในการพิมพ์

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.กรุงเทพ (STJ) จัดทำขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่บทความวิชาการและบทความวิจัย ด้านวิทยาศาสตร์ วิทยาศาสตร์ประยุกต์ เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สถาปัตยกรรมการออกแบบ เทคโนโลยีและอุตสาหกรรมเกษตร การบูรณาการความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีร่วมกับศาสตร์ต่าง ๆ ที่หลากหลาย รวมถึงวิชาการที่เกี่ยวข้องกับการบริหารธุรกิจหรือการศึกษา อีกทั้งเพื่อเป็นสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนความรู้ทางวิชาการ โดยมีกลุ่มเป้าหมายหลักคือบุคลากรสายวิชาการและสายสนับสนุน นักวิจัย และนักศึกษา ทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย

ขอบเขตเนื้อหาการตีพิมพ์

- สาขาวิทยาศาสตร์
- สาขาวิทยาศาสตร์ประยุกต์
- สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร
- สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
- สาขาสถาปัตยกรรมและการออกแบบ
- สาขาอุตสาหกรรมเกษตร
- สาขาการจัดการนวัตกรรมและเทคโนโลยี
- สาขาความรู้ทางวิชาการที่เกี่ยวข้องกับการบริหารธุรกิจ หรือการศึกษา

กำหนดการเผยแพร่ ปีละ 3 ฉบับ

- ฉบับที่ 1 มกราคม – เมษายน
- ฉบับที่ 2 พฤษภาคม – สิงหาคม
- ฉบับที่ 3 กันยายน – ธันวาคม

ประเภทของบทความ

บทความวิจัย และบทความวิชาการ

กระบวนการพิจารณาบทความ

ทุกบทความที่ส่งให้วารสารพิจารณาจะถูกกลั่นกรองและประเมินคุณภาพโดยผู้ทรงคุณวุฒิที่มีความเชี่ยวชาญในสาขาต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องอย่างน้อย 3 ท่าน ต่อบทความ ดำเนินการตรวจสอบโดยที่ผู้แต่งไม่ทราบชื่อผู้ประเมิน และผู้ประเมินไม่ทราบชื่อผู้แต่ง (Double-Blind Peer Review)

ที่ปรึกษาวารสาร

รองศาสตราจารย์ ดร. พิชัย จันทรมณี

อธิการบดี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ครรชิต กำลั๊งกล้า

คณบดี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. กรุงเทพ

บรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ผิวพรรณ ประจันต์ศรี รองคณบดี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. กรุงเทพ

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พุดกรอง พันธุ์โม่งค์

ผู้ช่วยคณบดี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. กรุงเทพ

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร. ทวี ตันขศิริ

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ศาสตราจารย์ ดร. พิเชฐ ลิ้มสุวรรณ

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

รองศาสตราจารย์ ดร. ทรงวุฒิ เอกวุฒิจา

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รองศาสตราจารย์ ดร. วรธิดา ชัยญาณะ

คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

รองศาสตราจารย์ ดร. นิรัช สุดสังข์

คณะสถาปัตยกรรม ศิลปะและการออกแบบ มหาวิทยาลัยนเรศวร

รองศาสตราจารย์ ดร. วิษณุ ธงไชย

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

รองศาสตราจารย์ ดร. อีรพร กงบังเกิด

คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

มหาวิทยาลัยนเรศวร

รองศาสตราจารย์ ดร. พงศยุทธ์ จันทอง

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วีรพัฒน์ พลอัน

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อาทิตยา มีหนองหัว

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. กรุงเทพ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รุ่งทิวา เสาร์สิงห์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. กรุงเทพ

ดร. นชพรรณ จันทอง

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. กรุงเทพ

คณะกรรมการกองบรรณาธิการวารสาร

คณะกรรมการดำเนินงานวารสาร

รศ. ดร. อุดมเดช ภัคดี
รศ. ดร. กิตติศาสตร์ กระบวน
ผศ. ดร. รุ่งทิวา เสาร์สิงห์
ผศ. ดร. ดวงสุรีย์ แสนสีระ
ผศ. ดร. วีระ ทองเนตร
ผศ. ดร. อรสา พัสตุ
ผศ. ดร. เทพรัตน์ ลีลาสัตตัตนกุล
ดร. สุรีย์พร นวลนัม
ดร. อ้อมใจ บุขง
ดร. นัยน์ปพร จารุเกษตรวิทย์
ดร. อภิรักษ์ อภิธนา
ดร. พะวิชา ไพรัชชาตินิยม
อาจารย์ มณฑิตา พรหมมณโชติ
อาจารย์ กานดา คล้ายวรรณะ
อาจารย์ เสน่ห์ สำเภาเงิน

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. กรุงเทพฯ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. กรุงเทพฯ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. กรุงเทพฯ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. กรุงเทพฯ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. กรุงเทพฯ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. กรุงเทพฯ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. กรุงเทพฯ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. กรุงเทพฯ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. กรุงเทพฯ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. กรุงเทพฯ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. กรุงเทพฯ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. กรุงเทพฯ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. กรุงเทพฯ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. กรุงเทพฯ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. กรุงเทพฯ

ฝ่ายจัดการด้านเทคนิคและการออกแบบศิลปกรรม

ผศ. ดร. พุดกรอง พันธุ์อุโมงค์
ดร. ประภาพร ร้อยพรมมา
อาจารย์ วรชัย บุษามสาย
นายนิทรรศ นามแดง

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. กรุงเทพฯ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. กรุงเทพฯ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. กรุงเทพฯ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. กรุงเทพฯ

จัดพิมพ์โดย

สาขาวิชาเทคโนโลยีการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ติดต่อสอบถาม

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
เลขที่ 2 ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120
โทร. 0-287-9600 ต่อ 2111, มือถือ 08-6415-2558
E-mail: science.st@mail.rmutk.ac.th
เว็บไซต์วารสาร: <https://li04.tci-thaijo.org/index.php/stjrmutk>



รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความ
วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ปีที่ 3 ฉบับที่ 1 มกราคม – เมษายน 2569

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. โสภา แซ่เฮ้ง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จรรย์ คนแรง	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. คันธมาทน์ กาญจนภูมิ	มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พัชรพร ภูวดลไพศาล	มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วชิรญา เหลียวตระกูล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รุ่งโรจน์ สุขใจमुख	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธนากร ปามุทา	มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อมร เจือดี	มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี
ดร. เกียรติศักดิ์ ใจโต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
อาจารย์ ดารุณี บุญมา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

บทบรรณาธิการ

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ฉบับนี้เป็นปีที่ 3 ฉบับที่ 1 ประจำเดือน มกราคม – เมษายน พ.ศ. 2569 วัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่บทความวิชาการและบทความวิจัย ด้านวิทยาศาสตร์ วิทยาศาสตร์ประยุกต์ เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สถาปัตยกรรมการออกแบบ เทคโนโลยีและอุตสาหกรรมเกษตร การบูรณาการความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีร่วมกับศาสตร์ต่าง ๆ ที่หลากหลาย รวมถึงวิชาการที่เกี่ยวข้องกับธุรกิจและอุตสาหกรรม ในฉบับนี้ได้รวบรวมบทความวิจัย จำนวน 3 บทความ ซึ่งได้รับการพิจารณากลั่นกรองและประเมินคุณภาพโดยผู้ทรงคุณวุฒิที่มีความเชี่ยวชาญในสาขาต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องจำนวนอย่างน้อย 3 ท่านต่อบทความ โดยมาจากหลากหลายสถาบัน เพื่อให้บทความมีความสมบูรณ์และมีคุณภาพมากที่สุด

คณะกรรมการบรรณาธิการขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบคุณภาพและกลั่นกรองบทความทุกท่านที่ได้ให้ข้อเสนอแนะเพื่อพัฒนาบทความของวารสารให้มีคุณภาพ และขอขอบคุณเจ้าของผลงานทุกท่านที่ให้เกียรติส่งผลงานเพื่อรับการพิจารณาตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ และคณะกรรมการทุกท่านที่มีส่วนร่วมทำให้มีวารสารฉบับนี้มีคุณค่าทางวิชาการและเผยแพร่ในวงกว้าง คณะกรรมการบรรณาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่า บทความที่ดีตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารฉบับนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านการศึกษา การทำงานวิจัย รวมถึงการอ้างอิงงานวิจัย ของนักศึกษา นักวิชาการ อาจารย์ และนักวิจัย ได้เป็นอย่างดี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ผิวนพรรณ ประจันต์ศรี

รองคณบดีฝ่ายวิชาการ

บรรณาธิการวารสาร

สารบัญ

บทความวิจัย	หน้า
การวิเคราะห์เชิงพลังงานและการประเมินระยะเวลาการสำรองไฟของระบบแบตเตอรี่สำหรับ โหลดสำคัญในระบบจ่ายไฟฟ้าแบบผสมผสานสำหรับอาคาร Energy Based Analysis and Backup Duration Evaluation of Battery Systems for Critical Loads in Hybrid Power Distribution Systems for Buildings ศุภณัฐ อัยกัม และพูนศรี วรรณการ	1 - 11
การจำแนกข้อความ SMS ภาษาไทย จากมิจฉาชีพ ด้วย Machine Learning Classifying Thai SMS Messages from Scammers Using Machine Learning พิรพล ศรีบุญ, พรมนัส วรรณศรี, จีรวัด ไร่เจริญ, วาสนา ดั่งเหมือน และ สุรเทพ แป้นเกิด	12 - 18
ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และพัฒนาเซรั่มบำรุงผิวจากสารสกัดเมล็ดมะละกอ Antioxidant Activity and Development of Skin Care Serum from Papaya Seed Extracts วันทนา มงคลวิสุทธิ์, นภาพรณ หล่ำเล็ก, จุฑาทิพย์ ไบตานี และ วิภา ทัพเชียงใหม่	19 - 29
ภาคผนวก	
คำแนะนำการส่งบทความ	
การเตรียมต้นฉบับเพื่อตีพิมพ์	
จริยธรรมการตีพิมพ์	

การวิเคราะห์เชิงพลังงานและการประเมินระยะเวลาการสำรองไฟของระบบแบตเตอรี่สำหรับ โหลดสำคัญในระบบจ่ายไฟฟ้าแบบผสมผสานสำหรับอาคาร

Energy Based Analysis and Backup Duration Evaluation of Battery Systems for Critical Loads in Hybrid Power Distribution Systems for Buildings

ศุภณัฐ อัยกิม^{1*} และพูนศรี วรรณการ¹

Supanut Ouikim^{1*} and Poonsri Wannakarn¹

¹สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กรุงเทพฯ 10800

¹Division of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Bangkok 10800

*Corresponding Author: supanut-ou@rmutp.ac.th

Received 26 กุมภาพันธ์ 2569; Revised 12 เมษายน 2569; Accepted 22 เมษายน 2569

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์เชิงพลังงานและการประเมินระยะเวลาการสำรองไฟของระบบแบตเตอรี่สำหรับโหลดสำคัญ (Critical Loads) ในระบบจ่ายไฟฟ้าแบบผสมผสานสำหรับอาคาร โดยมุ่งเน้นกรอบการคำนวณที่มีความโปร่งใส ตรวจสอบย้อนกลับได้ และเหมาะสำหรับการประเมินเบื้องต้นโดยไม่ต้องพึ่งพาซอฟต์แวร์จำลองเฉพาะทาง งานวิจัยนี้ได้พัฒนากลอบการคำนวณด้วย Microsoft Excel ในลักษณะโครงสร้างลำดับขั้น ประกอบด้วยส่วนกำหนดข้อมูลตั้งต้น (Inputs) ส่วนคำนวณสถานะประจุแบตเตอรี่ตามเวลา (SOC Calculation) และส่วนวิเคราะห์ความไวของพารามิเตอร์ (Sensitivity Analysis) เพื่อประเมินพลังงานที่ใช้งานได้จริงและระยะเวลาการสำรองไฟภายใต้พารามิเตอร์สำคัญ ได้แก่ ความจุแบตเตอรี่ ระดับการคายประจุที่อนุญาต ประสิทธิภาพรวมของระบบแปลงกำลัง และกำลังไฟฟ้าของโหลดสำคัญ นอกจากนี้ยังมีการตรวจสอบความสอดคล้องของผลลัพธ์ระหว่างการคำนวณด้วยสมการเชิงพลังงานแบบปิดรูปและการคำนวณแบบช่วงเวลา เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของแนวทางที่เสนอ ผลการศึกษานำเสนอในรูปกราฟสถานะประจุแบตเตอรี่ตามเวลา และความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการสำรองไฟกับพารามิเตอร์หลัก โดยกรณีฐานที่กำหนด $E_{bat} = 100$ kWh, $DoD = 0.8$, $\eta_{sys} = 0.9$ และ $P_{crit} = 10$ kW ให้ระยะเวลาการสำรองไฟเท่ากับ 7.2 ชั่วโมง ผลการวิเคราะห์ความไวแสดงให้เห็นว่า ระยะเวลาการสำรองไฟแปรผันตรงกับความจุแบตเตอรี่และประสิทธิภาพรวมของระบบ และแปรผกผันกับกำลังไฟฟ้าของโหลดสำคัญ แนวทางที่นำเสนอจึงสามารถใช้เป็นเครื่องมือสนับสนุนการออกแบบและการประเมินความเพียงพอของระบบสำรองไฟในอาคารได้อย่างเป็นระบบ กระชับ และตรวจสอบได้

คำหลัก: ระบบแบตเตอรี่; โหลดสำคัญ; ระบบจ่ายไฟฟ้าแบบผสมผสาน; ระยะเวลาการสำรองไฟ; การวิเคราะห์เชิงพลังงาน

Abstract

This paper presents an energy-based analysis and backup duration evaluation of battery systems supplying critical loads in hybrid power distribution systems for buildings. The proposed approach emphasizes a transparent, traceable, and practically applicable calculation framework suitable for

preliminary assessment without relying on specialized simulation tools. In this study, a structured Microsoft Excel framework is developed, consisting of three main parts: Inputs, SOC Calculation, and Sensitivity Analysis. The framework is used to estimate usable energy and backup duration under key parameters, including battery capacity, allowable depth of discharge, overall conversion efficiency of the power conversion system, and critical-load demand. In addition, a consistency check between the closed-form energy-based calculation and the time-step calculation is included to improve the credibility of the proposed method. The results are presented in terms of battery state-of-charge trajectories over time and parametric relationships between backup duration and major system variables. For the base case of $E_{bat} = 100$ kWh, $DoD = 0.8$, $\eta_{sys} = 0.9$, and $P_{crit} = 10$ kW, the calculated backup duration is 7.2 hours. Sensitivity analysis shows that backup duration increases with battery capacity and system efficiency, and decreases with critical-load demand. The proposed framework therefore provides a concise and verifiable tool for preliminary design and adequacy assessment of battery backup systems for building critical loads.

Keywords: battery systems; critical loads; hybrid power distribution; backup duration; energy-based analysis

1. บทนำ

ปัจจุบันระบบจ่ายไฟฟ้าในอาคารมีแนวโน้มพัฒนาไปสู่รูปแบบผสมผสาน (Hybrid Power Distribution Systems) อันเนื่องมาจากการบูรณาการแหล่งจ่ายพลังงานหลายประเภท ได้แก่ ระบบไฟฟ้าจากโครงข่ายหลัก พลังงานหมุนเวียน และระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ การพัฒนาในลักษณะดังกล่าวมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความมั่นคง ความยืดหยุ่น และความต่อเนื่องของการจ่ายพลังงาน โดยเฉพาะในอาคารที่มีโหลดสำคัญ (Critical Loads) เช่น ระบบไฟฟ้าฉุกเฉิน ระบบควบคุมระบบสื่อสาร และระบบความปลอดภัย ซึ่งจำเป็นต้องได้รับพลังงานอย่างต่อเนื่องแม้ในกรณีที่แหล่งจ่ายหลักเกิดความขัดข้อง [1]–[5] ภายใต้บริบทดังกล่าว ระบบแบตเตอรี่สำรองไฟจึงมีบทบาทสำคัญ และ “ระยะเวลาการสำรองไฟ” (Backup Duration) กลายเป็นตัวชี้วัดหลักในการประเมินความเพียงพอของระบบในเชิงวิศวกรรมไฟฟ้าอาคาร โดยทั่วไป การประเมินความสามารถของระบบแบตเตอรี่สำรองไฟมักอาศัยซอฟต์แวร์จำลองเชิงพลวัต (Dynamic Simulation Software) ซึ่งสามารถให้ผลลัพธ์ที่ละเอียดและครอบคลุมพฤติกรรมของระบบภายใต้เงื่อนไขต่าง ๆ ได้อย่างแม่นยำ อย่างไรก็ตาม ซอฟต์แวร์ลักษณะดังกล่าวมักมีลักษณะเป็น

“black-box” กล่าวคือ ผู้ใช้งานไม่สามารถเข้าถึงหรือเข้าใจความสัมพันธ์เชิงกายภาพภายในแบบจำลองได้อย่างชัดเจน อีกทั้งยังมีข้อจำกัดในด้านความยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ให้สอดคล้องกับเงื่อนไขงาน รวมถึงความซับซ้อนในการใช้งาน ซึ่งอาจไม่เหมาะสมสำหรับการประเมินเบื้องต้น การออกแบบในระยะเริ่มต้น หรือการนำเสนอข้อมูลเชิงวิศวกรรมเพื่อประกอบการตัดสินใจ จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่างานวิจัยส่วนใหญ่ในด้านระบบกักเก็บพลังงานมุ่งเน้นไปที่การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ การจำลองพฤติกรรมเชิงพลวัตของแบตเตอรี่ หรือการพัฒนาอัลกอริทึมควบคุมขั้นสูงภายใต้เงื่อนไขโหลดแปรผัน [1], [3], [4] อีกทั้งยังมีงานศึกษาที่พิจารณาผลกระทบของอุณหภูมิและการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ต่อสมรรถนะของระบบในระยะยาว [6] รวมถึงงานวิจัยด้านการประเมินสถานะประจุแบตเตอรี่ (State of Charge: SOC) ซึ่งมีความสำคัญต่อการวิเคราะห์และควบคุมระบบแบตเตอรี่ [7] แม้ว่าวิธีการดังกล่าวจะให้ผลลัพธ์ที่มีความแม่นยำสูง แต่ในทางปฏิบัติอาจมีความซับซ้อนและยากต่อการนำไปใช้งาน ออกแบบเบื้องต้น ในขณะที่แนวทางการวิเคราะห์เชิงพลังงาน (Energy-Based Analysis) ซึ่งอาศัยหลักสมดุลพลังงานและสมการเชิงวิศวกรรมพื้นฐาน ยังมีการนำเสนอ

ในบริบทของงานออกแบบระบบไฟฟ้าอาคารอย่างจำกัด โดยเฉพาะแนวทางที่สามารถตรวจสอบย้อนกลับได้และสามารถใช้งานได้จริงโดยไม่เพิ่มความซับซ้อนของแบบจำลอง ดังนั้น บทความนี้จึงมุ่งนำเสนอแนวทางการวิเคราะห์เชิงพลังงานสำหรับการประเมินระยะเวลาการสำรองไฟของระบบแบตเตอรี่สำหรับโหลดสำคัญในระบบจ่ายไฟฟ้าแบบผสมผสานสำหรับอาคาร โดยพัฒนากอบการคำนวณที่มีความโปร่งใส ตรวจสอบย้อนกลับได้ และสามารถทำซ้ำผลลัพธ์ได้ (reproducible) ผ่านโปรแกรม Microsoft Excel ซึ่งถูกออกแบบในรูปแบบโครงสร้างลำดับขั้น ประกอบด้วยส่วน Inputs, SOC Calculation และ Sensitivity Analysis เพื่อให้สามารถวิเคราะห์พลังงานที่ใช้งานได้จริง (Usable Energy) ระยะเวลาสำรองไฟในรูปแบบสมการปิดรูป (Closed-Form Solution) และพฤติกรรมสถานะประจุแบตเตอรี่ตามเวลา (State of Charge: SOC) ได้อย่างเป็นระบบ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยประกอบด้วย

1. พัฒนาแบบจำลองเชิงพลังงานสำหรับการประเมินระยะเวลาการสำรองไฟของระบบแบตเตอรี่สำหรับโหลดสำคัญ
2. วิเคราะห์พฤติกรรมสถานะประจุแบตเตอรี่ตามเวลาเพื่ออธิบายข้อจำกัดของช่วงการใช้งานแบตเตอรี่ (SOC window)
3. ศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์หลัก ได้แก่ ความจุแบตเตอรี่ ระดับโหลด และประสิทธิภาพของระบบ ต่อระยะเวลาการสำรองไฟ ผ่านการวิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis)
4. เสนอแนวทางที่สามารถใช้เป็นเครื่องมือสนับสนุนการออกแบบและการประเมินระบบสำรองไฟในขั้นต้นได้อย่างกระชับ โปร่งใส และตรวจสอบได้

แนวทางที่นำเสนอในบทความนี้มีความแตกต่างจากวิธีการที่อาศัยซอฟต์แวร์จำลองเชิงพลวัต โดยเน้นการแสดงความสัมพันธ์เชิงกายภาพของพารามิเตอร์ที่สำคัญ เช่น ความจุแบตเตอรี่ ระดับโหลด และประสิทธิภาพของระบบ ผ่านสมการเชิงพลังงานที่เข้าใจได้ง่าย ทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานวิศวกรรมไฟฟ้าอาคารได้

อย่างสะดวก และสามารถปรับพารามิเตอร์เพื่อประเมินสถานการณ์ต่าง ๆ ได้อย่างรวดเร็ว

2. วิธีดำเนินงานวิจัย

การศึกษานี้ใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงทฤษฎี (Analytical Approach) บนพื้นฐานหลักสมดุลพลังงาน (Energy Balance Principle) เพื่อประเมินระยะเวลาการสำรองไฟของระบบแบตเตอรี่สำหรับโหลดสำคัญในระบบจ่ายไฟฟ้าแบบผสมผสานสำหรับอาคาร โดยไม่ใช้ซอฟต์แวร์ จำลองเชิงพลวัต (Dynamic Simulation Software) วิธีการศึกษาถูกออกแบบให้สามารถตรวจสอบย้อนกลับได้ (Traceable) และทำซ้ำได้ (Reproducible) ผ่านโครงสร้างแผนงาน Microsoft Excel

กระบวนการดำเนินงานแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนหลัก ได้แก่

1. กำหนดโครงสร้างระบบและขอบเขตการศึกษา
2. กำหนดสมมติฐานและพารามิเตอร์กรณีฐาน
3. คำนวณระยะเวลาสำรองไฟด้วยสมการเชิงพลังงานแบบปิดรูป
4. วิเคราะห์พฤติกรรมสถานะประจุแบตเตอรี่แบบช่วงเวลา
5. วิเคราะห์ความไวของพารามิเตอร์หลักต่อผลลัพธ์

2.1 โครงสร้างระบบและขอบเขตการศึกษา

ระบบที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นระบบจ่ายไฟฟ้าแบบผสมผสานสำหรับอาคาร ประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้าหลักจากระบบการไฟฟ้า (Grid) และแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรองจากระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ผ่านอุปกรณ์แปลงกำลัง (Power Conversion System: PCS/Inverter)

บทความนี้พิจารณาเฉพาะสถานการณ์ที่แหล่งจ่ายหลักไม่สามารถให้บริการได้ และระบบแบตเตอรี่ทำหน้าที่จ่ายไฟให้โหลดสำคัญ (Critical Loads) เพียงอย่างเดียว โดยกำหนดให้โหลดมีลักษณะเป็นโหลดคงที่ (Constant Load)

ขอบเขตการศึกษาเพื่อควบคุมความซับซ้อนของแบบจำลองและมุ่งเน้นการวิเคราะห์เชิงพลังงานภายใต้โหลดคงที่ การศึกษานี้กำหนดเงื่อนไขดังต่อไปนี้

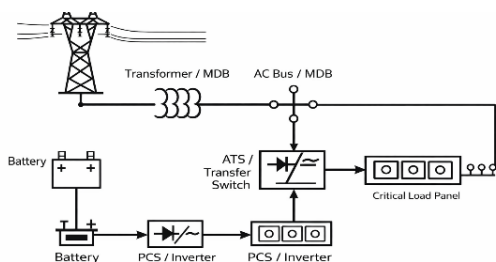
- ระบบพิจารณาเฉพาะการจ่ายไฟจากแบตเตอรี่ในช่วงเหตุการณ์ของแหล่งจ่ายหลักโดยไม่รวมการผลิตพลังงานจากแหล่งหมุนเวียนระหว่างเหตุการณ์

- ใช้ค่าประสิทธิภาพรวม (η_{sys}) แทนการจำลองกลยุทธควบคุมขั้นสูงของ PCS

- สมมติให้สมรรถนะของแบตเตอรี่คงที่ตลอดช่วงการวิเคราะห์ โดยไม่รวมผลของการเสื่อมสภาพระยะยาว

- ไม่พิจารณาผลกระทบของอุณหภูมิและการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะของระบบในระยะยาว [6] เพื่อให้แบบจำลองสะท้อนการประเมินเบื้องต้นในขั้นออกแบบ

เงื่อนไขดังกล่าวมีวัตถุประสงค์เพื่อให้แบบจำลองมีความเรียบง่าย โปร่งใส และตรวจสอบย้อนกลับได้ เหมาะสำหรับการประเมินเบื้องต้นในงานออกแบบระบบไฟฟ้าอาคาร ในการศึกษา สมมติให้ระบบแบตเตอรี่เป็นชนิด Lithium-ion ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่นิยมใช้ในระบบกักเก็บพลังงานสำหรับอาคาร เนื่องจากมีความหนาแน่นพลังงานสูง และมีประสิทธิภาพการชาร์จ-คายประจุที่ดี



รูปที่ 1 แสดงผังโครงสร้างระบบจ่ายไฟฟ้าแบบผสมผสานที่ใช้เป็นกรอบแนวคิดในการวิเคราะห์ โดยเน้นการจ่ายไฟให้โหลดสำคัญผ่านระบบแบตเตอรี่สำรองไฟในกรณีที่แหล่งจ่ายหลักไม่สามารถให้บริการได้

2.2 สมมติฐานและพารามิเตอร์พื้นฐาน

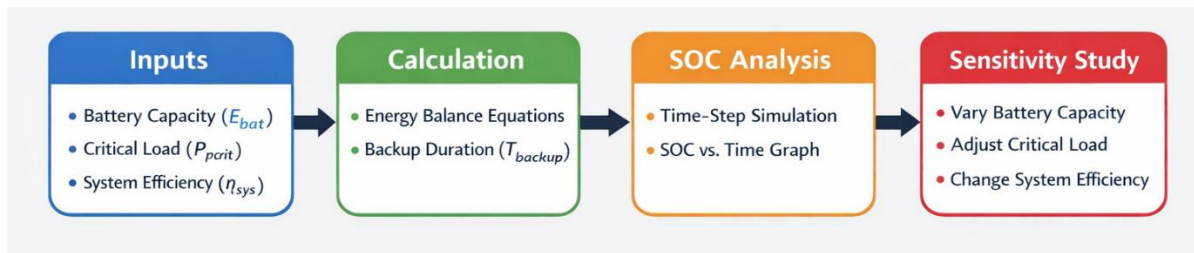
การคำนวณและการวิเคราะห์ดำเนินการผ่านโครงสร้างแผ่นงาน Microsoft Excel ซึ่งถูกจัดแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ได้แก่ ส่วนกำหนดพารามิเตอร์ตั้งต้น (Inputs) ส่วนคำนวณวิถีสถานะประจุแบตเตอรี่แบบช่วงเวลา (SOC_{Calc}) และส่วนวิเคราะห์ความไวของระบบ

(Sensitivity) โดยโครงสร้างดังกล่าวถูกออกแบบให้กระบวนการคำนวณมีความโปร่งใส ตรวจสอบย้อนกลับได้ และสามารถทำซ้ำได้ภายใต้เงื่อนไขเดียวกันเพื่อกำหนดกรอบการประเมินเชิงพลังงานอย่างเป็นระบบ การศึกษานี้กำหนดชุดพารามิเตอร์กรณีฐาน (Base Case Parameters) ซึ่งแสดงรายละเอียดในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์กรณีฐานในแท็บ Inputs (Base Case)

รายการพารามิเตอร์	สัญลักษณ์	ค่า (กรณีฐาน)	หน่วย	คำอธิบาย
ความจุพลังงานแบตเตอรี่รวม	E_{bat}	100	kWh	ความจุพลังงานรวมของระบบแบตเตอรี่
สถานะประจุสูงสุด	SOC_{max}	100	%	ระดับประจุสูงสุดของแบตเตอรี่
สถานะประจุเริ่มต้น (สำหรับ SOC_{Calc})	$SOC_{initial}$	100	%	ค่า SOC ณ จุดเริ่มเหตุการณ์สำรองไฟ (ใช้สร้างตารางที่ 2 และรูปที่ 2)
สถานะประจุต่ำสุดที่อนุญาต	SOC_{min}	20	%	ขอบเขตล่างเพื่อป้องกันการคายประจุลึก
ระดับความเสี่ยงของการคายประจุที่อนุญาต	DoD	0.8	-	พารามิเตอร์สำหรับการคำนวณ E_{usable} และ T_{backup} (สมการที่ 1-2)
ประสิทธิภาพรวมของระบบ	η_{sys}	0.9	-	รวมประสิทธิภาพแบตเตอรี่และ PCS/Inverter
กำลังไฟฟ้าโหลดสำคัญ	P_{crit}	10	kW	โหลดสำคัญแบบคงที่ (assumed constant)
ช่วงเวลาคำนวณ (Time step)	Δt	(ใส่ตาม Excel จริง)	ชั่วโมง	ใช้สำหรับคำนวณ SOC แบบช่วงเวลาใน SOC_{Calc}

หมายเหตุ: ค่า DoD ใช้สำหรับคำนวณพลังงานที่ใช้งานจริงในสมการปิดรูป ค่า $SOC_{initial}$ ใช้สำหรับวิเคราะห์พฤติกรรม SOC ใน SOC_{Calc} ทั้งสองค่าถูกกำหนดแยกวัตถุประสงค์กันอย่างชัดเจน



รูปที่ 2 ผังขั้นตอนการวิเคราะห์ระยะเวลาการสำรองไฟแสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ประกอบด้วย การกำหนดข้อมูลตั้งต้น การคำนวณเชิงพลังงาน การวิเคราะห์สถานะประจุแบตเตอรี่ และการวิเคราะห์ความไวของพารามิเตอร์

พารามิเตอร์ดังกล่าวครอบคลุมตัวแปรหลักที่มีผลโดยตรงต่อการคำนวณพลังงานที่ใช้งานได้จริง (E_{usable}) และระยะเวลาการสำรองไฟ (T_{backup}) ได้แก่ ความจุแบตเตอรี่ ระดับการคายประจุที่อนุญาต ประสิทธิภาพรวมของระบบ และกำลังไฟฟ้าของโหลดสำคัญ แม้ในการศึกษานี้จะใช้ค่าประสิทธิภาพรวมของระบบเป็นค่าคงที่ แต่ในทางปฏิบัติ ประสิทธิภาพของอุปกรณ์แปลงกำลังจะเปลี่ยนแปลงตามระดับโหลด ดังนั้นในส่วนการอภิปรายผลจะมีการพิจารณาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพต่อระยะเวลาการสำรองไฟเพิ่มเติม

2.3 สมการที่ใช้ในการคำนวณระยะเวลาการสำรองไฟ

การคำนวณระยะเวลาการสำรองไฟอาศัยหลักการสมดุลพลังงาน โดยพิจารณาพลังงานที่แบตเตอรี่สามารถนำมาใช้งานได้จริงหลังจากคำนึงถึงข้อจำกัดด้านระดับการคายประจุและประสิทธิภาพของระบบ ดังสมการที่ (1)

$$E_{usable} = E_{bat} \times DoD \times \eta_{sys} \quad (1)$$

เมื่อ E_{usable} คือพลังงานที่สามารถนำไปใช้งานได้จริง (kWh), E_{bat} คือความจุพลังงานแบตเตอรี่ (kWh), DoD คือระดับความลึกของการคายประจุ, η_{sys} คือประสิทธิภาพรวมของระบบ และ P_{crit} คือกำลังไฟฟ้าโหลดสำคัญ (kW) จากนั้นค่าพลังงานที่สามารถใช้งานได้จริง E_{usable} จะถูกนำไปแทนในสมการที่ (2) เพื่อคำนวณระยะเวลาการสำรองไฟ T_{backup}

$$T_{backup} = \frac{E_{usable}}{P_{crit}} \quad (2)$$

โดยที่ P_{crit} คือกำลังไฟฟ้าโหลดสำคัญ (kW) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระยะเวลาสำรองไฟแปรผกผันกับกำลังโหลดสำคัญตามความสัมพันธ์เชิงพลังงาน การคำนวณทั้งหมดดำเนินการใน

รูปแบบตารางคำนวณด้วยโปรแกรม Microsoft Excel เพื่อให้สามารถตรวจสอบและปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ได้สะดวก

สมการ (1)–(2) เป็นสมการปิดรูป (Closed-Form Solution) เหมาะสำหรับการประเมินเบื้องต้นในการออกแบบระบบ สมการดังกล่าวเป็นการประยุกต์ใช้หลักสมดุลพลังงานในรูปแบบที่สามารถตรวจสอบย้อนกลับได้ และเหมาะสำหรับการประเมินเชิงวิศวกรรมในขั้นต้น

2.4 การวิเคราะห์พฤติกรรมสถานะประจุแบตเตอรี่ตามเวลา

เพื่อแสดงพฤติกรรมการคายประจุและสถานะประจุของแบตเตอรี่ (SOC) ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญในการวิเคราะห์ระบบแบตเตอรี่ [7] ระหว่างการสำรองไฟ การศึกษานี้ใช้การคำนวณแบบช่วงเวลา (time-step) ในแท็บ SOC_{Calc} โดยอาศัยหลักสมดุลพลังงาน (energy balance) ภายใต้สมมติฐานว่าโหลดสำคัญมีลักษณะเป็นโหลดคงที่ (constant critical load) ในแต่ละช่วงเวลา Δt พลังงานคงเหลือของแบตเตอรี่จะลดลงตามกำลังโหลดที่ต้องจ่ายผ่านระบบแปลงกำลัง โดยพิจารณาประสิทธิภาพรวมของระบบ (η_{sys}) ดังสมการ (3)

$$E_{remain}(t + \Delta t) = E_{remain}(t) - [\Delta t \frac{P_{crit}}{\eta_{sys}}] \quad (3)$$

โดยที่ E_{remain} คือพลังงานคงเหลือของแบตเตอรี่ (kWh), P_{crit} คือกำลังไฟฟ้าของโหลดสำคัญ (kW), η_{sys} คือประสิทธิภาพรวมของเส้นทางแปลงกำลังจากแบตเตอรี่ไปยังโหลด (รวม PCS/inverter และความสูญเสียที่พิจารณา) และ Δt คือช่วงเวลาคำนวณ (ชั่วโมง) ทั้งนี้พจน์ $[\frac{P_{crit}}{\eta_{sys}}]$ แทนกำลังที่แบตเตอรี่ต้องจ่ายจริงเพื่อรองรับโหลดเมื่อคำนึงถึงความสูญเสียของระบบแปลงกำลัง จากนั้นคำนวณค่า SOC เป็นอัตราส่วน

ของพลังงานคงเหลือเทียบกับพลังงานตั้งต้นของกรณีฐาน (Base Case) ตามสมการ (4)

$$SOC(t) = \frac{E_{remain}(t)}{E_{bat}} \quad (4)$$

โดยกำหนด $E_{bat} = 100$ kWh และกำหนดค่าเริ่มต้น $E_{remain}(0) = 80$ kWh ทำให้ $SOC(0) = 0.8$ หรือ 80% จากนั้นทำการคำนวณต่อเนื่องตามเวลาเพื่อสร้างตารางผลลัพธ์และกราฟ SOC-เวลา (รูปที่ 2) การคำนวณใช้ $\Delta t = 1$ ชั่วโมง และใช้ linear interpolation สำหรับจุดสิ้นสุดที่ $SOC = SOC_{min}$ แนวทางการคำนวณแบบช่วงเวลานี้ช่วยให้สามารถอธิบายพฤติกรรมการลดลงของพลังงานในระบบได้อย่างชัดเจน และสะท้อนข้อจำกัดของการใช้งานแบตเตอรี่ภายใต้กรอบ SOC window

2.5 การวิเคราะห์ความไวของระบบ (Sensitivity Analysis)

การวิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis) ถูกนำมาใช้เพื่อศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์สำคัญต่อระยะเวลาการสำรองไฟของระบบแบตเตอรี่ โดยดำเนินการในแท็บ Sensitivity ของ Microsoft Excel ซึ่งสามารถปรับค่าพารามิเตอร์และคำนวณผลลัพธ์ใหม่ได้ทันที (automatic recalculation)

ในการศึกษานี้ การวิเคราะห์ความไวไม่ได้พิจารณาเฉพาะความจุแบตเตอรี่ (E_{bat}) เท่านั้น แต่ยังรวมถึงผลกระทบของกำลังโหลดสำคัญ (P_{crit}) และประสิทธิภาพของระบบ (η_{sys}) ต่อระยะเวลาการสำรองไฟ เพื่อให้เห็นความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์หลักในมุมมองที่ครอบคลุมมากขึ้น ภายใต้หลักสมดุลพลังงาน

ในขั้นตอนการวิเคราะห์ ได้กำหนดให้พารามิเตอร์บางตัวคงที่ตามกรณีฐาน และทำการเปลี่ยนแปลงค่าของพารามิเตอร์ที่สนใจทีละตัว (One-Variable-at-a-Time Analysis) เพื่อศึกษาผลกระทบต่อระยะเวลาการสำรองไฟ (T_{backup}) ดังนี้

- การวิเคราะห์ผลกระทบของความจุแบตเตอรี่ (E_{bat})
- การวิเคราะห์ผลกระทบของกำลังโหลดสำคัญ (P_{crit})
- การวิเคราะห์ผลกระทบของประสิทธิภาพระบบ (η_{sys})

ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ถูกนำเสนอในรูปแบบตารางและกราฟ เพื่อแสดงแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์และระยะเวลาการสำรองไฟ ซึ่งช่วยให้สามารถตีความผลลัพธ์ในเชิง

วิศวกรรมได้อย่างชัดเจน และสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการออกแบบระบบสำรองไฟในขั้นต้นได้อย่างเหมาะสม ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ความไวแสดงให้เห็นว่า ระยะเวลาการสำรองไฟแปรผันตรงกับความจุแบตเตอรี่และประสิทธิภาพของระบบ และแปรผกผันกับกำลังโหลดสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับสมการเชิงพลังงานพื้นฐานที่ใช้ในงานวิจัยนี้ และช่วยยืนยันว่าแบบจำลองสามารถสะท้อนพฤติกรรมของระบบได้อย่างเหมาะสมในเชิงวิศวกรรม

2.6 การตรวจสอบความสอดคล้องของแบบจำลอง (Model Validation)

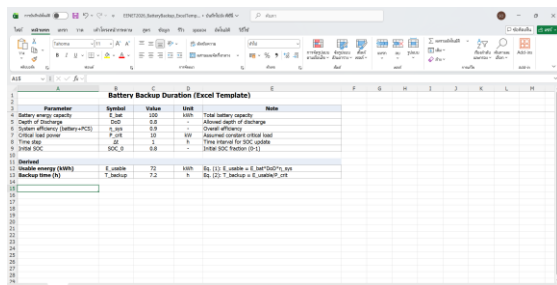
เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของแบบจำลองที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ ได้มีการตรวจสอบความสอดคล้องของผลลัพธ์ระหว่างการคำนวณด้วยสมการเชิงพลังงานแบบปิดรูป (Closed-Form Solution) และการคำนวณแบบช่วงเวลา (Time-Step Method) ภายใต้พารามิเตอร์เดียวกัน

ผลการเปรียบเทียบพบว่า ระยะเวลาการสำรองไฟที่ได้จากทั้งสองวิธีมีแนวโน้มสอดคล้องกัน โดยความแตกต่างที่เกิดขึ้นอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ในเชิงวิศวกรรม ทั้งนี้ ความแตกต่างดังกล่าวเกิดจากวิธีการนิยามช่วงพลังงานที่ใช้งานได้และข้อจำกัดของช่วงสถานะประจุแบตเตอรี่ (SOC window)

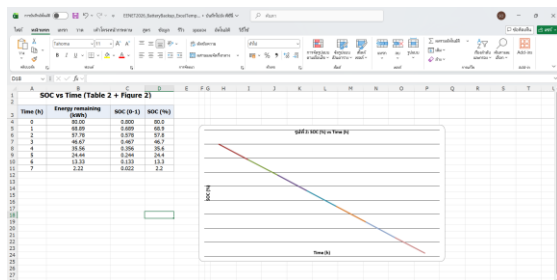
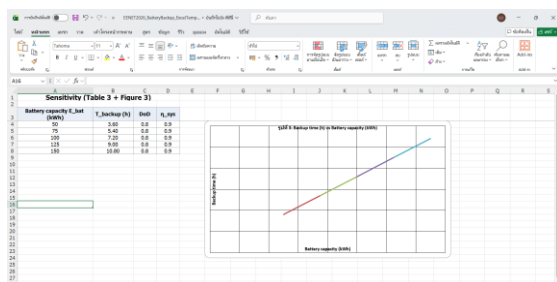
แนวทางการตรวจสอบนี้ช่วยยืนยันว่าแบบจำลองเชิงพลังงานที่นำเสนอสามารถสะท้อนพฤติกรรมของระบบได้อย่างเหมาะสมสำหรับการประเมินเบื้องต้น และสามารถใช้เป็นเครื่องมือสนับสนุนการออกแบบระบบสำรองไฟในอาคารได้อย่างมีความน่าเชื่อถือ

2.7 โครงสร้างการคำนวณใน Microsoft Excel

เพื่อให้เห็นภาพกระบวนการคำนวณที่ชัดเจน โครงสร้างของแบบจำลองถูกพัฒนาใน Microsoft Excel โดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ได้แก่ ส่วนกำหนดพารามิเตอร์ (Inputs) ส่วนคำนวณสถานะประจุแบตเตอรี่ (SOC_{Calc}) และส่วนวิเคราะห์ความไว (Sensitivity)



รูปที่ 3 กำหนดพารามิเตอร์ (Inputs)

รูปที่ 4 คำนวณสถานะประจุแบตเตอรี่ (SOC_{calc})

รูปที่ 5 วิเคราะห์ความไว (Sensitivity)

3. ผลและการอภิปรายผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์ถูกเรียบเรียงตามลำดับวัตถุประสงค์ของการศึกษา ได้แก่ (1) การประเมินระยะเวลาการสำรองไฟจากสมการเชิงพลังงานแบบปิดรูป (2) การวิเคราะห์พฤติกรรมสถานะประจุแบตเตอรี่ตามเวลา และ (3) การวิเคราะห์ความไวของพารามิเตอร์หลักต่อระยะเวลาการสำรองไฟ

3.1 ระยะเวลาการสำรองไฟของระบบแบตเตอรี่ (กรณีฐาน)

จากพารามิเตอร์กรณีฐานในตารางที่ 1 พลังงานที่สามารถนำไปใช้งานได้จริงของแบตเตอรี่คำนวณจากสมการ (1) ได้เป็น

$$E_{usable} = E_{bat} \times DoD \times \eta_{sys}$$

แทนค่ากรณีฐาน $E_{bat} = 100$ kWh, $DoD = 0.8$, และ $\eta_{sys} = 0.9$ จะได้

$$E_{usable} = 100 \times 0.8 \times 0.9 = 72 \text{ kWh}$$

จากนั้นคำนวณระยะเวลาสำรองไฟด้วยสมการ (2) ภายใต้โหลดสำคัญคงที่ $P_{crit} = 10$ kW ได้เป็น

$$T_{backup} = E_{usable} / P_{crit} = 72 / 10 = 7.2 \text{ ชั่วโมง}$$

ผลลัพธ์นี้แสดงให้เห็นว่า ระยะเวลาสำรองไฟแปรผันตรงกับ ความจุแบตเตอรี่และระดับ DoD และแปรผกผันกับกำลังโหลดสำคัญตามหลักสมมูลพลังงาน ทั้งนี้ ค่า E_{usable} ใช้สำหรับการประเมินเชิงออกแบบ ส่วนการวิเคราะห์วิถี SOC ตามเวลาในหัวข้อถัดไปใช้ค่าเริ่มต้น $SOC_{initial} = 80\%$ ตามสมมติฐานกรณีฐาน

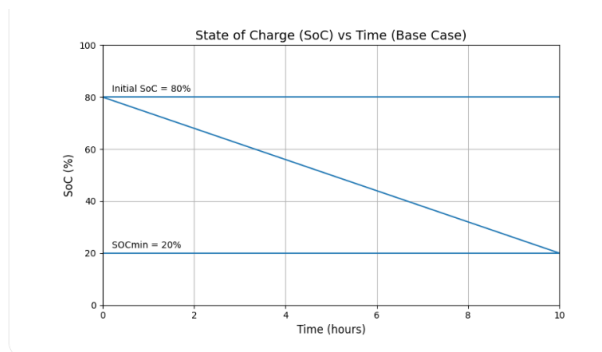
3.2 พฤติกรรมสถานะประจุแบตเตอรี่ตามเวลา

ผลการคำนวณแบบช่วงเวลา (Time-Step Method) ในแท็บ SOC_{calc} แสดงในตารางที่ 2 และรูปที่ 6

ตารางที่ 2 ผลการคำนวณ SOC ตามเวลา (SOC vs Time) ในกรณีฐาน

เวลา (ชั่วโมง)	พลังงานคงเหลือ (kWh)	SOC (0-1)	SOC (%)
0	80.00	0.800	80.0
1	68.89	0.689	68.9
2	57.78	0.578	57.8
3	46.67	0.467	46.7
4	35.56	0.356	35.6
5	24.44	0.244	24.4
5.4	20.00	0.200	20.0

หมายเหตุ: ตารางนี้คำนวณจากไฟล์ Excel (แท็บ SOC_{calc}) ภายใต้สมมติฐานโหลดสำคัญคงที่ โดยใช้การคำนวณแบบ time-step ($\Delta t = 1$ ชั่วโมง) และคำนวณจุดสิ้นสุดเพิ่มเติมด้วยการประมาณเชิงเส้น (linear interpolation) เพื่อให้เวลาที่ SOC ลดลงถึง $SOC_{min} = 20\%$ แสดงเป็นค่า 5.4 ชั่วโมงในกรณีฐาน



รูปที่ 6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง SOC กับเวลาในช่วงการสำรองไฟ (กรณีฐาน) แสดงการลดลงของ SOC ตามเวลาเมื่อโหลดสำคัญเป็นโหลดคงที่ โดยเริ่มต้นที่ $SOC = 80\%$ และลดลงต่อเนื่องจนถึง $SOC_{min} = 20\%$ ซึ่งเป็นเงื่อนไขหยุดการคายประจุ (cut-off limit) ตามข้อกำหนดการใช้งานแบตเตอรี่ในกรณีฐาน

จากผลลัพธ์พบว่า SOC ลดลงในลักษณะเกือบเชิงเส้นตามเวลา เนื่องจากโหลดสำคัญถูกกำหนดให้เป็นโหลดคงที่ ทำให้อัตราการคายพลังงานต่อหน่วยเวลาเป็นค่าคงที่ตามสมการที่ (3) ส่งผลให้กราฟ SOC มีลักษณะเป็นเส้นตรง

เมื่อกำหนดค่า $SOC_{min} = 20\%$ เป็นเงื่อนไขหยุดการคายประจุ และใช้ช่วงเวลา $\Delta t = 1$ ชั่วโมง จะได้ระยะเวลาสำรองไฟประมาณ 5–6 ชั่วโมง (ขึ้นกับการประมาณช่วงท้ายด้วย linear interpolation)

ควรสังเกตว่า ค่าดังกล่าวแตกต่างจากค่า 7.2 ชั่วโมงที่ได้จากสมการปิดรูป ทั้งนี้เนื่องจากแนวทางการคำนวณต่างกัน กล่าวคือ

- สมการปิดรูปใช้ $DoD = 0.8$ เป็นกรอบพลังงานที่อนุญาตให้ใช้

- การวิเคราะห์ SOC ใช้กรอบ SOC window ระหว่าง $SOC_{initial} = 80\%$ ถึง $SOC_{min} = 20\%$ ซึ่งคิดเป็น 60% ของความจุ

ดังนั้นผลลัพธ์ทั้งสองจึงสะท้อน “คนละมุมมองของการออกแบบ” กล่าวคือ

- ค่า 7.2 ชั่วโมง เหมาะสำหรับการ sizing เชิงทฤษฎีเบื้องต้น

- ค่า 5–6 ชั่วโมง แสดงพฤติกรรมจริงภายใต้ข้อจำกัด SOC_{min} และ time-step

ความแตกต่างนี้ไม่ใช่ความคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง แต่เป็นผลจากนิยามขอบเขตพลังงานที่ใช้ในการคำนวณที่ต่างกัน

3.3 การวิเคราะห์ความไวของพารามิเตอร์หลัก

ผลการวิเคราะห์ความไวของพารามิเตอร์หลักแสดงในตารางที่ 3–5 และรูปที่ 7–9 โดยพิจารณาผลกระทบของความจุแบตเตอรี่ กำลังโหลดสำคัญ และประสิทธิภาพของระบบต่อระยะเวลาการสำรองไฟ

(1) ผลกระทบของความจุแบตเตอรี่

ผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่าระยะเวลาการสำรองไฟเพิ่มขึ้นในลักษณะเชิงเส้นเมื่อความจุแบตเตอรี่เพิ่มขึ้น ภายใต้เงื่อนไขโหลดคงที่ ซึ่งสอดคล้องกับความสัมพันธ์ตามสมการเชิงพลังงาน

(2) ผลกระทบของกำลังโหลดสำคัญ

จากตารางที่ 4 พบว่า เมื่อกำลังโหลดเพิ่มขึ้นระยะเวลาการสำรองไฟลดลงอย่างมีนัยสำคัญในลักษณะแปรผกผัน ซึ่งเป็นไปตามหลักสมดุลพลังงาน

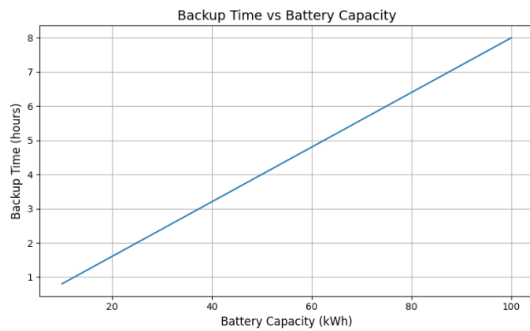
(3) ผลกระทบของประสิทธิภาพระบบ

จากตารางที่ 5 พบว่า การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบส่งผลให้ระยะเวลาการสำรองไฟเพิ่มขึ้น โดยมีความสัมพันธ์เชิงเส้น ซึ่งสะท้อนถึงบทบาทของการสูญเสียพลังงานในระบบแปลงกำลัง

ผลลัพธ์ทั้งหมดแสดงให้เห็นว่า พารามิเตอร์ทั้งสามมีผลต่อระยะเวลาการสำรองไฟอย่างมีนัยสำคัญ และควรพิจารณาร่วมกันในการออกแบบระบบสำรองไฟในอาคาร

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ความไวของความจุแบตเตอรี่ต่อระยะเวลาสำรองไฟ (กำหนดโหลดคงที่ตามกรณีฐาน)

ความจุแบตเตอรี่ (kWh)	DoD	η_{sys}	โหลดสำคัญ P_{crit} (kW)	ระยะเวลาสำรองไฟ T_{backup} (ชั่วโมง)
50	0.8	0.9	10	3.6
75	0.8	0.9	10	5.4
100	0.8	0.9	10	7.2
125	0.8	0.9	10	9.0
150	0.8	0.9	10	10.8



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาสำรองไฟกับความจุแบตเตอรี่ (Sensitivity Analysis) แสดงการเพิ่มขึ้นของระยะเวลาสำรองไฟตามความจุแบตเตอรี่ภายใต้เงื่อนไขโหลดคงที่และพารามิเตอร์อื่นคงที่ แนวโน้มดังกล่าวสอดคล้องกับสมการที่ (1)–(2) ซึ่งแสดงให้เห็น

จากผลลัพธ์พบว่า ระยะเวลาสำรองไฟเพิ่มขึ้นในลักษณะเชิงเส้นเมื่อเพิ่มความจุแบตเตอรี่ ภายใต้เงื่อนไขโหลดคงที่และพารามิเตอร์อื่นคงที่ แนวโน้มดังกล่าวสอดคล้องกับสมการที่ (1)–(2) ซึ่งแสดงให้เห็น

$$T_{\text{backup}} \propto E_{\text{bat}}$$

ผลการวิเคราะห์นี้มีนัยสำคัญต่อการออกแบบระบบสำรองไฟในขั้นต้น เนื่องจากสามารถใช้เป็นแนวทางกำหนดขนาดแบตเตอรี่ให้สอดคล้องกับระยะเวลาสำรองไฟที่ต้องการได้อย่างรวดเร็ว โดยไม่ต้องใช้การจำลองเชิงพลวัตที่ซับซ้อน

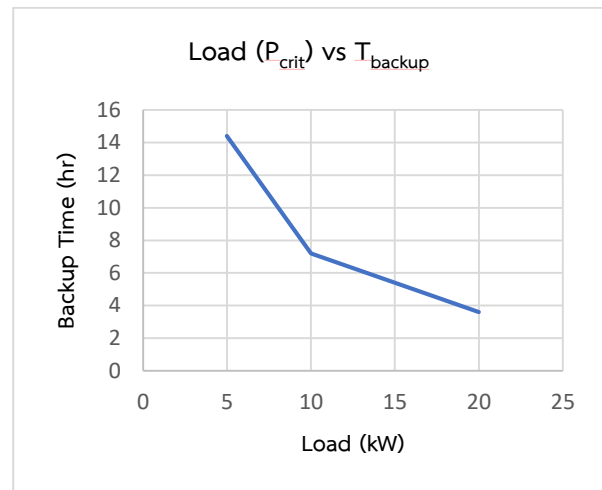
เพื่อศึกษาผลกระทบของกำลังโหลดสำคัญต่อระยะเวลาการสำรองไฟ ได้ทำการปรับค่ากำลังโหลด (P_{crit}) ในช่วงค่าที่แตกต่างกัน ขณะที่พารามิเตอร์อื่นคงที่ ตามกรณีฐาน ได้แก่ ความจุแบตเตอรี่ ($E_{\text{bat}} = 100 \text{ kWh}$), ระดับการคายประจุ ($\text{DoD} = 0.8$) และประสิทธิภาพของระบบ ($\eta_{\text{sys}} = 0.9$)

ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 4 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังโหลดสำคัญและระยะเวลาการสำรองไฟภายใต้เงื่อนไขการคำนวณเดียวกัน

ตารางที่ 4 ผลกระทบของกำลังโหลดสำคัญต่อระยะเวลาการสำรองไฟ

กำลังโหลด (kW)	ระยะเวลาสำรองไฟ (ชั่วโมง)
5	14.4
10	7.2
20	3.6

ผลลัพธ์จากตารางที่ 4 ถูกนำเสนอในรูปแบบกราฟในรูปที่ 8 เพื่อแสดงแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างกำลังโหลดสำคัญและระยะเวลาการสำรองไฟ โดยช่วยให้สามารถมองเห็นลักษณะการเปลี่ยนแปลงของระบบได้อย่างชัดเจนมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังโหลดสำคัญ (Load, P_{crit}) กับระยะเวลาการสำรองไฟ (T_{backup})

จากรูปที่ 8 พบว่า เมื่อกำลังโหลดสำคัญเพิ่มขึ้น ระยะเวลาการสำรองไฟลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีลักษณะแปรผกผัน ซึ่งสอดคล้องกับสมการเชิงพลังงานที่ใช้ในงานวิจัย กล่าวคือ เมื่อโหลดเพิ่มขึ้น อัตราการใช้พลังงานต่อหน่วยเวลาจะเพิ่มขึ้น ส่งผลให้พลังงานที่สะสมในแบตเตอรี่หมดเร็วขึ้น

เพื่อศึกษาผลกระทบของประสิทธิภาพระบบแปลงกำลังต่อระยะเวลาการสำรองไฟ ได้ทำการปรับค่าประสิทธิภาพของระบบ (η_{sys}) ในช่วงค่าที่แตกต่างกัน โดยกำหนดให้พารามิเตอร์อื่นคงที่ตามกรณีฐาน ได้แก่

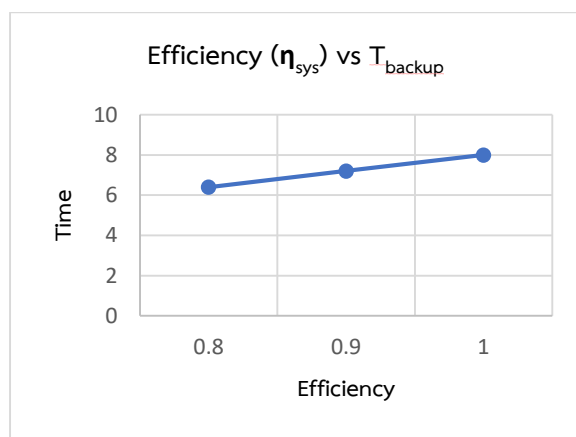
ความจุแบตเตอรี่ ($E_{\text{bat}} = 100 \text{ kWh}$), ระดับการคายประจุ ($\text{DoD} = 0.8$) และกำลังโหลดสำคัญ ($P_{\text{crit}} = 10 \text{ kW}$)

ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 5 ซึ่งช่วยให้สามารถประเมินผลกระทบของการสูญเสียพลังงานในระบบแปลงกำลังต่อระยะเวลาการสำรองไฟได้อย่างชัดเจน

ตารางที่ 5 ผลกระทบของประสิทธิภาพระบบต่อระยะเวลาการสำรองไฟ

η_{sys}	$T_{\text{backup}} \text{ (hr)}$
0.8	6.4
0.9	7.2
1.0	8.0

ผลลัพธ์จากตารางที่ 5 ถูกนำเสนอในรูปแบบกราฟในรูปที่ 9 เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของระบบและระยะเวลาการสำรองไฟ ซึ่งช่วยให้สามารถวิเคราะห์แนวโน้มของผลลัพธ์ในเชิงวิศวกรรมได้อย่างชัดเจน



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของระบบ (η_{sys}) กับระยะเวลาการสำรองไฟ (T_{backup})

จากรูปที่ 5 พบว่า เมื่อประสิทธิภาพของระบบเพิ่มขึ้น ระยะเวลาการสำรองไฟเพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยมีแนวโน้มเชิงเส้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการลดความสูญเสียในระบบแปลงกำลังมีผลโดยตรงต่อความสามารถในการจ่ายพลังงานของแบตเตอรี่

3.4 การอภิปรายผลเชิงวิศวกรรม

ผลการศึกษายืนยันว่าแนวทางการวิเคราะห์เชิงพลังงานสามารถอธิบายพฤติกรรมของระบบแบตเตอรี่สำรองไฟได้อย่างชัดเจน ภายใต้สมมติฐานโหลดคงที่และประสิทธิภาพรวมคงที่ โดยผลลัพธ์จากสมการปิดรูปให้ระยะเวลาการสำรองไฟเท่ากับ 7.2 ชั่วโมง ขณะที่การวิเคราะห์แบบช่วงเวลาให้ค่าอยู่ในช่วงประมาณ 5–6 ชั่วโมง ซึ่งมีแนวโน้มสอดคล้องกันในเชิงวิศวกรรม ความแตกต่างของผลลัพธ์ดังกล่าวเกิดจากข้อจำกัดของช่วงสถานะประจุแบตเตอรี่ (SOC window) และวิธีการนิยามพลังงานที่สามารถใช้งานได้ ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าการเลือกวิธีการคำนวณมีผลต่อการตีความผลลัพธ์ในการออกแบบระบบจริง นอกจากนี้ ผลการวิเคราะห์ความไวแสดงให้เห็นว่าพารามิเตอร์หลัก ได้แก่ ความจุแบตเตอรี่ กำลังโหลดสำคัญ และประสิทธิภาพของระบบ มีผลต่อระยะเวลาการสำรองไฟอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะกำลังโหลดซึ่งมีความสัมพันธ์แบบแปรผกผัน และประสิทธิภาพของระบบซึ่งสะท้อนถึงผลของการสูญเสียพลังงานในกระบวนการแปลงกำลัง เมื่อเปรียบเทียบกับแนวทางที่ใช้ซอฟต์แวร์จำลองเชิงพลวัต งานวิจัยนี้มีจุดเด่นในด้านความเรียบง่าย ความโปร่งใส และความสามารถในการตรวจสอบย้อนกลับได้ ซึ่งเหมาะสำหรับการประเมินเบื้องต้นและการออกแบบระบบไฟฟ้าอาคาร อย่างไรก็ตาม แบบจำลองยังมีข้อจำกัด เช่น การสมมติให้โหลดเป็นค่าคงที่ การไม่พิจารณาผลกระทบของอุณหภูมิ และการไม่รวมการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ ซึ่งอาจส่งผลต่อความแม่นยำของผลลัพธ์ในสภาวะการใช้งานจริง

4. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เสนอแนวทางการวิเคราะห์ระยะเวลาการสำรองไฟของระบบแบตเตอรี่สำหรับโหลดสำคัญในระบบจ่ายไฟฟ้าแบบผสมผสานสำหรับอาคาร โดยอาศัยหลักสมดุลพลังงานร่วมกับสมการเชิงพลังงานแบบปิดรูป และการคำนวณแบบช่วงเวลาในโปรแกรม Microsoft Excel ผลการศึกษาพบว่า ภายใต้พารามิเตอร์พื้นฐาน ระบบแบตเตอรี่สามารถให้ระยะเวลาการสำรองไฟเชิงออกแบบเท่ากับ 7.2 ชั่วโมงจากสมการปิดรูป และ

ประมาณ 5-6 ชั่วโมงเมื่อพิจารณาข้อจำกัดของช่วงสถานะประจุแบตเตอรี่ ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงความแตกต่างของมุมมองในการประเมินระบบ การวิเคราะห์ความไวแสดงให้เห็นว่าระยะเวลาการสำรองไฟมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับความจุแบตเตอรี่และประสิทธิภาพของระบบ และมีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับกำลังโหลดสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับหลักสมดุลพลังงานพื้นฐาน จุดเด่นของแนวทางที่นำเสนอคือความเรียบง่าย ความโปร่งใส และความสามารถในการตรวจสอบย้อนกลับได้ โดยไม่จำเป็นต้องพึ่งพาซอฟต์แวร์จำลองเฉพาะทาง ทำให้เหมาะสำหรับการประเมินและออกแบบระบบในขั้นต้น อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ยังมีข้อจำกัด เช่น การสมมติให้โหลดคงที่ และการไม่พิจารณาปัจจัยด้านอุณหภูมิและการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ ดังนั้น งานวิจัยในอนาคตอาจขยายไปสู่การพิจารณาโหลดที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา และการพัฒนาแบบจำลองที่รวมผลกระทบของปัจจัยดังกล่าว เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการใช้งานจริง

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร สำหรับคำแนะนำและข้อเสนอแนะทางวิชาการที่เป็นประโยชน์ต่อการจัดทำบทความวิจัยฉบับนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] IEEE Recommended Practice for Battery Management Systems in Stationary Energy Storage Applications, IEEE Standard 2686-2024, 2024.
- [2] T. Baloyi and S. Chowdhury, "Sizing and selection of battery energy storage system for time of use arbitrage in a commercial building in South Africa," in *Proceeding of IEEE PES/IAS PowerAfrica*, Aug. 2021, pp. 1 - 5. doi: 10.1109/PowerAfrica52236.2021.9543436.
- [3] J. Pai, L. Pota, S. Venkatesan, and P. Siano, "Hybrid optimization of backup energy storage for building load management," *Applied Sciences*, vol. 14, no. 17, Art. no. 7747, 2024.
- [4] J. M. S. Callegari, W. C. S. Amorim, H. A. Pereira, B. J. Cardoso Filho, and D. I. Brandao, "On sizing of battery energy storage systems for independent multi-ancillary services in AC grids," *Results in Engineering*, 2025, Art. no. 101000. doi: 10.1016/j.prime.2025.101000.
- [5] L. Su, W. Gang, M. Liu, Z. Ling, Y. Zhang, and S. Dong, "A capacity optimization method for the battery energy storage system based on historical electricity data of existing buildings," *Energy Reports*, vol. 13, pp. 6132-6147, Jun. 2025. doi: 10.1016/j.egy.2025.05.060.
- [6] C. H. B. Apribowo, Sarjiya, S. P. Hadi, and F.D. Wijaya, "Optimal planning of battery energy storage systems by considering battery degradation due to ambient temperature: A review, challenges, and new perspective," *Batteries*, vol. 8, no. 12, pp. 290, Dec. 2022. doi:10.3390/batteries8120290
- [7] N. Ghaeminezhad, Q. Ouyang, and J. Wei, "Review on state of charge estimation techniques of lithium-ion batteries: A control-oriented approach," *Journal of Energy Storage*, vol. 72, pp. 108707, Nov. 2023. doi: 10.1016/j.est.2023.108707.

การจำแนกข้อความ SMS ภาษาไทย จากมิจฉาชีพ ด้วย Machine Learning Classifying Thai SMS Messages from Scammers using Machine Learning

พีรพล ศรีบุญ¹, พรมนัส วรรณศรี¹, จีรวัด ไร่เจริญ¹, วาสนา ดวงเหมือน¹ และ สุรเทพ แป้นเกิด^{1*}
Peerapon Sribun¹, Pornmanat Wannasri¹, Jerawat Raicharoen¹, Wassana Duangmeun¹ and
Suratep Pangerd^{1*}

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและธุรกิจดิจิทัล คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ เลขที่ 2 ถนนนางลิ้นจี่
แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพมหานคร 10120

¹ Division of Information Technology and Digital Business, Faculty of Business Administration, Rajamangala University of
Technology Bangkok, 2 Nang Linchi Road, Thung Maha Mek, Sathorn, Bangkok 10120, Thailand.

*Corresponding Author: Suratep.p@mail.rmutk.ac.th

Received 27 มีนาคม 2569; Revised 20 เมษายน 2569; Accepted 22 เมษายน 2569

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อการจำแนกข้อความ SMS ภาษาไทยจากมิจฉาชีพด้วย Machine Learning 2) ศึกษาการใช้อัลกอริทึม PyThaiNLP ร่วมกับเทคนิค TF-IDF ในการสกัดคุณลักษณะข้อความ และประยุกต์ใช้เทคนิค SMOTE เพื่อแก้ไขปัญหาค่าความไม่สมดุลของข้อมูล ก่อนนำไปฝึกด้วยอัลกอริทึม Naïve Bayes และ 3) ศึกษาผลของแบบจำลองในการจำแนกข้อความ SMS ภาษาไทยออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ ข้อความปกติ ข้อความมิจฉาชีพ และข้อความส่งเสริมการขาย โดยใช้ข้อมูลจำนวน 5,000 รายการ ผลการทดลองด้วยอัลกอริทึม Naïve Bayes พบว่า กลุ่มข้อความปกติมีค่า Precision (ความแม่นยำ) 0.94 Recall (ความระลึก) 0.84 และ F1-Score (ค่าความถ่วงดุล) 0.88 กลุ่มข้อความส่งเสริมการขายมีค่า Precision 0.57 Recall 0.81 และ F1-Score 0.67 และกลุ่มข้อความมิจฉาชีพมีค่า Precision 0.84 Recall 0.91 และ F1-Score 0.87 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่ดีของแบบจำลอง โดยเฉพาะในการตรวจจับข้อความมิจฉาชีพ นอกจากนี้ การประยุกต์ใช้เทคนิค SMOTE ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของแบบจำลอง โดยให้ค่าความถูกต้อง (Accuracy) สูงสุดร้อยละ 85.00 พร้อมทั้งให้ค่าความแม่นยำ ความระลึก และค่าความถ่วงดุลอยู่ในระดับดีเยี่ยม สรุปได้ว่าแนวทางดังกล่าวสามารถนำไปใช้ในการตรวจจับข้อความ SMS มิจฉาชีพได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำหลัก: การประมวลผลภาษาธรรมชาติ; การจำแนกข้อความ; ข้อความสแปม; Naïve Bayes; การเรียนรู้ของเครื่อง

Abstract

This research aims to: 1) classify Thai SMS messages related to scams using Machine Learning; 2) investigate the use of PyThaiNLP combined with TF-IDF for text feature extraction and apply the SMOTE technique to address class imbalance before training with the Naïve Bayes algorithm; and 3) evaluate the performance of the model in classifying Thai SMS messages into three categories: normal, scam, and promotional messages, using a dataset of 5,000 samples. The experimental results using the Naïve Bayes algorithm show that the normal class achieved a Precision (accuracy of positive predictions) of 0.94, Recall (ability to detect actual positives) of 0.84, and F1-Score (balance between Precision and Recall) of 0.88. The

promotional class obtained a Precision of 0.57, Recall of 0.81, and F1-Score of 0.67, while the scam class achieved a Precision of 0.84, Recall of 0.91, and F1-Score of 0.87. These results indicate that the model performs well, particularly in detecting scam messages. Furthermore, applying the SMOTE technique improved the model performance, achieving the highest Accuracy of 85.00%, with Precision, Recall, and F1-Score at a good level. In conclusion, this approach is effective for Thai SMS scam detection and can be applied in real-world scenarios.

Keywords: Natural Language Processing; Text Classification; Spam SMS; Naïve Bayes; Machine Learning

1. บทนำ

การสื่อสารผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่และบริการส่งข้อความสั้น (Short Message Service: SMS) ถือเป็นช่องทางการสื่อสารที่สำคัญและเข้าถึงประชาชนได้อย่างรวดเร็วติดต่อสื่อสาร หรือการรับส่งข้อมูลใน ระยะทางไกลมีความสะดวกและรวดเร็วมากยิ่งขึ้น ด้วยรูปแบบที่ง่ายต่อการใช้งานผ่านอุปกรณ์ อิเล็กทรอนิกส์ จึงส่งผลให้อัตราการใช้งานเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยผู้ใช้งานสามารถพูดคุย แบ่งปัน แลกเปลี่ยน หรือสิ่งที่ตัวเองสนใจได้อย่างไม่มีขีดจำกัดโดยใช้หลักการการประมวลผลภาษาธรรมชาติ(Natural language processing - NLP) และการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine learning) ซึ่งเป็นสาขาหนึ่งของปัญญาประดิษฐ์ (Artificial intelligence) เพื่อสร้างขั้นตอนวิธีเพื่อจำแนกประเภทข้อความ ออกจากข้อความทั่วไป การจำแนกประเภทข้อความเป็นหนึ่งในวิธีที่พบได้บ่อยที่สุดในการจัดเรียงข้อความออกเป็นกลุ่มอย่างเป็นระบบ เรียกอีกอย่างว่าการติดแท็กข้อความหรือการจัดหมวดหมู่ โปรแกรมจำแนกประเภทข้อความสามารถวิเคราะห์ข้อความได้โดยใช้การประมวลผลภาษาธรรมชาติ (NLP)

ในยุคดิจิทัลปัจจุบัน โทรศัพท์เคลื่อนที่และบริการส่งข้อความสั้น (Short Message Service: SMS) ถือเป็นช่องทางการสื่อสารที่สำคัญและเข้าถึงประชาชนได้อย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตาม ความสะดวกรวดเร็วนี้ได้ถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือโดยกลุ่มมิจฉาชีพและผู้ไม่ประสงค์ดีในการหลอกลวงประชาชน (Scam) เช่น การส่งลิงก์ปลอมเพื่อขโมยข้อมูลส่วนบุคคล (Phishing) ข้อความ SMS (เบอร์โทรศัพท์มือถือ): มักจะส่งมาจากเบอร์แปลก หรือบางครั้งปลอมเป็นชื่อหน่วยงานที่ท่านคุ้นเคย เช่น ธนาคาร, บริษัทขนส่ง, หรือแม้แต่การไฟฟ้า/ประปา [1]

การหลอกลวงให้โอนเงิน การโฆษณาเว็บพนันออนไลน์ รวมถึงการส่งข้อความส่งเสริมการขาย (Promotional Message) ที่สร้างความรำคาญให้แก่ผู้รับ ปัญหาดังกล่าวส่งผลกระทบต่อความมั่นคงปลอดภัยทางไซเบอร์และก่อให้เกิดความสูญเสียทางทรัพย์สินจำนวนมากในประเทศไทย แม้ว่าผู้ให้บริการเครือข่ายจะมีการบล็อกหมายเลขโทรศัพท์ที่น่าสงสัย แต่กลุ่มมิจฉาชีพมักจะปรับเปลี่ยนรูปแบบข้อความและหมายเลขผู้ส่งอยู่เสมอ ทำให้การรับมือด้วยวิธีดั้งเดิมไม่เพียงพอต่อการป้องกัน

2. วิธีดำเนินงานวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) สำหรับจำแนกประเภทข้อความ SMS ที่เป็นภาษาไทย ซึ่งผู้วิจัยได้กำหนดขั้นตอนการดำเนินงานออกเป็น 5 ขั้นตอนหลัก ดังนี้โดยใช้ อัลกอริทึม PyThaiNLP ร่วมกับเทคนิค TF-IDF เพื่อตัดคำและแปลงตัวหนังสือให้เป็นตัวเลข เพื่อให้คอมพิวเตอร์คำนวณได้และประยุกต์ใช้เทคนิค SMOTE เพื่อ แก้ไขปัญหาความไม่สมดุลของข้อมูล ดังรูปที่ 1 และมีรายละเอียดการดำเนินการวิจัยดังนี้

2.1 การจัดการข้อมูลและการเตรียมความพร้อมล่วงหน้า (Data Management and Preprocessing)

ชุดข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วยข้อความสั้น (SMS) ภาษาไทยจำนวน 5,000 รายการ โดยมีการกำหนดป้ายกำกับ (Label) เพื่อแบ่งประเภทของข้อความออกเป็น 3 คลาส (Class) ได้แก่ ข้อความปกติ (Normal) จำนวน 3,217 รายการ ข้อความมิจฉาชีพ (Scam) จำนวน 1,184 รายการ และข้อความส่งเสริมการขาย (Promo) จำนวน 599

รายการ จากสถิติเบื้องต้นพบว่าชุดข้อมูลมีลักษณะไม่สมดุล (Imbalanced Data) อย่างชัดเจน ซึ่งสอดคล้องกับ พฤติกรรมการรับข้อความในสถานการณ์จริง

2.2. การทำความสะอาดและประมวลผลข้อความเบื้องต้น (Text Preprocessing)

คอมพิวเตอร์ไม่สามารถประมวลผลข้อความภาษาไทย ในรูปแบบประโยคยาวได้โดยตรง ผู้วิจัยจึงนำคลังข้อมูลและไลบรารี PyThaiNLP มาใช้ในกระบวนการเตรียมข้อมูล โดยมีขั้นตอนดังนี้ 1) การแปลงตัวอักษรภาษาอังกฤษทั้งหมดให้เป็นตัวพิมพ์เล็ก (Case Folding) 2) การตัดคำ (Tokenization) ด้วยเครื่องมือเอนจิน (Engine) ที่ชื่อว่า 'newmm' ซึ่งอาศัยหลักการจับคู่คำที่ยาวที่สุดตามพจนานุกรม 3) การกรองคำฟุ่มเฟือย (Stopwords Removal) โดยตัดคำที่ไม่มีผลต่อความหมายหลักของประโยคออก และ 4) การทำความสะอาดด้วยนิพจน์ พฤติกรรม (Regular Expression) เพื่อเก็บไว้เฉพาะตัวอักษรภาษาไทย ภาษาอังกฤษ และตัวเลข โดยตัดเครื่องหมายวรรคตอนและสัญลักษณ์พิเศษทิ้งไป

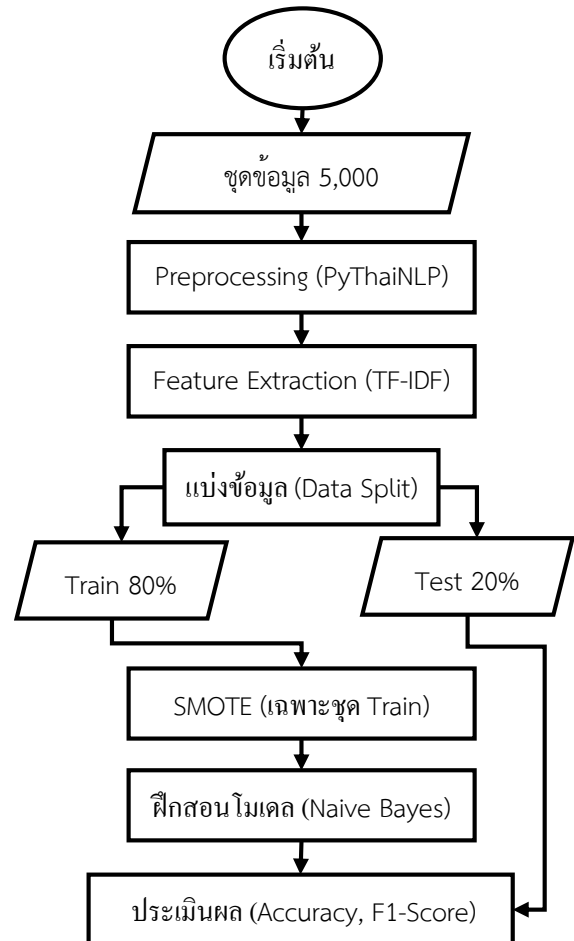
2.3. การสกัดคุณลักษณะข้อความและการแบ่งข้อมูล (Feature Extraction and Data Splitting)

หลังจากการทำความสะอาดข้อความ ข้อมูลจะถูกนำมาแปลงให้อยู่ในรูปแบบเวกเตอร์ตัวเลข (Numerical Vector) ด้วยเทคนิค TF-IDF (Term Frequency-Inverse Document Frequency) เพื่อคำนวณค่าน้ำหนัก ความสำคัญของแต่ละคำศัพท์ในชุดข้อมูล โดยคำที่ปรากฏบ่อยในข้อความประเภทใดประเภทหนึ่งแต่ไม่ค่อยพบในข้อความประเภทอื่น จะได้รับค่าน้ำหนักที่สูง จากนั้นผู้วิจัย ได้ทำการแบ่งชุดข้อมูล (Train-Test Split) ออกเป็น 2 ส่วน คือ ชุดข้อมูลสำหรับฝึกสอน (Training Set) ร้อยละ 80 และชุดข้อมูลสำหรับทดสอบ (Testing Set) ร้อยละ 20

2.4. การจัดการชุดข้อมูลที่ไม่สมดุล (Data Augmentation with SMOTE)

เนื่องจากชุดข้อมูลสำหรับฝึกสอนมีสัดส่วนของข้อความปกติมากกว่าข้อความมีฉ้อฉลและข้อความส่งเสริมการขายอย่างมาก ซึ่งอาจส่งผลให้แบบจำลองเกิดการเรียนรู้ที่ลำเอียง (Bias) ผู้วิจัยจึงประยุกต์ใช้เทคนิค SMOTE (Synthetic Minority Over-sampling Technique) กับชุด

ข้อมูลสำหรับฝึกสอน (Training Set) เท่านั้น เพื่อสร้างข้อมูลสังเคราะห์สำหรับคลาสที่เป็นชนกลุ่มน้อย (Minority Class) ให้มีจำนวนเทียบเท่ากับคลาสหลัก ทำให้แบบจำลองสามารถเรียนรู้คุณลักษณะของข้อความทุกประเภทได้อย่างเท่าเทียมและมีประสิทธิภาพมากขึ้น



รูปที่ 1 แผนภาพสรุปขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

2.5 การสร้างแบบจำลองและการประเมินผล (Model Training and Evaluation)

งานวิจัยนี้เลือกใช้อัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องแบบ โนอีฟเบย์ (Multinomial Naïve Bayes) ในการสร้างแบบจำลองเพื่อจำแนกประเภทข้อความ เนื่องจากเป็นอัลกอริทึมที่เหมาะสมกับข้อมูลประเภทข้อความและอาศัยหลักการทางสถิติความน่าจะเป็นในการจัดหมวดหมู่ หลังจากการฝึกสอนเสร็จสิ้น แบบจำลองจะถูกนำไปประเมินประสิทธิภาพกับชุดข้อมูลสำหรับทดสอบ (Testing Set) โดยใช้ตัวชี้วัดมาตรฐาน ได้แก่ ค่าความแม่นยำรวม (Accuracy) ค่าความแม่นยำ (Precision) ค่าความถูกต้อง (Recall) และค่าเอฟวัน (F1-Score) รวมถึงการวิเคราะห์

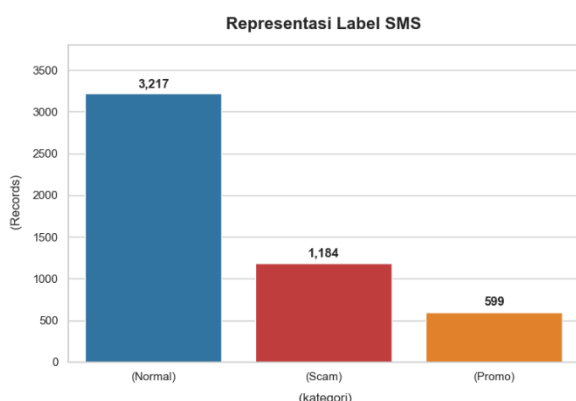
ค่าเฉลี่ยแบบมหภาค (Macro Average) และแบบถ่วงน้ำหนัก (Weighted Average) ควบคู่ไปกับการใช้เมทริกซ์ความสับสน (Confusion Matrix) เพื่อตรวจสอบการทำนายที่ผิดพลาดในแต่ละคลาสอย่างละเอียด (Workflow)

3. ผลและการอภิปรายผลการวิจัย

การวิจัยนี้ได้นำชุดข้อมูลข้อความสั้น (SMS) ภาษาไทย จำนวน 5,000 รายการ มาผ่านกระบวนการทำความสะอาดข้อความและสกัดคุณลักษณะด้วยเทคนิค TF-IDF ก่อนนำไปปรับสมดุลข้อมูลด้วยเทคนิค SMOTE และฝึกสอนด้วยอัลกอริทึม Multinomial Naïve Bayes โดยผลการดำเนินงานวิจัยสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

3.1 ข้อมูลทั่วไปของชุดข้อมูลก่อนการปรับสมดุล

จากการสำรวจชุดข้อมูลข้อความตั้งต้น พบว่ามีการกระจายตัวของคลาสที่ไม่สมดุลกัน (Imbalanced Data) อย่างเห็นได้ชัด โดยประกอบด้วย ข้อความปกติ (Normal) จำนวน 3,217 รายการ คิดเป็นร้อยละ 64.34 ของข้อมูลทั้งหมด ตามด้วยข้อความมิจฉาชีพ (Scam) จำนวน 1,184 รายการ (ร้อยละ 23.68) และข้อความส่งเสริมการขาย (Promo) จำนวน 599 รายการ (ร้อยละ 11.98) ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งความไม่สมดุลนี้เป็นเหตุผลสำคัญที่ผู้วิจัยต้องนำเทคนิค SMOTE มาประยุกต์ใช้เพื่อป้องกันการเกิดความลำเอียงของแบบจำลอง ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 จำนวนรายการข้อความ SMS แบ่งตามประเภทในชุดข้อมูลตั้งต้น

3.2 ประสิทธิภาพของแบบจำลองในการจำแนก

ข้อความ

เมื่อนำชุดข้อมูลที่ผ่านการปรับสมดุลด้วยเทคนิค SMOTE มาฝึกสอนและทดสอบกับแบบจำลอง

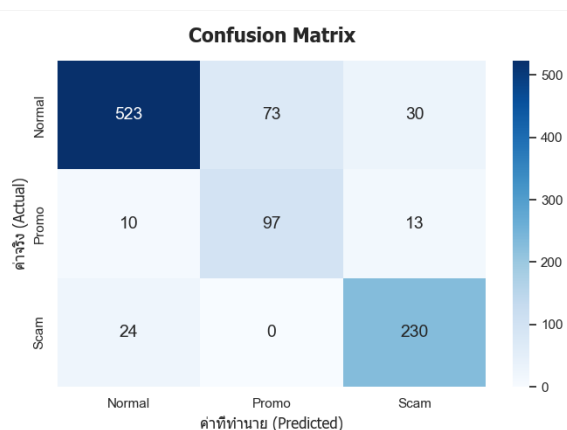
Multinomial Naïve Bayes [3] พบว่าแบบจำลองมีประสิทธิภาพในการจำแนกประเภทข้อความได้เป็นอย่างดี โดยมีค่าความแม่นยำรวม (Accuracy) สูงถึงร้อยละ 85.00 เมื่อพิจารณาค่าทางสถิติของแต่ละคลาส (ตารางที่ 1) พบว่าแบบจำลองสามารถทำนายข้อความปกติและข้อความมิจฉาชีพได้อย่างแม่นยำ โดยมีค่าเอฟวัน (F1-Score) อยู่ที่ 0.88 และ 0.87 ตามลำดับ นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยแบบมหภาค (Macro Average) และค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนัก (Weighted Average) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.81 และ 0.86 ตามลำดับ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สรุปผลประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง

	Precision	Recall	F1-Score
normal	0.94	0.84	0.88
promo	0.57	0.81	0.67
scam	0.84	0.91	0.87
Macro avg	0.78	0.85	0.81
Weighted avg	0.87	0.85	0.86
Accuracy : 85.00%			

3.3 การวิเคราะห์ความสับสนในการทำนายของแบบจำลอง (Confusion Matrix Analysis)

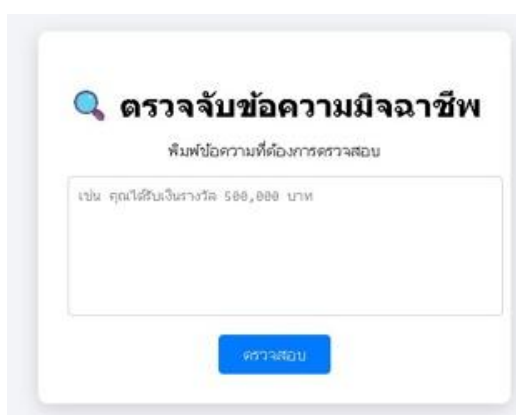
วิเคราะห์ข้อผิดพลาดของแบบจำลองเชิงลึก ผู้วิจัยได้นำผลการทำนายมาแสดงในรูปแบบเมทริกซ์ความสับสน (Confusion Matrix) ดังรูปที่ 3 จากเมทริกซ์พบว่าแบบจำลองสามารถทำนายข้อความแต่ละประเภทได้ถูกต้องเป็นส่วนใหญ่ (พิจารณาจากแนวทแยงมุมหลักของตาราง) อย่างไรก็ตาม ยังพบการทำนายผิดพลาดที่น่าสนใจ กล่าวคือ มีความสับสนระหว่างข้อความปกติและข้อความส่งเสริมการขายอยู่บ้าง จำนวน 10 รายการ ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าข้อความทั้งสองประเภทยังอาจมีการใช้กลุ่มคำศัพท์ (Vocabulary) ที่ใกล้เคียงกัน เช่น คำว่า "ระบบ" "เวลา" หรือ "คุณ" ทำให้แบบจำลองที่พิจารณาความถี่ของคำ (TF-IDF) เกิดความสับสนได้ในบางกรณี ทว่าข้อผิดพลาดดังกล่าวมีจำนวนน้อยมากเมื่อเทียบกับการทำนายที่ถูกต้องทั้งหมด



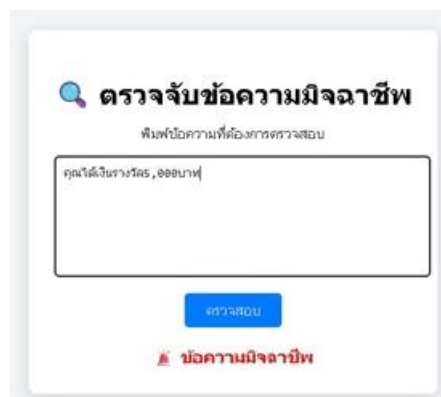
รูปที่ 3 เมทริกซ์ความสับสน (Confusion Matrix) ของแบบจำลอง

3.4 ผลการประเมินประสิทธิภาพ

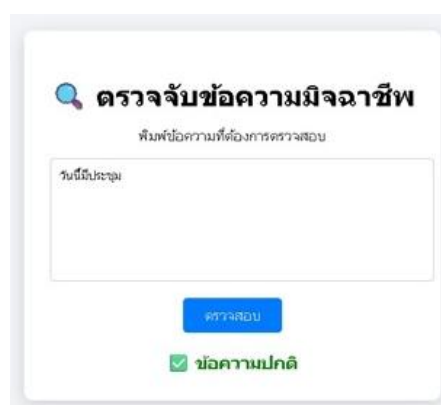
ผลการประเมินจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง Multinomial Naïve Bayes ที่ผ่านการปรับสมดุลข้อมูลด้วยเทคนิค SMOTE [2] มีประสิทธิภาพในการจำแนกข้อความ SMS ภาษาไทยได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถจำแนกข้อความออกเป็น 3 ประเภทได้อย่างแม่นยำ ทั้งข้อความปกติ ข้อความมิจฉาชีพ และข้อความส่งเสริมการขาย ทั้งนี้แบบจำลองมีค่าความถูกต้อง (Accuracy) อยู่ที่ร้อยละ 85.00 และมีค่า F1-Score ของแต่ละคลาสอยู่ในระดับสูง สะท้อนถึงความสามารถในการทำนายที่ดี นอกจากนี้ ค่า Macro Average และ Weighted Average ยังอยู่ในเกณฑ์ดี แสดงถึงความสมดุลของประสิทธิภาพในทุกกลุ่มข้อมูล จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นระบบคัดกรองข้อความเพื่อเพิ่มความปลอดภัยให้กับผู้ใช้งานได้อย่างเหมาะสม ดังรูปที่ 4-6



รูปที่ 4 กล่องใส่ข้อความ



รูปที่ 5 ข้อความมิจฉาชีพ



รูปที่ 6 ข้อความปกติ

3.5 อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการทดลองพบว่าเทคนิค SMOTE มีบทบาทสำคัญในการช่วยแก้ไขปัญหาค่าความไม่สมดุลของข้อมูล ส่งผลให้แบบจำลองสามารถเรียนรู้ข้อมูลในกลุ่มส่วนน้อยได้ดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ศึกษาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวแบบการเรียนรู้ของเครื่อง [3] และทฤษฎีการจัดการข้อมูลที่ไม่สมดุลของ Chawla et al. [4] ที่ระบุว่า การเพิ่มข้อมูลตัวอย่างสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของแบบจำลองได้อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับแนวทางการจำแนกข้อความสนทนา ที่ชี้ให้เห็นว่าการบูรณาการเทคนิคการเพิ่มข้อมูล (Data Augmentation) เข้ากับแบบจำลองการเรียนรู้ สามารถยกระดับความแม่นยำในการคัดกรองข้อความได้อย่างมีประสิทธิภาพ [5] ในส่วนของการใช้ TF-IDF ร่วมกับเครื่องมือประมวลผลภาษาธรรมชาติ PyThaiNLP พบว่าสามารถช่วยให้แบบจำลองแยกแยะความสำคัญของคำในข้อความได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม ยังพบข้อจำกัดในกรณีที่ข้อความต่างประเภทมีการใช้คำศัพท์ที่ใกล้เคียงกัน เช่น ข้อความปกติและข้อความส่งเสริมการขาย ซึ่งส่งผลให้เกิดความสับสนในการ

จำแนกบางส่วน สอดคล้องกับแนวคิดของ Wu et al. [6] ที่อธิบายว่าการให้น้ำหนักคำอาจไม่สามารถสะท้อนความหมายเชิงบริบทได้ทั้งหมด

นอกจากนี้ การเลือกใช้อัลกอริทึม Naïve Bayes ซึ่งมีข้อดีด้านความเรียบง่ายและประสิทธิภาพในการประมวลผลข้อความ ยังให้ผลลัพธ์ที่ดีและสอดคล้องกับการประยุกต์ใช้เทคนิคเหมืองข้อมูลเพื่อการจำแนกข้อความภาษาไทย [7] อย่างไรก็ตาม แบบจำลองดังกล่าวยังมีข้อจำกัดในการพิจารณาความสัมพันธ์ของคำในเชิงลำดับ ทำให้ไม่สามารถเข้าใจบริบทของประโยคได้อย่างลึกซึ้ง

ยิ่งไปกว่านั้น เมื่อพิจารณาในด้านการนำไปใช้ประโยชน์พบว่า พฤติกรรมการรับส่งข้อความ SMS ยังคงเป็นช่องทางที่เข้าถึงผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้โดยตรง [8] ผลลัพธ์จากการพัฒนาแบบจำลองในงานวิจัยนี้ จึงสามารถนำไปต่อยอดเป็นระบบคัดกรองเบื้องต้นเพื่อรับมือกับกลโกงในโลกโซเชียล [9] และข้อความหลอกลวงที่แนบลิงก์อันตราย ตลอดจนเป็นเครื่องมือสำคัญในการยกระดับความปลอดภัยและป้องกันประชาชนจากการตกเป็นเหยื่อของกลุ่มอาชญากรทางเทคโนโลยี เช่น แก๊งคอลเซ็นเตอร์ [10] หรือการหลอกลวงให้โอนเงิน (Romance Scam) [11] ได้อย่างเป็นรูปธรรม

4. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการพัฒนาแบบจำลองปัญญาประดิษฐ์เพื่อจำแนกประเภทข้อความสั้น (SMS) ภาษาไทย โดยแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ ข้อความปกติ ข้อความมิจฉาชีพ และข้อความส่งเสริมการขาย จากการทดลองพบว่า การประยุกต์ใช้เครื่องมือ PyThaiNLP ร่วมกับเทคนิคการหาค่าน้ำหนักคำแบบ TF-IDF สามารถสกัดคุณลักษณะของข้อความภาษาไทยได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ การนำเทคนิค SMOTE มาใช้เพื่อแก้ปัญหาความไม่สมดุลของชุดข้อมูล (Imbalanced Data) ถือเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยลดความลำเอียงของแบบจำลอง ทำให้แบบจำลอง Multinomial Naïve Bayes สามารถเรียนรู้และทำนายคลาสที่เป็นกลุ่มย่อย (ข้อความมิจฉาชีพและข้อความส่งเสริมการขาย) ได้อย่างแม่นยำยิ่งขึ้น ผลการประเมินประสิทธิภาพโดยรวมแสดงให้เห็นว่า แบบจำลองที่นำเสนอมีความแม่นยำสูงและมีอัตราการทำนายผิดพลาดต่ำ จึงสรุปได้ว่ากระบวนการและอัลกอริทึมที่เลือกใช้มีความ

เหมาะสม และสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นระบบคัดกรองข้อความเบื้องต้นเพื่อแจ้งเตือนภัยแก่ผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้จริง ซึ่งจะสามารถแยกแยะข้อความ (SMS) โดยผ่าน Web Application ได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ธ. ไทยพาณิชย์, “คลิกเดียวชีวิตเปลี่ยน! วิธีรับมือ ‘ลิงก์แปลกปลอม’ และ ‘ข้อความหลอกลวง’, ” [ออนไลน์]. <https://www.scb.co.th/th/personal-banking/fraud-fighter/update-fraud/sms-one-click>. (เข้าถึงเมื่อ: 9 เมษายน 2569).
- [2] W. Phatthiyaphaibun et al., "PyThaiNLP: Thai Natural Language Processing in Python," in *Proc. 3rd Workshop for Natural Language Processing Open Source Software (NLP-OSS 2023)*, 2023, pp. 25–36.
- [3] ศวิตา ทองขุนวงศ์ และ ภัคพล สวัสดิ์กมล, "การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวแบบการเรียนรู้ของเครื่องสำหรับการจำแนกผู้ป่วยโรคมะเร็งปอด," *วารสารวิจัย มทร. กรุงเทพฯ*, ปีที่ 18, ฉบับที่ 1, หน้า 33–42, มกราคม-มิถุนายน 2567.
- [4] N. V. Chawla, K. W. Bowyer, L. O. Hall, and W. P. Kegelmeyer, "SMOTE: Synthetic minority over-sampling technique," *J. Artif. Intell. Res.*, vol. 16, pp. 321–357, Jun. 2002.
- [5] นันทวัฒน์ หล้าชีว, "กรอบพัฒนาวิธีการจำแนกประเภทข้อความสนทนาด้วยเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกร่วมกับเทคนิคการเพิ่มข้อมูล," วิทยานิพนธ์ วท.ม. (วิทยาการคอมพิวเตอร์), มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ, 2566.
- [6] H. C. Wu, R. W. P. Luk, K. F. Wong, and K. L. Kwok, "Interpreting TF-IDF term weights as making relevance decisions," *ACM Trans. Inf. Syst.*, vol. 26, no. 3, pp. 1–37, Jun. 2008.
- [7] งามอาจ อุ่นอนันต์ และ พยุง มีสัง, "การจำแนกความน่าเชื่อถือของเว็บไซต์แหล่งข่าวภาษาไทยโดยใช้เทคนิคการทำเหมืองข้อมูล," *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, ปีที่ 14, ฉบับที่ 2, หน้า 101–116, พฤษภาคม-สิงหาคม 2563.

- [8] วสันต์ เจริญทองตระกูล, "พฤติกรรมการรับส่งข้อความสั้น (SMS) ทางโทรศัพท์เคลื่อนที่ของนักเรียน นิสิต นักศึกษา ในกรุงเทพมหานคร," วิทยานิพนธ์ ว.ม. (สื่อสารมวลชน), มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ, 2546.
- [9] สุปราณี วงษ์แสงจันทร์, ประภาพร กุลลัมรัตน์ชัย และ พิมล จงวรรณท์, "การรับมือกับกลโกงในโลกไซเบอร์," *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, ปีที่ 19, ฉบับที่ 2, หน้า 14-26, พฤษภาคม-สิงหาคม 2568.
- [10] สิริลักข์ เมืองนิล, ศุภกร ปุณญฤทธิ์ และ สุธัญญ์ กัลยะจิตร, "การป้องกันการตกเป็นเหยื่อแก๊งคอลเซ็นเตอร์," *วารสารกระบวนการยุติธรรม*, ปีที่ 18, ฉบับที่ 3, หน้า 1-22, พฤษภาคม-สิงหาคม 2568.
- [11] ชวัลวิทย์ โสภาศิริทรัพย์, สุธัญญ์ กัลยะจิตร และ พรชุตี นาคพงษ์, "แนวทางป้องกันการตกเป็นเหยื่อหลอกรักออนไลน์ (Romance Scam)," *วารสารกระบวนการยุติธรรม*, ปีที่ 17, ฉบับที่ 3, หน้า 1-16, กันยายน-ธันวาคม 2567.

ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และพัฒนาเซรั่มบำรุงผิวจากสารสกัดเมล็ดมะละกอ

Antioxidant Activity and Development of Skin Care Serum from Papaya Seed Extracts

วันทนา มงคลวิสุทธิ์^{1*}, นภาพร หล้าเล็ก¹, จุฑาทิพย์ ไบตานิ¹ และ วิภา ทัพเชียงใหม่²
Wantana Mongkolvisut^{1*}, Napaphorn Lamlek¹, Juthathip Baitani¹ and Wipa Tupchiangmai²

¹ สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ 10120

¹ Division of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Krungthep, 10120

² หลักสูตรวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสวนดุสิต 10170

² Division of General Science Program, Faculty of Science and Technology, Suan Dusit University, 10170

*Corresponding Author: wantana.m@mail.rmutk.ac.th

Received 14 มีนาคม 2569; Revised 22 เมษายน 2569; Accepted 23 เมษายน 2569

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดหยาบจากเมล็ดมะละกอสุก (เมล็ดสดและเมล็ดแห้ง) โดยใช้ตัวทำละลาย 3 ชนิด ได้แก่ น้ำ (W) กลีเซอริน (G) และ โมโนโพรพิลีนไกลคอล (MP) ที่อัตราส่วนแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 1:10, 1:15, 1:20 (w/v) ด้วยเทคนิคอัลตราโซนิก (30 นาที) นำสารสกัดหยาบที่ได้ไปทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH และวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกรวม จากนั้นเตรียมเซรั่มพื้นฐาน (PS1) และเซรั่มที่มีส่วนผสมของสารสกัดหยาบเมล็ดมะละกอที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ดีที่สุดจำนวน 2 สูตร (PS2 และ PS3) ทดสอบความคงตัวของเซรั่ม และวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง นำเซรั่มทั้ง 3 สูตร มาทดสอบการดูดซับเข้าสู่เมดมาส์กที่ระยะเวลา 0, 1, 5, 10, 15 และ 20 นาที ผลการทดลองพบว่าสารสกัดหยาบจากเมล็ดมะละกอสดที่สกัดด้วยกลีเซอริน (FS-G-10) อัตราส่วน 1:10 (w/v) มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ที่สูงที่สุด (EC_{50} 0.685 กรัม/มิลลิลิตร) และมีปริมาณฟีนอลิกรวมมากที่สุด (121.94 ± 0.189 mg GAE/100 g FW) ผลการศึกษาความคงตัวของเซรั่มพบว่าเซรั่มสูตร PS2 มีความคงตัวดีที่สุด และเซรั่มทั้ง 3 สูตรมีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 6 ผลของระยะเวลาที่เมดมาส์กดูดซับเซรั่ม (PS1, PS2 และ PS3) พบว่าระยะเวลาที่เมดมาส์กดูดซับเซรั่มได้สูงสุดคือ 20 นาที จากผลการวิจัยนี้พบว่าสารสกัดเมล็ดมะละกอสดสามารถนำมาใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์เซรั่มบำรุงผิว หรือนำเซรั่มไปประยุกต์ใช้คู่กับแผ่นมาส์กหน้าอัดเมด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบำรุงผิวให้ดียิ่งขึ้น

คำหลัก: สารสกัดเมล็ดมะละกอ; ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH; เซรั่มบำรุงผิว; เมดมาส์กหน้า; สูตรเครื่องสำอาง

Abstract

The aim of this research was to study the DPPH antioxidant activity of crude extracts from ripe papaya seeds (fresh seed and dried seed) by using 3 types of solvents as water (W) glycerin (G) and monopropylene glycol (MP) at 3 different solvent ratios as 1:10, 1:15, 1:20 (w/v) by ultrasonic technique (30 minutes). The crude extracts were tested for DPPH antioxidant activity and analyzed the total phenolic content. Then a basic serum (PS1) and a serum with containing the best antioxidant activity of papaya seed crude extract 2 different formulations (PS2 and PS3) were prepared and tested the stability of the serum,

and pH value. The 3 serum formulations were tested for absorption into the mask granule at 0, 1, 5, 10, 15 and 20 minutes. The results showed that the crude extract from fresh papaya seeds extracted with glycerin 1:10 (w/v) (FS-G-10) had the best antioxidant activity DPPH (EC_{50} 0.685 g/mL) and the highest total phenolic content (121.94 ± 0.189 mg GAE/100 g FW). The study, results of the serum stability showed that the PS2 serum had the best stability, and all 3 serums had a pH 6 value. Effect of how long to take time for the mask granule to absorb the serum (PS1, PS2 and PS3) was found that the maximum time for the mask granule to absorb the serum was 20 minutes. According to the results of this research, fresh papaya seed extract can be used as an ingredient in nourish skin serum or applied to the serum with compressed facial mask sheet to further enhance the effectiveness of skin care.

Keywords: papaya seed extract; DPPH antioxidant activity; skin care serum; face mask granule; cosmetic formulation

1. บทนำ

ในปัจจุบันมะละกอบเป็นผลไม้ที่หาทานได้ง่ายและคนส่วนใหญ่นิยมทานกัน แต่มีคนส่วนน้อยที่ทราบว่าเมล็ดมะละกอนั้นมีประโยชน์สามารถนำไปใช้รักษาโรคต่าง ๆ ซึ่งมีรายงานผลการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับองค์ประกอบทางเคมีจากส่วนต่าง ๆ ของมะละกอบว่าพบสารออกฤทธิ์สำคัญหลายชนิด เช่น การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณฟีนอลิกรวม และปริมาณฟลาโวนอยด์รวมจากเมล็ดมะละกอบแห้งที่สกัดแบบแบ่งส่วนด้วยตัวทำละลายที่มีสภาพขั้วแตกต่างกัน (เอทานอล ปิโตรเลียมอีเทอร์ เอทิลอะซิเตต เอ็น-บิวทานอล และน้ำ) พบว่าสารสกัดด้วยตัวทำละลายเอทิลอะซิเตต มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณฟีนอลิกรวม และปริมาณฟลาโวนอยด์รวมสูงที่สุด ทำให้สารสกัดจากเมล็ดมะละกอบสามารถนำมาใช้เป็นสารต้านอนุมูลอิสระตามธรรมชาติในผลิตภัณฑ์บางชนิด เช่น อาหาร และยา [1] สารสกัดอัลคาลอยด์จากเมล็ดมะละกอบสามารถใช้เป็นสารรักษามะเร็งได้ [2]

การสกัดเมล็ดมะละกอบแห้งด้วยปิโตรเลียมอีเทอร์จะทำให้ได้น้ำมันซึ่งประกอบด้วยน้ำมันที่มีประโยชน์ที่รับประทานได้ รวมถึงสารในกลุ่มแคโรทีนอยด์ [3] สำหรับเนื้อมะละกอบและเปลือกมะละกอบ ที่สกัดด้วยน้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันดอกทานตะวันด้วยเทคนิคอัลตราโซนิค (Ultrasonic technique) ในการสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในกลุ่มสารแคโรทีนอยด์ พบว่าการสกัดด้วยน้ำมันถั่วเหลือง จะทำให้ได้ปริมาณสารแคโรทีนอยด์สูงกว่าน้ำมันเมล็ดทานตะวัน [4] การนำสารสกัดจากมะละกอบมาใช้ในเครื่องสำอางบำรุงผิว เช่น การนำไปใช้เป็นส่วนผสมในการทำผลิตภัณฑ์ครีมบำรุง

ผิว [5] ผลิตภัณฑ์เซรั่ม [6, 7] และมีการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดน้ำจากเมล็ดมะละกอบแห้งต่อการต้านความเครียดจากออกซิเดชันของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ในไฟโบร-บลาสต์ผิวหนังมนุษย์ Detroit 550 พบว่าสารสกัดน้ำจากเมล็ดมะละกอบแห้ง ไม่มีความเป็นพิษและทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพสูงมีศักยภาพในการใช้ปกป้องไฟโบรบลาสต์ผิวหนังมนุษย์ Detroit 550 จากความเครียดออกซิเดชันได้ [8] จากงานวิจัยข้างต้นจะเห็นได้ว่าส่วนเนื้อของผลมะละกอบที่นำมาใช้รับประทานได้แล้วยังสามารถนำส่วนเมล็ด และเปลือกของมะละกอบ ซึ่งเป็นของเหลือทิ้งนำมาใช้ประโยชน์ได้ โดยเมื่อนำมาสกัดด้วยตัวทำละลายที่มีสภาพขั้วต่างกันจะทำให้ได้สารสำคัญที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพต่างกัน ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางได้

ผลิตภัณฑ์เซรั่มบำรุงผิวเตรียมได้โดยใช้สารไฮดรอกซีเอทิลเซลลูโลส (HEC) เป็นสารก่อเจลในสูตรเครื่องสำอาง โดยความหนืดของเซรั่มจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสาร HEC เพิ่มขึ้น [9] โดยเซรั่มบำรุงผิวเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่เหนียวเหนอะหนะ มีความหนืดน้อยกว่าครีม 10 เท่า สามารถถูกเกลี่ยให้กระจายตัว และถูกดูดซึมเข้าสู่ชั้นเซลล์ผิวได้ดี และเร็ว เนื่องจากเซรั่มบำรุงผิวประกอบด้วยสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก มีส่วนประกอบหลักคือ น้ำหรือน้ำมัน ไฮยาลูโรนิก แอซิด และกลีเซอริน [10, 11]

จากงานวิจัยข้างต้นพบว่า สารสกัดน้ำจากเมล็ดมะละกอบแห้ง ไม่มีความเป็นพิษและทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพสูงมีศักยภาพในการใช้ปกป้องไฟโบร-

บลาสต์ผิวหนังมนุษย์ ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงสนใจนำเมล็ดมะละกอสด และเมล็ดมะละกอบแห้งมาสกัดด้วยตัวทำละลาย เช่น น้ำ กลีเซอริน และโมโนโพรพิลีนไกลคอล ซึ่งใช้เป็น ส่วนผสมในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง และนำสารสกัดที่ได้มาทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณฟีนอลิกรวม และเลือกสารสกัดหยาบเมล็ดมะละกที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ดีที่สุดมาใช้เป็นส่วนผสมในเตรียมเป็นผลิตภัณฑ์เสริม โดยใช้สารไฮดรอกซีเอทิลเซลลูโลส (HEC) เป็นสารก่อเนื้อเซรัม และนำเซรัมที่ได้ไปประยุกต์ใช้กับเม็ดมาสก์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบำรุงผิวให้ดียิ่งขึ้น และเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการดูแลสุขภาพผิว

1.1 วิจารณ์วรรณกรรมหรือทฤษฎี และเอกสารที่เกี่ยวข้อง

มะละกอ เป็นไม้ผลเขตร้อนชนิดหนึ่ง มีถิ่นกำเนิดจากทวีปอเมริกากลาง ประเทศเม็กซิโก มะละกามีหลายสายพันธุ์ เช่น พันธุ์แขกดำ พันธุ์ฮอลแลนด์ ในปีพุทธศักราช 2557 มะละกอพันธุ์ฮอลแลนด์ มีการจำหน่ายในท้องตลาดมากขึ้น และเป็นที่นิยมของผู้บริโภค [12] ชื่อวิทยาศาสตร์: *Carica papaya* L. อยู่ในวงศ์ Caricaceae องค์ประกอบทางเคมีจากส่วนต่าง ๆ ของมะละกอ ระบุว่าพบสารออกฤทธิ์สำคัญหลายชนิด เช่น carposide เป็นสารกลุ่ม glycoside และสาร alkaloid ที่ชื่อ carpaine เป็นสารที่พบในส่วนใบ [13] ส่วนของเนื้อมะละกอพบสาร β -carotene, kryptoxanthin, violaxanthin, zeaxanthin, tartaric acid, lutene, citric acid, malic acid และ pectin [14] ในยางมะละกอพบเอนไซม์ thiol protease หลายชนิด เช่น papain พบมากในผลดิบอายุ 70 - 100 วัน chymopapain A, B, glycyl endopeptidase และ caricain เป็นต้น [15] และในเมล็ดมะละกอยังพบสาร benzyl isothiocyanate, benzyl glucosinolate, carpaine, *p*-hydroxybenzoic acid, benzyl thiourea, hentriacontane, glucotropaeolin, kaemferol-3-glucoside, hentriacontane, quercetin-3-galactoside, caricin, β -sitosterol และ เอนไซม์ myrosinase และ papain [16]

การสกัดสารจากส่วนต่าง ๆ ของมะละกอมีการใช้ชนิดของตัวทำละลายที่แตกต่างกันเพื่อให้ได้สารสำคัญที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพได้ดีที่สุด เช่น เมล็ดมะละกอบแห้งที่สกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอล อีเทอร์ เอทิลอะซิเตต เอ็น-บิวทานอล และน้ำ จากนั้นนำไปทดสอบฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระด้วย

วิธี 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH), 2,2'-Azino-bis (3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid (ABTS⁺), Trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC), Ferric reducing antioxidant power (FRAP), Superoxide radical-scavenging activity (SOD), Hydrogen peroxide radical-scavenging activity ปริมาณฟีนอลิกรวม (Total Phenolic Content, TPC) และปริมาณฟลาโวนอยด์รวม (Total Flavonoid Content, TFC) ผลการทดสอบพบว่า สารสกัดทุกชนิดมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงกว่าวิตามินซี และโซเดียมเบนโซเอต (สารมาตรฐาน) โดยสารสกัดด้วยตัวทำละลายเอทิลอะซิเตต (EC_{50} 64.61 μ g/mL) มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงที่สุด รองลงมาคือสารสกัดเอ็น-บิวทานอล (EC_{50} 109.30 μ g/mL) นอกจากนี้ผลการทดสอบฟีนอลิกรวม และฟลาโวนอยด์รวม พบว่าสารสกัดเอทิลอะซิเตต ปริมาณฟีนอลิกรวมมากที่สุด (1945.48 mg GAE/100 g DW) และฟลาโวนอยด์รวมสูงสุด (117.48 mg RE/g DW) ดังนั้นผลิตภัณฑ์จากเมล็ดมะละกอสามารถนำมาใช้เป็นสารต้านอนุมูลอิสระตามธรรมชาติในผลิตภัณฑ์บางชนิด เช่น อาหาร และยา [1]

ปัจจุบันนี้มีการวิจัยจำนวนมากที่ทำการศึกษากิจกรรมทางชีวภาพของสารสกัดจากเนื้อผลมะละกอสดที่มีอายุหลังดอกบาน 12, 14, 16, 18 และ 20 สัปดาห์ มาศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพ (physicochemical) เช่น ค่าความเป็นกรด-ด่าง ความชื้น ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (Total soluble solids; TSS) ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ โดยทดสอบฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน เช่น ปริมาณฟีนอลิกรวม ปริมาณฟลาโวนอยด์รวม ความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์ (FRAP) การต้านอนุมูล DPPH และอนุมูล ABTS⁺ พบว่าเนื้อมะละกอรยะผลสุก (20 สัปดาห์) มีฤทธิ์ทางชีวภาพดีที่สุด คือ มีค่า TPC ต่อน้ำหนักกรัมสด (FW) เท่ากับ 60.40 ± 0.45 mg/100 g FW, TFC เท่ากับ 38.12 ± 0.98 mg/100 g FW, FRAP เท่ากับ 180.28 ± 0.04 mg/100 g FW และฤทธิ์ต้านอนุมูล DPPH เท่ากับร้อยละ 72.19 ± 0.10 [17] การใช้ตัวทำละลายที่มาจากน้ำมันพืช เช่นการสกัดสารแคโรทีนอยด์จากส่วนเนื้อ และเปลือกของมะละกอสุกด้วยน้ำมันงาล้วนเหลือง และน้ำมันดอกทานตะวันด้วยวิธีอัลตราโซนิก เมื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณสารแคโรทีนอยด์ พบว่าน้ำมันงาล้วนเหลืองมีปริมาณแคโรทีนอยด์รวม เท่ากับ 59 ส่วนน้ำมันเมล็ดทานตะวันพบปริมาณสารแคโรทีนอยด์รวม เท่ากับ 56 μ g/g oil [5]

1.2 วัตถุประสงค์

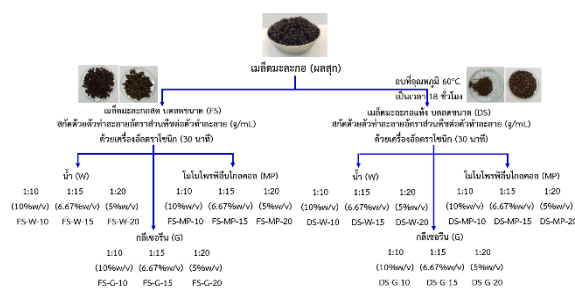
- เพื่อศึกษาชนิดและอัตราส่วนของตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดสารออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH และฟีนอลิกรวมจากเมล็ดมะละกอ
- เพื่อพัฒนาสูตรเข้มข้นบำรุงผิวที่มีส่วนผสมของสารสกัดหยาบเมล็ดมะละกอ

2. วิธีดำเนินงานวิจัย

มะละกอพันธุ์ฮอลแลนด์ (Holland variety) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Carica papaya* วงศ์ Caricaceae ชื่อผลไม้ มะละกอสุกจากร้านผลไม้ตลาดนางลิ้นจี่ กรุงเทพมหานคร ช่วงเดือน มีนาคม พ.ศ. 2567

2.1 การเตรียมตัวอย่างเมล็ดมะละกอ

การเตรียมเมล็ดมะละกอแบบแห้ง และแบบสด โดยนำผลมะละกอสุกมาล้างน้ำทำความสะอาด ทำการปอกเปลือก หั่นแยกเนื้อและเมล็ด นำเมล็ดไปล้างน้ำและแยกรกออก แบ่งเมล็ดที่ได้ออกเป็น 2 ส่วนเพื่อเตรียมตัวอย่างเมล็ดมะละกอแบบสด (fresh seeds; FS) และเมล็ดมะละกอแบบแห้ง (dried seeds; DS) เตรียมโดยนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 °C จนได้น้ำหนักคงที่ [18] นำเมล็ดมะละกอสด และเมล็ดมะละกอแห้ง ทำการบดลดขนาดด้วยเครื่องบดผลไม้ (Philips 450W รุ่น HR2059) นำเมล็ดมะละกอที่บดลดขนาดแล้วไปสกัดสารด้วยตัวทำละลายต่อไป (รูปที่ 1)



รูปที่ 1 การเตรียมสารสกัดหยาบจากเมล็ดมะละกอสด และเมล็ดมะละกอแห้ง

2.2 การเตรียมสารสกัดหยาบเมล็ดมะละกอ

นำเมล็ดมะละกอสด (FS) และเมล็ดมะละกอแห้ง (DS) มาทำการสกัดด้วยตัวทำละลายต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ น้ำ (W) กลีเซอริน (G) และโมโนโพรพิลีนไกลคอล (MP) โดยใช้อัตราส่วนพืชต่อปริมาตรตัวทำละลาย (w/v) ที่อัตราส่วน 1:10 (10% w/v), 1:15 (6.67% w/v) และ 1:20 (5% w/v)

ตามลำดับ ใช้รหัสสารดังนี้ ชุดที่ 1 สารสกัดด้วยตัวทำละลาย น้ำของเมล็ดมะละกอสด FS-W-10, FS-W-15, FS-W-20 และเมล็ดมะละกอแห้ง DS-W-10, DS-W-15, DS-W-20 ชุดที่ 2 สารสกัดด้วยตัวทำละลายกลีเซอรินของเมล็ดมะละกอสด FS-G-10, FS-G-15, FS-G-20 และเมล็ดมะละกอแห้ง DS-G-10, DS-G-15, DS-G-20 และชุดที่ 3 สารสกัดด้วยตัวทำละลายโมโนโพรพิลีนไกลคอลของเมล็ดมะละกอสด FS-MP-10, FS-MP-15, FS-MP-20 และเมล็ดมะละกอแห้ง DS-MP-10, DS-MP-15, DS-MP-20 นำสารตัวอย่างทั้งหมดมาทำการสกัดด้วยเครื่อง ultrasonic bath (Derui รุ่น DR-LD60 กำลัง 3,000 วัตต์) ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที (รูปที่ 1) ทำการกรองแยกกากด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 เก็บสารสกัดที่ได้นั้นที่อุณหภูมิ -18 °C เพื่อนำไปทดสอบต่อไป

2.3 การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH

นำสารสกัดหยาบเมล็ดมะละกอสด (FS) จำนวน 9 ตัวอย่าง และสารสกัดหยาบเมล็ดมะละกอแห้ง (DS) จำนวน 9 ตัวอย่าง และสารมาตรฐานวิตามินซี (ความเข้มข้น 10, 20, 40, 80 และ 100 µg/mL) มาทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH โดยใช้ปริมาตรสารตัวอย่างที่ต้องการทดสอบ และสารมาตรฐานวิตามินซีต่อปริมาตรของสารละลาย 0.2 mM DPPH ในตัวทำละลายเอทานอล ที่อัตราส่วนปริมาตรของสารตัวอย่างต่อปริมาตรสารละลาย DPPH เท่ากับ 1:2 (สารตัวอย่างแต่ละความเข้มข้นทำซ้ำ 3 ครั้ง) ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดนาน 30 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-visible spectrophotometer (ยี่ห้อ Jasco รุ่น V-730) ที่ความยาวคลื่น 517 nm บันทึกผลค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH เริ่มต้น (A_0) และของสารตัวอย่างที่ทำปฏิกิริยากับ DPPH หลังตั้งทิ้งไว้ 30 นาที (A_t) มาคำนวณหาค่า Radical scavenging activity (RSC, %) ดังสมการที่ (1) [19]

$$RSC_t (\%) = [1 - (A_t/A_0)] \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ A_t = ค่าการดูดกลืนแสงของสารตัวอย่างกับ DPPH

A_0 = ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH

ทำการเปรียบเทียบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดทั้งหมด นำสารสกัดหยาบเมล็ดมะละกอที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีที่สุดไปใช้เตรียมสูตรเข้มข้น

2.4 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม

วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมโดยวิธี Folin-Ciocalteu Colorimetry ดัดแปลงวิธีมาจาก Omar *et al.* [20] และ Robles-Apodaca *et al.* [21] ใช้กรดแกลลิกเป็นสารมาตรฐาน (ความเข้มข้น 3.125, 6.25, 12.5, 25, 50, 100 และ 200 µg/mL) นำสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกและสารสกัดหยาบเมล็ดมะละกอ (ที่อัตราส่วน 1:10 ที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากกว่าร้อยละ 50) แต่ละตัวอย่างปริมาตร 300 µL ใส่ลงในหลอดทดลองเติมสารละลาย Folin-Ciocalteu ที่ละลายด้วยน้ำกลั่นอัตราส่วน 1:10 ปริมาตร 1.5 mL ตั้งทิ้งไว้ 3 นาที จากนั้นเติมสารละลาย Na_2CO_3 (7.5% w/v) ปริมาตร 1.2 mL เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที ทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำต่อตัวอย่าง นำสารละลายตัวอย่างที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-visible spectrophotometer (Thermo Scientific รุ่น Genesys30 visible spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 760 nm คำนวณหาปริมาณฟีนอลิกรวมโดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิกในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมสารสกัด

2.5 การเตรียมสูตรเซรั่มบำรุงผิว

การเตรียมเซรั่มบำรุงผิวจำนวน 3 สูตร ประกอบด้วยสูตรพื้นฐาน (PS1) และสูตรที่ผสมสารสกัดเมล็ดมะละกอสด (กลีเซอริน) ปริมาณร้อยละ 1 (PS2) และร้อยละ 2 (PS3) สูตรละ 500 กรัม อัตราส่วนผสมของเซรั่มบำรุงผิวทั้ง 3 สูตรแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบของเซรั่มสูตรพื้นฐาน และสูตรที่มีส่วนผสมของสารสกัดเมล็ดมะละกอสด

Phase	ส่วนผสม	สูตรเซรั่ม (ร้อยละ)			หน้าที่
		PS1	PS2	PS3	
A	น้ำกลั่น	91.60	91.60	91.60	ตัวทำละลาย
	ไฮดรอกซีเอทิลเซลลูโลส	1.20	1.20	1.20	สารก่อเจล
	ไฮยาลูรอนิก แอซิด	0.10	0.10	0.10	สารเพิ่มความชุ่มชื้น
B	กลีเซอริน	3.00	2.00	1.00	สารเพิ่มความชุ่มชื้น
	สารสกัดเมล็ดมะละกอสด (กลีเซอริน)	-	1.00	2.00	สารต้านอนุมูลอิสระ
	โมโนโพรพิลีนไกลคอล	3.00	3.00	3.00	สารเพิ่มความชุ่มชื้น
	น้ำมันสวีทอัลมอนด์	0.50	0.50	0.50	สารเพิ่มความชุ่มชื้น
C	SupGuard GM-BP	0.50	0.50	0.50	สารกันเสีย
	Tender 304 fragrance	0.10	0.10	0.10	กลิ่นน้ำหอม

วิธีการเตรียมผลิตภัณฑ์เซรั่มมีขั้นตอนดังนี้ เริ่มจากการนำสารไฮดรอกซีเอทิลเซลลูโลส (HEC) มากน้อย ๑ ละลายในน้ำกลั่นจนให้เข้ากันและนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C กวนส่วนผสมอย่างสม่ำเสมอจะได้เป็นเนื้อเซรั่ม จากนั้นตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเติมสารไฮยาลูรอนิก แอซิด กวนส่วนผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน แล้วเติม Phase B ประกอบด้วย กลีเซอริน โมโนโพรพิลีนไกลคอล น้ำมันสวีทอัลมอนด์ และสารสกัดเมล็ดมะละกอสด (กลีเซอริน, FS-G-10) ผสมให้เข้ากัน แล้วเติม Phase C (SupGuard GM-BP และกลี) ผสมสารให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นประเมินลักษณะทางกายภาพ (สี ความใส กลิ่น ตะกอน การแยกชั้น) สมบัติทางเคมี (ค่าความเป็นกรด-ด่าง) ของเซรั่มสูตร PS1, PS2 และ PS3

2.6 การทดสอบความคงตัวของเซรั่มบำรุงผิว

นำตัวอย่างเซรั่มสูตร PS1, PS2 และ PS3 มาทำการวัดค่าความหนืดเริ่มต้นก่อนการทดสอบที่สภาวะเร่งด้วยเครื่องวัดความหนืด (Brookfield Model DV-II+Pro) หลังจากนั้นนำเซรั่มสูตร PS1, PS2 และ PS3 ไปทดสอบความคงตัวที่สภาวะเร่งด้วยวิธีการทดสอบร้อน-เย็นสลับ (Heating-cooling cycle) โดยนำเซรั่มสูตร PS1, PS2 และ PS3 ไปไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และอุณหภูมิ 40 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยทำสลับกันไปมาจนครบ 3 รอบ เมื่อทำการทดสอบในสภาวะเร่งครบ 3 รอบ นำตัวอย่างผลิตภัณฑ์ความคงตัวทางกายภาพ โดยสังเกตลักษณะภายนอก เช่น สี ความใส กลิ่น การแยกชั้น ตะกอน วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยใช้ pH-indicator strips (Merck Germany) วัดความหนืดด้วยเครื่องวัดความหนืด

2.7 การทดสอบการดูดซับเซรั่มของเม็ดยาสี

นำเม็ดยาสีแห่งมาชั่งน้ำหนัก และบันทึกน้ำหนักเริ่มต้น (เวลา 0 นาที) จากนั้นนำเม็ดยาสีมาแช่ในเซรั่มที่ปริมาตร 15 mL และ 20 mL ที่เวลา 1, 5, 10, 15 และ 20 นาที โดยแต่ละสูตร และแต่ละปริมาตรของเซรั่มทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดนำเม็ดยาสีขึ้นจากเซรั่มวางเม็ดยาสีบนตะแกรงเพื่อเอาเซรั่มที่เกาะภายนอกออก จากนั้นชั่งน้ำหนักเม็ดยาสีหลังดูดซับเซรั่ม และบันทึกน้ำหนักที่ได้เพื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักก่อนการดูดซับเซรั่มของเม็ดยาสี

2.8 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์

ข้อมูลที่ได้แสดงเป็นค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way analysis of variance: One -way ANOVA) ร่วมกับโปรแกรม Turkey's Post Hoc tests โดยใช้โปรแกรม SPSS Statistics version 23 กำหนดระดับนัยสำคัญที่ค่า $p\text{-value} < 0.05$

3. ผลและการอภิปรายผลการวิจัย

3.1 การเตรียมตัวอย่างมะละกอ

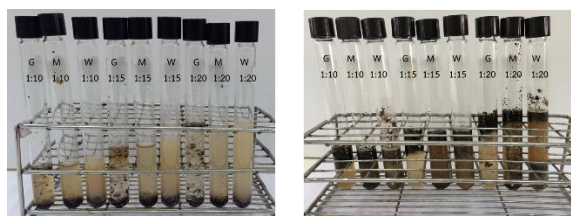
เมล็ดมะละกอ พันธุ์ฮอลแลนด์ จากร้านขายผลไม้สด ตลาดนางลิ้นจี่ เก็บเมื่อวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2567 นำมาล้างน้ำทำความสะอาดและแยกรอกอก แบ่งเมล็ดมะละกอออกเป็น 2 ส่วน คือเมล็ดมะละกอสด และเมล็ดมะละกอแห้ง (อบที่อุณหภูมิ 60 °C จนได้น้ำหนักที่แน่นอนใช้เวลา 18 ชั่วโมง ได้ผลผลิตเมล็ดมะละกอร้อยละ 18.01±0.6193 กรัม) จากนั้นนำเมล็ดมะละกอไปบดลดขนาด (รูปที่ 2) ด้วยเครื่องบดผสมอาหาร จากนั้นนำเมล็ดมะละกอมาสกัดสารออกฤทธิ์ด้วยตัวทำละลาย น้ำ (W) กลีเซอริน (G) และโมโน-โพรฟิไลน์ไกลคอล (MP)



รูปที่ 2 ขั้นตอนการเตรียมเมล็ดมะละกอ

3.2 การเตรียมสารสกัดเมล็ดมะละกอสุก

การเตรียมสารสกัดของเมล็ดมะละกอสด และเมล็ดแห้ง ด้วยตัวทำละลายต่างกัน 3 ชนิด คือ น้ำ (W) กลีเซอริน (G) และโมโนโพรฟิไลน์ไกลคอล (MP) แสดงดังรูปที่ 3

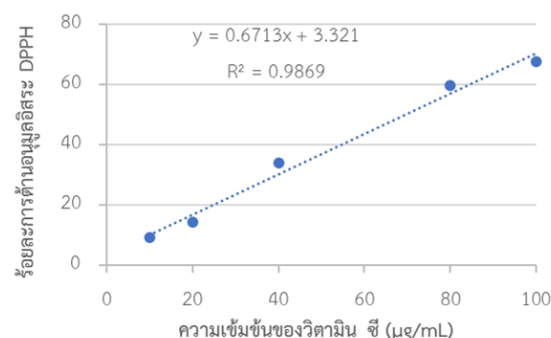


รูปที่ 3 ลักษณะทางกายภาพของสารสกัดเมล็ดมะละกอสดและแห้งในตัวทำละลาย

ลักษณะทางกายภาพของสารสกัดเมล็ดมะละกอสด และสารสกัดเมล็ดมะละกอแห้ง ที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลายทั้ง 3 ชนิด ที่อัตราส่วนพีชต่อตัวทำละลาย 1:10 จะได้สารสกัดที่มีสีเหลืองเข้มกว่าที่อัตราส่วน 1:15 และ 1:20 โดยตัวทำละลายกลีเซอริน และโมโนโพรฟิไลน์ไกลคอล จะได้สารสกัดหยากที่มีลักษณะหนืด แต่สารสกัดกลีเซอรินจะมีความหนืดมากกว่าสารสกัดโมโนโพรฟิไลน์ไกลคอล

3.3 การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH

งานวิจัยนี้พบว่าสารสกัดทั้งหมดที่นำมาทดสอบมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระน้อยกว่าสารมาตรฐานวิตามินซี เมื่อนำผลการทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูล DPPH ของสารละลายมาตรฐานวิตามินซี ไปพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้น (ppm) และร้อยละของฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารละลายมาตรฐานวิตามินซี พบว่าได้สมการเส้นตรงคือ $y = 0.6713x + 3.321$ ($R^2 = 0.9869$) (รูปที่ 4) ซึ่งฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของวิตามินซีมีค่า EC_{50} อยู่ที่ 69.53 mg/mL



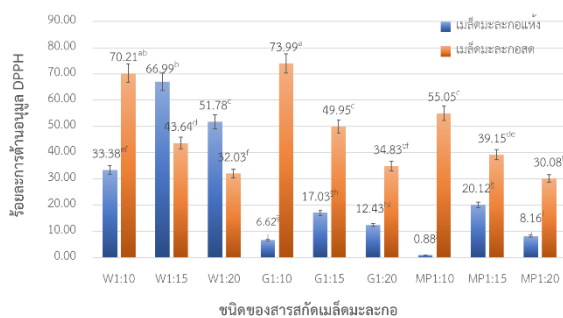
ร

รูปที่ 4 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของวิตามินซี

การทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดเมล็ดมะละกอสด และเมล็ดมะละกอแห้ง ที่ทำการสกัดด้วยตัวทำละลายต่างกัน 3 ชนิด คือ น้ำ (W) กลีเซอริน (G) และโมโนโพรฟิไลน์ไกลคอล (MP) ที่อัตราส่วนน้ำหนักรวบรวมตัวทำละลาย (g/mL) 1:10, 1:15 และ 1:20 พบว่าสารสกัดเมล็ดมะละกอสดมีฤทธิ์ต้านอนุมูล DPPH ดีกว่าสารสกัดเมล็ดมะละกอแห้ง โดยสารสกัดเมล็ดมะละกอสดที่ใช้กลีเซอรินเป็นตัวทำละลาย (FS-G-10) มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ดีที่สุด (73.99%) (รูปที่ 5) มีค่า EC_{50} เท่ากับ 0.685 g/mL รองลงมาคือ FS-W-10 (70.21%, EC_{50} 7.40 g/mL) และ FS-MP-10 (55.05%, EC_{50} 8.93 g/mL) โดยมี

รายงานการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดเมล็ดมะละกอแห้งด้วยตัวทำละลายเอทิลอะซิเตต เอ็น-บิวทานอล เอทานอล ไพโตรเลียมอีเทอร์ และน้ำ มีค่า EC_{50} เท่ากับ 64.61 $\mu\text{g/mL}$, 109.30 $\mu\text{g/mL}$, 248.63 $\mu\text{g/mL}$, 1,009.50 $\mu\text{g/mL}$ และ 1,628.33 $\mu\text{g/mL}$ ตามลำดับ เทียบกับสารมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก (EC_{50} เท่ากับ 66.96 $\mu\text{g/mL}$) [1]

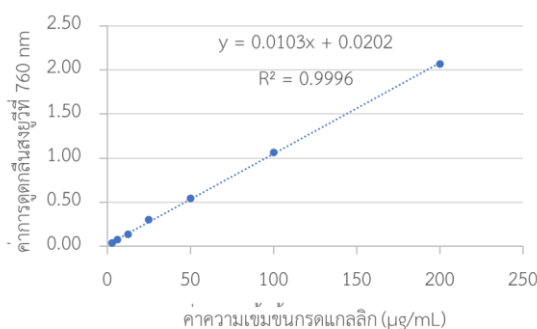
จากการทดลองพบว่าสารสกัดหยาบจากเมล็ดมะละกอสดมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าสารสกัดจากเมล็ดมะละกอแห้ง ดังนั้นจึงเลือกสารสกัดเมล็ดมะละกอสดที่สกัดด้วยตัวทำละลายน้ำ (FS-W-10) ตัวทำละลายกลีเซอริน (FS-G-10) และตัวทำละลายโมโนโพรพิลีนไกลคอล (FS-MP-10) ไปวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกรวมต่อไป



รูปที่ 5 ร้อยละของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของเมล็ดมะละกอที่ใช้ตัวทำละลายต่างชนิดกัน

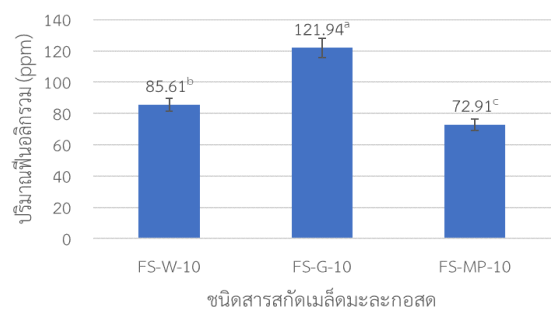
3.4 การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกรวม

การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกรวมของสารมาตรฐานกรดแกลลิก และตัวอย่างของสารสกัดเมล็ดมะละกอสดจำนวน 3 ตัวอย่าง ผลการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกรวมของสารมาตรฐานกรดแกลลิก พบว่าได้สมการเส้นตรงคือ $y = 0.0103x + 0.0202$ ($R^2 = 0.9996$) กราฟมาตรฐานกรดแกลลิก แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 กราฟมาตรฐานกรดแกลลิก

การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกรวมด้วยวิธี Folin-Ciocalteu Colorimetry ของสารสกัด FS-W-10, FS-G-10 และ FS-MP-10 เมื่อทำการคำนวณหาปริมาณฟีนอลิกรวมในหน่วยของมิลลิกรัมแกลลิกสมมูลต่อสารสกัด 100 กรัม น้ำหนักสด (mg GAE/100 g FW) พบว่าสารสกัดเมล็ดมะละกอสดที่สกัดด้วยตัวทำละลายกลีเซอริน (FS-G-10) จะมีปริมาณสารฟีนอลิกรวมมากที่สุดที่ 121.94 ± 0.189 mg GAE/100 g FW รองลงมาคือตัวทำละลายน้ำ (FS-W-10) มีค่าเท่ากับ 85.61 ± 0.25 mg GAE/100 g FW และตัวทำละลายโมโนโพรพิลีนไกลคอล (FS-MP-10) มีค่าเท่ากับ 72.91 ± 0.54 mg GAE/100 g FW ตามลำดับ (รูปที่ 7) ซึ่งยังไม่พบรายงานการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกรวมในเมล็ดมะละกอสด แต่มีรายงานปริมาณฟีนอลิกรวมจากสารสกัดเมล็ดมะละกอแห้ง เช่น การสกัดสารจากเมล็ดมะละกอแห้งด้วยวิธีการสกัดของเหลว-ของเหลว (liquid-liquid extraction) พบว่าสารสกัดเอทิลอะซิเตตมีปริมาณฟีนอลิกรวมมากที่สุด [1] เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปริมาณสารฟีนอลิกรวมและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดเมล็ดมะละกอสด (กลีเซอริน) พบว่าผลของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH และปริมาณฟีนอลิกรวม มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในงานวิจัยที่ทำการสกัดเมล็ดมะละกอแห้งที่มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงสุดก็จะมีปริมาณฟีนอลิกรวมสูงสุดด้วย [1] ดังนั้นจึงนำสารสกัดเมล็ดมะละกอสดด้วยกลีเซอริน (FS-G-10) ซึ่งมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH และมีปริมาณ ฟีนอลิกรวมสูงสุด มาใช้เป็นส่วนผสมในการเตรียมเซรัมบำรุงผิว



รูปที่ 7 ปริมาณฟีนอลิกรวมของสารสกัดเมล็ดมะละกอสดที่อัตราส่วน 1:10 (w/v)

3.5 การเตรียมสูตรเซรัมบำรุงผิว

การเตรียมเซรัมบำรุงผิวจำนวน 3 สูตร คือ สูตรพื้นฐาน (PS1), สูตร PS2 (FS-G-10 1%) และสูตร PS3 (FS-G-10

2%) ดังรูปที่ 8 จากการพิจารณาสมบัติทางกายภาพ คือ สี ความเป็นกรด-ด่าง ค่าความเป็นกรดด่าง ค่าความหนืด การแยกชั้น พบว่าเนื้อเซรัมบำรุงผิวทั้ง 3 สูตร มีลักษณะใส สีเหลืองอ่อน มีกลิ่นหอม มีค่า pH ประมาณ 6 ไม่มีตะกอน และไม่มีการแยกชั้น



รูปที่ 8 เซรัมสูตร PS1, PS2 และ PS3

3.6 การทดสอบความคงตัวของเซรัมบำรุงผิว

การนำตัวอย่างเซรัมที่เตรียมได้ไปวัดความหนืดเริ่มต้นโดยใช้เข็มเบอร์ 62 ความเร็วรอบ 20 รอบต่อนาที (RPM) ค่าความหนืดของเซรัมสูตร PS1, PS2 และ PS3 และวัดค่า pH สังเกตการแยกชั้น การเกิดตะกอน พบว่าสูตร PS1 มีค่าความหนืดเฉลี่ยน้อยที่สุด (1284.7 ± 3.51 cP) รองลงมาคือสูตร PS 2 (1319.0 ± 8.66 cP) และสูตร PS3 (1370.7 ± 7.51 cP) หลังจากนั้นนำเซรัมทั้ง 3 สูตร ไปทดสอบความคงตัวที่สภาวะเร่ง Heating-cooling cycle จำนวน 3 รอบ ทำการวัดค่าความหนืดหลังการทดสอบที่สภาวะเร่ง พบว่าตัวอย่างเซรัมทั้ง 3 สูตรมีค่าความหนืดลดลง โดยมีร้อยละความแตกต่างของค่าความหนืดก่อนการทดสอบ และหลังการทดสอบที่สภาวะเร่งไม่เกินร้อยละ 20 (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ค่าความหนืดก่อนทดสอบ และหลังทดสอบที่สภาวะเร่งของเซรัมสูตร PS1, PS2 และ PS3

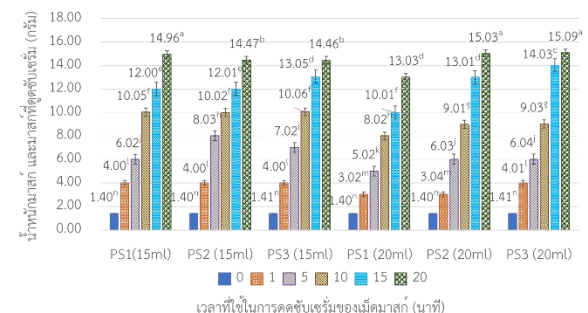
สูตรเซรัม	ค่าความหนืด (cP) ที่สภาวะเร่ง		ผลต่างค่าความหนืดก่อนและหลังทดสอบ (%)
	ก่อนทดสอบ	หลังทดสอบ	
PS1	1284.7 ± 3.51^c	1114.7 ± 2.08^f	13.23 ^a
PS2	1319.0 ± 8.66^b	1264.3 ± 3.79^d	4.14 ^c
PS3	1370.7 ± 7.51^a	1232.7 ± 1.53^e	10.07 ^a

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความหนืดก่อนการทดสอบที่สภาวะเร่ง และหลังการทดสอบที่สภาวะเร่งของเซรัมที่ผสมสารสกัดหยาบเมล็ดมะละกอสด (FS-G-10) พบว่าเซรัมสูตร PS2 (เซรัมผสมสารสกัดหยาบ FS-G-10 ร้อยละ 1) มีสภาพความคงตัวดีกว่าสูตร PS3 (เซรัมผสมสาร

สกัดหยาบ FS-G-10 ร้อยละ 2) เมื่อเปรียบเทียบร้อยละของปริมาณสารสกัดหยาบเมล็ดมะละกอสอดที่ใส่เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ ถ้าใช้ในปริมาณที่มากจะส่งผลทำให้ความหนืดของเนื้อเซรัมลดลง ซึ่งส่งผลต่อค่าความคงตัวของเซรัม หรือสารสกัดที่มีความเข้มข้นสูงอาจทำปฏิกิริยากับส่วนอื่น ทำให้ทำลายโครงสร้างของสารก่อเนื้อเจล ทำให้ความหนืดลดลง [9] เมื่อสังเกตลักษณะทางกายภาพของเซรัมพบว่า เซรัมบำรุงผิวทั้ง 3 สูตร ไม่เกิดตะกอน ไม่เกิดการแยกชั้น สีและกลิ่นไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับเริ่มต้น และมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ก่อนและหลังการทดสอบด้วยสภาวะเร่ง พบว่ามีค่าเท่ากับ 6

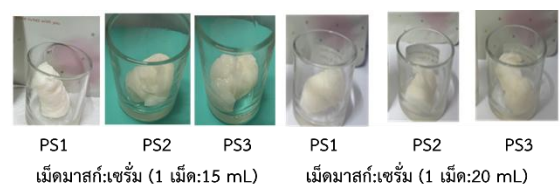
3.7 การทดสอบการดูดซับเซรัมของเม็ตมาส์ก

การทดสอบการดูดซับเซรัมของเม็ตมาส์กแห้ง ไปทดสอบการดูดซับเซรัมทั้ง 3 สูตร (PS1, PS2 และ PS3) ที่ระยะเวลา 0, 1, 5, 10, 15 และ 20 นาที พบว่าเม็ตมาส์กมีการดูดซับเซรัมทั้ง 3 สูตร ได้เต็มที่ที่ 15 นาที และใช้เวลาอย่างน้อย 20 นาที โดยเซรัมสูตร PS2 และ PS3 ดูดซับเซรัมได้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (รูปที่ 9)



รูปที่ 9 เวลาที่ใช้ในการดูดซับเซรัมสูตร PS1, PS2 และ PS3 ของเม็ตมาส์ก

โดยเม็ตมาส์กที่ดูดซับเซรัม (รูปที่ 10) จะมีกลิ่นหอมอ่อนติดอยู่ ลักษณะเนื้อเซรัม ที่ได้สัมผัส และความหนืดของเซรัมที่อยู่ในเม็ตมาส์ก ไม่มีการเปลี่ยนแปลง



รูปที่ 10 การดูดซับเซรัมมะละกอ (สูตร PS1, PS2 และ PS3) ปริมาตร 15 และ 20 ml ของเม็ตมาส์ก

4. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้นำเมล็ดมะละกอสด และเมล็ดมะละกอแห้ง มาสกัดด้วยตัวทำละลายน้ำ กลีเซอริน และโมโนโพรพิลีน-ไกลคอล และทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH แสดงให้เห็นว่าสารสกัดหยาบเมล็ดมะละกอสดมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าสารสกัดหยาบจากเมล็ดมะละกอแห้ง โดยสารสกัดหยาบกลีเซอรินจากเมล็ดมะละกอสด (FS-G-10) ที่อัตราส่วน 1:10 (w/v) มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ดีที่สุด (73.99%) โดยมีค่า EC_{50} 0.685 กรัม/มิลลิลิตร) เมื่อนำสารสกัดเมล็ดมะละกอสดด้วยตัวทำละลายน้ำ กลีเซอริน และโมโนโพรพิลีนไกลคอลที่อัตราส่วน 1:10 (w/v) มาวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกรวม พบว่าสารสกัดกลีเซอรินของเมล็ดมะละกอสด (FS-G-10) มีปริมาณสารฟีนอลิกรวมมากที่สุดมีค่าเท่ากับ 121.94 ± 0.189 mg GAE/100 g FW เมื่อนำสารสกัด FS-G-10 ไปเป็นส่วนผสมในเซรั่ม และทดสอบความคงตัวของเซรั่มที่สภาวะเร่ง พบว่าสมบัติทางกายภาพ คือ สี กลิ่น ไม่เปลี่ยนแปลง ไม่เกิดการแยกชั้น และมีค่า pH เท่ากับ 6 โดยเซรั่มสูตร PS2 มีความคงตัวดีที่สุด แต่เมื่อเปรียบเทียบค่าร้อยละของผลต่างค่าความหนืดก่อนการทดสอบ และหลังการทดสอบที่สภาวะเร่งของเซรั่มพบว่าสารสกัดเมล็ดมะละกอสดในสูตร PS1 (6.54 %) และสูตร PS2 (7.76 %) พบว่าการเปลี่ยนแปลงของค่าความหนืดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อนำเซรั่มที่เตรียมได้ทั้ง 3 สูตร ไปทดสอบการถูกดูดซับของเม็ดมาสก์หน้า พบว่าการดูดซับเซรั่มของเม็ดมาสก์ใช้เวลาสูงสุดที่ 20 นาที ดังนั้นสารสกัดหยาบเมล็ดมะละกอสดที่สกัดด้วยกลีเซอรินที่อัตราส่วน 1:10 (w/v) ซึ่งมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH และมีปริมาณฟีนอลิกรวมมากที่สุด โดยปริมาณสารสกัดที่ใช้เป็นส่วนผสมในเซรั่มที่ร้อยละ 1 (เซรั่มสูตร PS2) มีความคงตัวมากที่สุดหลังการทดสอบที่สภาวะเร่ง สามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับบำรุงผิว และนำไปใช้กับเม็ดมาสก์เพื่อการบำรุงผิวได้ อย่างไรก็ตามก่อนนำไปผลิตเชิงพาณิชย์ ควรมีการทดสอบปริมาณสารสกัดที่เหมาะสมที่ใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์เซรั่มที่จะไม่ส่งผลให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนัง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาเคมี สาขาวิชาวิทยาศาสตร์เพื่อสุขภาพและความงาม และคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

เอกสารอ้างอิง

- [1] K. Zhou, H. Wang, W. Mei, X. Li, Y. Luo and H. Dai, "Antioxidant Activity of Papaya Seed Extracts," *Molecules*, vol. 16, no. 8, pp. 6179-6192, Jul. 2011. doi:10.3390/molecules1608617.
- [2] I. Kyei-Barffour, R.K.B. Kwarkoh, D.O. Acheampong, A.S. Brah, S.A. Akwetey and B. Aboagye, "Alkaloidal extract from *Carica papaya* seeds ameliorates CCl₄-induced hepatocellular carcinoma in rats," *Heliyon*, vol. 7, no. 8, pp. 1-10, Aug. 2021. DOI: 10.1016/j.heliyon.2021.e07849.
- [3] C. R. Malacrida, M. K. and N. Jorge, "Characterization of a high oleic oil extracted from papaya (*Carica papaya* L.) seeds," *Food Science and Technology (Campinas)*, vol. 31, no. 4, pp. 929-934, Dec. 2011.
- [4] S. Lar-Abia, J. Welti-Chanes and M.P. Cano, "Effect of ultrasound-assisted extraction of carotenoids from papaya (*Carica papaya* L. cv. Sweet Mary) using vegetable oils," *Molecules*, vol. 27, no. 3, pp. 1-18, Jan. 2022. <https://doi.org/10.3390/molecules27030638>.
- [5] R. Saini, A. Mittal and V. Rathi, "Formulation & in-vitro antioxidant analysis of anti-ageing cream of *Carica papaya* fruit extract," *Indian Journal of Drugs*, vol. 4, no. 1, pp. 8-14, Mar., 2016.
- [6] M.S. Adhikar, V.A. Chavan and N.B. Gaikwad, "Formulation and evaluation of face serum containing *Carica papaya* and *Aloe vera*," *International Journal of Creative Research Thoughts*, vol. 12, no. 6, pp. 121-132, Jun. 2024.

- [7] G. Dudhat, A. Patwekari, M. Jadhav and S. Kashid, "Unlocking the cosmetic potential of *Carica papaya*, it's phytochemical and pharmacological review," *International Journal of Creative Research Thoughts*, vol. 12, no. 12, pp. 89-100, Dec. 2024.
- [8] E. Panzarini, M. Dwikat, S. Mariano, C. Vergallo and L. Dini, "Administration dependent antioxidant effect of *Carica papaya* seeds water extract," *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, vol. 1, pp. 1-13, Mar. 2014.
- [9] R. Ahdyani, R. Patimah, E. Fatmasari, S. Rahayu and R. Annisa, "Influence of hydroxyethyl cellulose and glycerin concentration variations on the physicochemical stability of niacinamide-loaded nanoparticle serum formulations," *Ad-Dawaa Journal of Pharmaceutical Sciences*, vol. 8, no. 2, pp. 221-234, Dec. 2025.
- [10] S. Mankar and S. Vaidya, "Review on face serum," *Asian Journal of Pharmaceutics*, vol. 18, no. 3, pp. 740-749, Aug. 2024.
- [11] A.P. Mangle, R.L. Bakal, P.R. Hatwar, V.S. Kalamb and K. S. Jumde, "The role of serums in addressing skin concerns: Exploring efficacy, safety and Trends in Beauty and Skincare," *GSC Biological and Pharmaceutical Science*, vol. 29 no. 2, pp. 066-076. Sep. 2024.
- [12] A. B. L. Ongom, P. Pranamornkith and T. Pranamornkith, "Intermittent warming affects postharvest quality and chilling injury of 'Holland' papaya fruit," *Journal Thai Interdisciplinary Research*, vol. 14, no. 2, pp. 20-27, May. 2019.
- [13] S. Chaijan, M. Chaijan, U. Uawisetwathana, A. Panya, N. Phonsatta, K. Shetty and W. Panpipat, "Phenolic and metabolic profiles, antioxidant activities, glycemic control, and anti-inflammatory activity of three Thai papaya cultivar leaves," *Foods*, vol. 13, no. 11, pp. 1-19, May. 2024.
- [14] S. Lara-Abia, G. Lobo-Rodrigo. J. Welti-Chanes and M.P. Cano, "Carotenoid and carotenoid ester profile and their deposition in plastids in fruits of new papaya (*Carica papaya* L.) varieties from the Canary Islands," *Foods*, vol. 10, no. 2, pp. 1-26. Feb. 2021.
- [15] Y.D. Nakhate, K.S. Talekar, S.V. Giri, R.D. Vasekar, H.C. Mankar and P.R. Tiwari, "Pharmacological and chemical composition of *Carica papaya*: on overview," *World Journal of Pharmaceutical Research*, vol. 8, no. 5, pp. 811-821, Mar. 2019.
- [16] R.I. Adeoye, E.T. Olopade, I.O. Olayemi, K. Okaiyeto and M.O. Akiibinu, "Nutritional and therapeutic potentials of *Carica papaya* Linn. Seed: a comprehensive review," *Plant Science Today*, vol. 11, no. 2, pp. 671-680, May. 2024.
- [17] Z.R. Addai, A. Abdullah, S.A. Mutalib, K.H. Musa and E.M.A. Douqan, "Antioxidant activity and physicochemical properties of mature papaya fruit (*Carica papaya* L. cv. Eksotida)," *Advance Journal of Food Science and Technology*, vol. 5, no. 7, pp. 859-865, Jul. 2013.
- [18] A.S. Baesso, D.J. da Silva, A.K. Soares, M.M. da Silva Paula, P.H.G. de Canemartori, "Biosynthesis of gold nanoparticles using papaya seed extract for the functionalization of nanocellulose membranes," *Industrial Crops & Products*, vol. 197, Mar. 2023.
- [19] O. A. Iordănescu, M. Băla, D. G. Pane, S. E. Zippenfening, M.I. Cugorean, M.I. Petroman, D.I. Hădăruță, N.G. Hădăruță and M. Rivi, "A DPPH• Kinetic approach on the antioxidant activity of various parts and ripening levels of papaya (*Carica papaya* L.) Ethanolic extracts," *Plants*, vol. 10, no. 8, pp.1-14, Aug. 2021.
- [20] S.R. Omar, F. Aminuddin, L. Karim, N. Suhaimi, and S. N. Omar. "Acceptability of novel antioxidant ice cream fortified with nutritious

Carica papaya seed,” *Journal of Academia*,
vol. 8 no. 1, pp. 7-17, Mar. 2020.

- [21] S. M. Robles-Apodaca, R. I. González-Vega, S. Ruíz-Cruz, M. I. Estrada-Alvarado, L. A. Cira-Chávez, E. Márquez-Ríos, C. L. Del-Toro-Sánchez, J. de Jesús Ornelas-Paz, G. M. Suárez-Jiménez and V. M. Ocaño-Higuera. “ Optimization of extraction process for improving polyphenols and antioxidant activity from papaya seeds (*Carica papaya* L.) using response surface methodology,” *Processes*. vol. 12, no. 12, pp. 1-24, Dec. 2024.

ภาคผนวก

คำแนะนำการส่งบทความ

ในขั้นตอนการส่งบทความ ผู้แต่งต้องตรวจสอบและปฏิบัติตามข้อกำหนดรายการตรวจสอบการส่งทุกข้อดังต่อไปนี้ และบทความอาจถูกส่งคืนให้กับผู้แต่งกรณีที่ไม่ปฏิบัติตามข้อกำหนดทั้งหมด

1. บทความเรื่องนี้ยังไม่เคยตีพิมพ์หรืออยู่ในระหว่างการพิจารณาเพื่อตีพิมพ์ในวารสารอื่น (หากมีกรุณาอธิบายในข้อความถึงบรรณาธิการ)
2. บทความเตรียมตามข้อกำหนด ทั้งในด้านของรูปแบบและการเขียนเอกสารอ้างอิง ตามคำแนะนำสำหรับผู้แต่ง (Author Guidelines)
3. บทความต้นฉบับเตรียมในรูปแบบของไฟล์ Microsoft Word และต้องแนบ "แบบฟอร์มการส่งบทความ" มาพร้อมกับบทความต้นฉบับ
4. ความรับผิดชอบของเนื้อหาต้นฉบับเป็นความรับผิดชอบของผู้เขียน และผู้เขียนได้ปฏิบัติตามจริยธรรมการตีพิมพ์ในการเผยแพร่บทความตามบทบาทและหน้าที่ของผู้เขียน ตามแนวทางของวารสารฯ
5. การแจ้งสถานะของบทความ การติดต่อผู้แต่งเพื่อการแก้ไขบทความ การตอบรับ/ปฏิเสธ การตีพิมพ์ จะดำเนินการผ่านระบบวารสารออนไลน์

การส่งต้นฉบับ

ส่งต้นฉบับบทความวิจัยและบทความวิชาการผ่านระบบออนไลน์ Thaijo ที่เว็บไซต์

<https://li04.tci-thaijo.org/index.php/stjrmstk/index> และสามารถติดตามสถานะในเว็บไซต์ได้

การเตรียมต้นฉบับเพื่อตีพิมพ์

คำแนะนำสำหรับผู้แต่ง (Author Guidelines)

การจัดเตรียมต้นฉบับ

ผู้แต่งมีหน้าที่จัดเตรียมต้นฉบับให้เป็นไปตามมาตรฐานของวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ต้นฉบับควรจัดพิมพ์ด้วยโปรแกรมพิมพ์เอกสาร เช่น Microsoft word มีความยาวไม่เกิน 15 หน้ากระดาษ A4 โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. รูปแบบ

1.1 ขนาดและการตั้งค่าหน้ากระดาษ

ขนาดของกระดาษที่ใช้ในการพิมพ์กำหนดให้มีขนาดมาตรฐาน A4 โดยส่วนที่นอกเหนือจากส่วนของข้อความ ชื่อและที่อยู่ของผู้เขียนบทความ บทคัดย่อ และคำสำคัญ ให้พิมพ์แบบ 2 คอลัมน์ (Column) ซึ่งกำหนด การตั้งค่าหน้ากระดาษดังนี้

ริมขอบกระดาษด้านบน	2 ซม.
ริมขอบกระดาษด้านล่าง	2 ซม.
ริมขอบกระดาษด้านซ้าย	3 ซม.
ริมขอบกระดาษด้านขวา	2 ซม.
ระยะห่างระหว่างคอลัมน์	7 มม.

1.2 แบบอักษรและขนาด

ใช้รูปแบบตัวอักษร TH Sarabun PSK ในส่วนประกอบต่าง ๆ ของต้นฉบับ ดังนี้

ส่วนประกอบ	ขนาด	รูปแบบ	หมายเหตุ
ชื่อบทความภาษาไทยและอังกฤษ	18	ตัวหนา	แต่ละคำในชื่อภาษาอังกฤษให้พิมพ์อักษรตัวแรกเป็นตัวพิมพ์ใหญ่ ยกเว้น คำนำหน้านาม (articles; a, an, the) คำสันธาน (coordinate conjunctions; for, and, nor, but, or, yet, so) และ คำบุพบท (prepositions; in, on, at, etc.) นอกจากคำเหล่านี้จะถูกใช้นำชื่อเรื่อง
ชื่อผู้เขียนภาษาไทยและอังกฤษ	14	ปกติ	กำกับด้วยตัวเลขที่พิมพ์แบบยกสูง (Superscript) ไว้หลังชื่อของผู้เขียน เพื่อระบุที่อยู่ของผู้เขียนแต่ละคน และผู้ที่เป็นผู้นิพนธ์ประสานงาน (Corresponding Author) ให้พิมพ์เครื่องหมายดอกจันทน์ (*) ไว้หลังชื่อ

ส่วนประกอบ	ขนาด	รูปแบบ	หมายเหตุ
หน่วยงานของผู้เขียน ภาษาไทยและอังกฤษ	12	ปกติ	กำกับด้วยตัวเลขเดียวกับที่อยู่ด้านหลังชื่อผู้เขียน โดยใช้ ตัวเลขพิมพ์แบบยกสูง (Superscript) วางไว้ด้านหน้า หน่วยงานของผู้เขียน
ผู้พิมพ์ประสานงาน	14	ปกติ	จัดกลางหน้ากระดาษ
บทคัดย่อ	14	ปกติ	จัดรูปแบบกระจายแบบไทย (Thai Distributed) ระยะห่างระหว่างบรรทัด (Line spacing) 1.0 บรรทัด
คำสำคัญ	14	ปกติ	แยกคำหลักด้วยเครื่องหมายอัฒภาค (;)
หัวข้อหลัก	16	ตัวหนา	พิมพ์ชิดริมซ้ายของคอลัมน์ กำหนดเป็นตัวเลข เรียง ตามลำดับ เช่น 1., 2., 3.
หัวข้อย่อย	14	ตัวหนา	พิมพ์ชิดริมซ้ายของคอลัมน์ กำหนดเป็นตัวเลข เช่น 1.1, 1.2
หัวข้อย่อยรองลงมา	14	ตัวหนา	พิมพ์ชิดริมซ้ายของคอลัมน์ โดยเยื้องเข้ามา 0.25 นิ้ว กำหนดหัวข้อเป็นตัวเลข เช่น 1.1.1, 1.1.2, 1.2.1, 1.2.2
เนื้อหา	14	ปกติ	จัดรูปแบบการพิมพ์ กระจายแบบไทย (Thai Distributed) ระยะห่างระหว่างบรรทัด (Line spacing) 1.0 บรรทัด

1.3 รูปภาพ ตาราง และสมการ

การนำเสนอรูปภาพและตารางสามารถนำเสนอต่อจากข้อความที่กล่าวถึงหรืออาจนำเสนอ
ภายหลังจากจบหัวข้อหรือนำเสนอในหน้าใหม่ ขนาดของรูปภาพและตารางไม่ควรเกินกรอบของคอลัมน์ แต่
หากรูปภาพและตารางมีขนาดใหญ่สามารถวางรูปและตารางให้ครอบคลุมพื้นที่ของทั้ง 2 คอลัมน์ได้ แต่ทั้งนี้
ต้องไม่เกินกรอบของการตั้งค่าหน้ากระดาษที่กำหนดไว้ในหัวข้อ 1.1

- ทั้งรูปภาพและตารางจะต้องมีคำอธิบาย โดยคำอธิบายของรูปภาพให้พิมพ์ไว้ใต้รูปภาพและ
อยู่กึ่งกลางคอลัมน์หรือกึ่งกลางหน้ากระดาษ หากรูปภาพใหญ่ถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ให้มีการ
ระบุคำอธิบายของแต่ละส่วนโดยอาศัยตัวอักษรภาษาไทยในวงเล็บเรียงตามลำดับ เช่น (ก)
และ (ข) และภาพควรมีความละเอียดเพียงพอที่กำลังขยาย 100% ส่วนคำอธิบายตารางให้
พิมพ์ไว้เหนือตารางและชิดริมซ้ายของคอลัมน์หรือชิดริมซ้ายของกระดาษ
- การเรียงลำดับรูปภาพและตารางให้แยกการเรียงลำดับออกจากกัน พร้อมทั้งระบุหมายเลข
ลำดับรูปภาพและตารางในบทความให้เป็น รูปที่ และตารางที่ เช่น รูปที่ 1 รูปที่ 1 – 3
ตารางที่ 1 และ ตารางที่ 1 – 3 เป็นต้น

- การเขียนสมการให้เขียนไว้ประมาณกลางคอลัมน์และระบุลำดับของสมการโดยใช้ตัวเลขที่พิมพ์อยู่ในวงเล็บ เช่น (1), (2) เป็นต้น การกล่าวถึงสมการในบทความให้เป็น สมการที่ เช่น สมการที่ (1) และ สมการที่ (1) – (3) เป็นต้น การนิยามความหมายของสัญลักษณ์ให้เขียนไว้ก่อนแสดงสมการ หรือเขียนหลังจากแสดงสมการทันที

2. การจัดเรียงลำดับ

2.1 บทความวิจัย ควรมีส่วนประกอบต่าง ๆ เป็นลำดับ ดังนี้

- 1) ชื่อบทความ มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ และมีความกระชับ
- 2) ชื่อผู้เขียน ระบุชื่อเต็มของผู้เขียน ทั้งชื่อภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- 3) หน่วยงานของผู้เขียน ระบุชื่อหน่วยงาน ที่อยู่ เขต/ตำบล แขวง/อำเภอ จังหวัด และรหัสไปรษณีย์ ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- 4) บทคัดย่อ มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ความยาวไม่เกิน 300 คำ และระบุคำสำคัญ จำนวน 3-5 คำ ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- 5) บทนำ เรียบเรียงโดยแสดงถึงความสำคัญและที่มาของงานวิจัย วิจัยวรรณกรรมหรือทฤษฎี และเอกสารที่เกี่ยวข้อง และวัตถุประสงค์ของงานวิจัย
- 6) วิธีดำเนินงานวิจัย เรียบเรียงโดยแสดงวิธีการศึกษาตามขั้นตอน อธิบายหน่วยทดลองและแผนการทดลองที่ใช้ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง แสดงสมการเชิงสถิติพร้อมคำอธิบาย และระบุสถานที่ทดลองหรือสถานที่จัดเก็บตัวอย่างและข้อมูล
- 7) ผลและการอภิปรายผลการวิจัย เรียบเรียงผลการทดลองตามลำดับของวัตถุประสงค์ที่ศึกษา และวิธีการที่กำหนด และวิจารณ์ผลการทดลองเป็นการวิจารณ์ข้อค้นพบและอ้างอิงเอกสารหรืองานวิจัยของผู้ศึกษามาก่อนหน้านี้
- 8) สรุปผลการวิจัย เป็นการสรุปสาระสำคัญของงานวิจัย และ/หรือประโยชน์ของการประยุกต์ผลค้นพบที่ได้
- 9) กิตติกรรมประกาศ อาจมีหรือไม่มีก็ได้ เรียบเรียงย่อหน้าเดียวแบบกระชับ ระบุแหล่งทุนวิจัย บุคคลและหน่วยงานที่ให้ความอนุเคราะห์หรือมีส่วนร่วมในงานวิจัย
- 10) เอกสารอ้างอิง เป็นการระบุแหล่งที่มาของข้อมูลที่ผู้เขียนอ้างถึงในบทความ ใช้การอ้างอิงแบบตัวเลข ตามรูปแบบของ IEEE

2.2 บทความวิชาการ ควรมีส่วนประกอบต่าง ๆ เป็นลำดับ ดังนี้

- 1) ชื่อบทความ มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ และมีความกระชับ
- 2) ชื่อผู้เขียน ระบุชื่อเต็มของผู้เขียน ทั้งชื่อภาษาไทยและภาษาอังกฤษ

- 3) หน่วยงานของผู้เขียน ระบุชื่อหน่วยงาน ที่อยู่ เขต/ตำบล แขวง/อำเภอ จังหวัด และรหัสไปรษณีย์ ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- 4) บทคัดย่อ มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ความยาวไม่เกิน 300 คำ และระบุคำสำคัญจำนวน 3-5 คำ ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- 5) บทนำ เรียบเรียงโดยแสดงหลักการและเหตุผล หรือความเป็นมาหรือภูมิหลัง หรือความสำคัญของเรื่องที่เขียน รวมทั้งวัตถุประสงค์ ขอบเขตของเรื่อง หรือคำจำกัดความหรือนิยามต่าง ๆ
- 6) เนื้อเรื่อง เรียบเรียงโดยมีการจัดลำดับเนื้อหาสาระให้มีความต่อเนื่องกัน การใช้เทคนิคนำเสนอแบบต่าง ๆ เช่น กราฟ แผนภูมิ ตาราง หรือแผนภาพ มีการวิเคราะห์ วิพากษ์วิจารณ์ อย่างมีหลักการ และมีการใช้หลักฐานอ้างอิงอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ คำนึงถึงการใช้ภาษาและการสะกดให้ถูกต้องตามพจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน
- 7) บทสรุป เป็นการสรุปประเด็นสำคัญของเรื่องนั้น ๆ อาจมีการสรุปในลักษณะใดลักษณะหนึ่งดังนี้ เช่น การบอกถึงความสำคัญของผลลัพธ์และการนำไปใช้ การตั้งคำถามหรือประเด็นที่ท้าทายให้อ่านนำไปพัฒนาต่อได้ เป็นต้น
- 8) กิตติกรรมประกาศ อาจมีหรือไม่มีก็ได้ เรียบเรียงย่อหน้าเดียวแบบกระชับเพื่อขอบคุณบุคคลหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง
- 9) เอกสารอ้างอิง เป็นการระบุแหล่งที่มาของข้อมูลที่ผู้เขียนอ้างถึงในบทความ ใช้การอ้างอิงแบบตัวเลข ตามรูปแบบของ IEEE

3. การอ้างอิง

เขียนอ้างอิงตามรูปแบบของ IEEE

3.1 การเขียนอ้างอิงในส่วนของเนื้อหา (In-text citation)

เขียนอ้างอิงตามรูปแบบของ IEEE การอ้างอิงในส่วนของเนื้อหา ใช้การอ้างอิงแบบตัวเลข ประกอบด้วยตัวเลขที่อยู่ในวงเล็บเหลี่ยม ซึ่งสอดคล้องกับรายการอ้างอิงในเอกสารอ้างอิง (references) โดยมีหลักการดังนี้

- 1) ใส่ตัวเลขในวงเล็บเหลี่ยม [] โดยเริ่มต้นหมายเลขอ้างอิงในข้อความด้วยหมายเลข 1 เช่น [1] และเรียงลำดับจากน้อยไปมากจนจบบทความ วางในตำแหน่งท้ายข้อความและอยู่ในระดับเดียวกันกับเนื้อหา เช่น การประเมินประสิทธิภาพของระบบและการประเมินความพึงพอใจใช้สถิติ [2] หรือวางในตำแหน่งท้ายชื่อบุคคลที่อ้างอิง เช่น Brown and Jones [3] หรือ Wood *et al.* [4]
- 2) การอ้างอิงซ้ำให้ใช้หมายเลขเดิมที่ใช้อ้างมาก่อนหน้านี้ในบทความ
- 3) การอ้างอิงเอกสารหลายรายการพร้อมกัน ใช้วิธีการดังนี้

- อ้างอิง 2 รายการพร้อมกัน ให้ใส่เครื่องหมายจุลภาค (,) คั่น เช่น [1], [4]
- อ้างอิงมากกว่า 2 รายการ ที่ต่อเนื่องกัน ให้ใช้เครื่องหมายยัติภังค์ (-) คั่น เช่น [3]-[5]
- อ้างอิงมากกว่า 2 รายการ ที่ต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง ให้ใช้เครื่องหมายจุลภาค (,) คั่น ในกรณีต่อเนื่อง และใช้เครื่องหมายยัติภังค์ (-) คั่นในกรณีที่ไม่ต่อเนื่อง เช่น [1]-[3], [17]

3.2 การเขียนอ้างอิงในส่วนของเอกสารอ้างอิง (References)

1) หนังสือ (Books)

รูปแบบ	[#] ชื่อผู้แต่ง, ชื่อหนังสือ, ครั้งที่พิมพ์, เมืองที่พิมพ์: สำนักพิมพ์, ปีที่พิมพ์.
Format	[#] Author. <i>Title of Book</i> , ed. Location: Publisher, Year, Pages.

- [1] R.H. Myers and D.C. Montgomery, *Response Surface Methodology: Process and product optimization using designed experiments*, New York: John Wiley & Sons, 1995.
- [2] Y.D. Goswami, F. Kreith and J.F. Kreider, *Principles of Solar Engineering*, 2nd ed, Philadelphia: Taylor & Francis, 1999.
- [3] สมชาย ประสิทธิ์จุตระกูล, *การออกแบบและวิเคราะห์อัลกอริทึม*, กรุงเทพฯ: ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC), 2553.

2) บทความจากวารสาร (Journal Articles)

รูปแบบ	[#] ชื่อผู้แต่ง, “ชื่อบทความ,” ชื่อวารสาร, ฉบับที่, ปีที่, หน้า, เดือน ปี.
Format	[#] Author, “Title of Article,” <i>Title of Journal</i> , Volume, Issue, Pages. Month. Year.

- [4] S.D. Waszkiewics, M.J. Tierney and H.S. Scott, “Development of coated, annular fins for adsorption chillers,” *Applied Thermal Engineering*, vol. 29, no. 11-12, pp. 2222 – 2227, Aug. 2009.
- [5] พลอยพัทธ์ ศุภรัตน์ธัญญา สมนมาลย์ จันทร์เอี่ยม ภาณุพันธ์ ลิ้มปชยาพร และจิตนภา ศิริรักษ์, “การศึกษาจลนศาสตร์และไอโซเทอมของการดูดซับบราซิโนจากฝางด้วยมอนต์มอริลโลไนท์,” *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, ปีที่ 27, ฉบับที่ 6, หน้า 989-1001, พฤศจิกายน - ธันวาคม 2562.

3) บทความจากการประชุมวิชาการ (Conference Proceedings in Print)

รูปแบบ	[#] ชื่อผู้แต่ง, “ชื่อบทความ,” ใน ชื่อการประชุมวิชาการ, วัน เดือน ปี ที่จัด, หน้า.
--------	--

Format	[#] Author, “Title of paper,” in <i>Title of Conference</i> , City, Country of conference, Month. Date Year, page.
---------------	--

- [6] S. Müller, D. Bermbach, S. Tai, and F. Pallas, “Benchmarking the Performance Impact of Transport Layer Security in Cloud Database Systems,” in *Proceeding of 2014 IEEE International Conference on Cloud Engineering*, Boston, Massachusetts, Mar. 11-14 2014, pp. 27-36.
- [7] นิอัฟพาน บินนิโซะ, นูรอิน สะมะแอ, กฤษณ์วรา รัตนโอภาส และสารภี จุลแก้ว, “ระบบเครือข่ายภายในเสมือน 10 Gigabit Ethernet บนเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะด้วยเทคโนโลยีเวอร์ชวลไลเซชัน,” ใน *รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต ครั้งที่ 8, จังหวัดภูเก็ต, 15 ธันวาคม 2559*, หน้า 726-735.

4) เว็บไซต์ (Websites)

รูปแบบ	[#] ชื่อผู้แต่ง, “ชื่อเรื่อง,” ชื่อเว็บไซต์ (ถ้ามี) [ออนไลน์]. http://... (เข้าถึงเมื่อ: วัน เดือน ปี).
Format	[#] Author, “Page Title,” Website Title [Online]. http://... (Retrieved Date Accessed).

- [8] V. Gill. “*Tyrannosaur’s last meal was two baby dinosaurs*,” BBC News [Online]. <https://www.bbc.com/news/science-environment-67642374>. (Accessed: Dec. 9, 2023).
- [9] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. “การดำเนินงานด้านพลังงานและการจัดการก๊าซเรือนกระจก,” [ออนไลน์]. https://www.dede.go.th/articles?id=191&menu_id=1. (เข้าถึงเมื่อ: 9 ธันวาคม 2566).

5) วิทยานิพนธ์ (Theses and Dissertations)

รูปแบบ	[#] ชื่อผู้แต่ง, “ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์,” วิทยานิพนธ์ ชื่อย่อปริญญา (สาขา), ชื่อมหาวิทยาลัย, ชื่อเมือง, ชื่อประเทศ, ปีที่พิมพ์.
Format	[#] Author, “Title of dissertation,” Ph.D. dissertation, Abbrev. Dept., Abbrev. Univ., City of Univ., Abbrev. State, year. [#] Author, “Title of dissertation,” M.S. Thesis, Abbrev. Dept., Abbrev. Univ., City of Univ., Abbrev. State, year.

- [10] J. O. Williams, "Narrow-band analyzer," Ph.D. dissertation, Dept. Elect. Eng., Harvard Univ., Cambridge, MA, 1993.
- [11] ปรีนทร เต็มญารศิริ, "การเตรียมและการวิเคราะห์คุณลักษณะเฉพาะของถ่านกัมมันต์จากไผ่ตงและไผ่หมาจู," วิทยานิพนธ์ วท.บ. (เคมี), มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ, 2551.

6) มาตรฐาน (Standard)

Format	[#] Title of Standard, Standard number, date.
--------	---

- [12] *IEEE Criteria for Class IE Electric Systems*, IEEE Standard 308, 1969.
- [13] *Letter Symbols for Quantities*, ANSI Standard Y10.5-1968.

7) คู่มือ (Handbook)

Format	[#] Name of Manual/Handbook, x Ed., Abbrev. Name of Co., City of Co., Abbrev. State, year, pp. xx-xx.
--------	---

- [14] *Transmission Systems for Communications*, 3rd Ed., Western Electric Co., Winston-Salem, NC, 1985, pp. 44-60.
- [15] *Motorola Semiconductor Data Manual*, Motorola Semiconductor Products Inc., Phoenix, AZ, 1989.
- [16] *RCA Receiving Tube Manual*, Radio Corp. of America, Electronic Components and Devices, Harrison, NJ, Tech. Ser. RC-23, 1992.

การส่งต้นฉบับ

ส่งต้นฉบับบทความวิจัยและบทความวิชาการผ่านระบบออนไลน์ Thaijo ที่ <https://li04.tci-thaijo.org/index.php/stjmutk/about/submissions> และสามารถติดตามสถานะในเว็บบอร์ดดังกล่าวได้

การตรวจแก้ไขและการยอมรับการตีพิมพ์

- 1) การแจ้งสถานะของบทความ การติดต่อผู้แต่งเพื่อแก้ไขบทความ การตอบรับ/ปฏิเสธ การตีพิมพ์ จะดำเนินการผ่านระบบวารสารออนไลน์
- 2) บทความที่ยอมรับให้ตีพิมพ์ในวารสารจะต้องได้รับการพิจารณาให้ตีพิมพ์จากผู้ทรงคุณวุฒิฯ หรือผู้เชี่ยวชาญในสาขาที่เกี่ยวข้อง (ทั้งภายในและภายนอก) อย่างน้อย 2 ท่าน

- 3) กองบรรณาธิการขอสงวนสิทธิ์ในการตรวจแก้ไขบทความทุกเรื่องก่อนการพิมพ์ตามที่เห็นสมควร และจะส่งบทความที่แก้ไขแล้วให้ผู้แต่งเห็นชอบก่อนการพิมพ์

ข้อความลิขสิทธิ์ (Copyright text)

- 1) บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เป็นลิขสิทธิ์ของวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ อนุญาตให้นำข้อความ เนื้อหา รูปภาพ ไปพิมพ์เผยแพร่ได้ แต่ห้ามนำไปใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ หรือมีเจตนาเอื้อผลประโยชน์ในทางธุรกิจใด ๆ
- 2) ข้อความที่ปรากฏในบทความแต่ละเรื่องเป็นความคิดเห็นส่วนตัวของผู้แต่งแต่ละท่าน หากมีความผิดพลาดใด ๆ ผู้แต่งแต่ละท่านจะรับผิดชอบบทความของตนเองแต่ผู้เดียว

จริยธรรมการตีพิมพ์ผลงานวิจัยในวารสารวิชาการ (Publication Ethics)

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ถือเป็นสื่อกลางในการเผยแพร่ผลงานวิจัยและผลงานวิชาการระหว่างผู้นิพนธ์ นักวิจัย และสาธารณะ ดังนั้นเพื่อให้เกิดการสื่อสารทางวิชาการเป็นไปอย่างถูกต้อง มีคุณภาพ และโปร่งใส สอดคล้องกับมาตรฐานการตีพิมพ์ทั้งในระดับชาติและนานาชาติ จึงได้กำหนดแนวทาง วิธีปฏิบัติที่ดี และจริยธรรมของการตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานวิจัยหรือผลงานวิชาการตามแนวทางของวารสารฯ Committee on Publication Ethics (COPE) ไว้ดังนี้

1. บทบาทและหน้าที่ของกองบรรณาธิการ (Editor)

- 1.1 บรรณาธิการต้องยึดมั่นในหลักจริยธรรมการตีพิมพ์ และดำเนินการเพื่อให้เกิดการรับรองคุณภาพของบทความและมาตรฐานของวารสารฯ
- 1.2 บรรณาธิการมีหน้าที่สนับสนุนความถูกต้องทางวิชาการของบทความที่ตีพิมพ์ในวารสาร ดังนี้
 - พิจารณารูปแบบ ความครบถ้วนสมบูรณ์ คุณภาพของผลงาน ความทันสมัย และความชัดเจนของเนื้อหา
 - เป็นผู้ประเมินบทความเบื้องต้นและคัดเลือกบทความเข้าสู่กระบวนการพิจารณาของผู้ทรงคุณวุฒิ โดยพิจารณาจากความสอดคล้องกับนโยบายและขอบเขตของวารสาร
 - จัดให้มีการประเมินบทความโดยผู้ทรงคุณวุฒิที่มีความเชี่ยวชาญในสาขาวิชานั้นๆ และมีระบบการปกปิดความลับของข้อมูลในบทความ และข้อมูลส่วนบุคคลของผู้เขียนบทความในระหว่างระยะเวลาการประเมิน
 - หากพบความไม่ถูกต้องในบทความที่ตีพิมพ์ไปแล้ว หรือข้อความที่ทำให้เกิดความเข้าใจผิด หรือข้อมูลที่บิดเบือน บรรณาธิการต้องทำการแก้ไขทันทีด้วยความชัดเจน
 - บรรณาธิการมีหน้าที่ตรวจสอบบทความไม่ให้มีการคัดลอกผลงานของผู้อื่น
- 1.3 บรรณาธิการต้องมีความโปร่งใส และไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อนกับผู้เขียนและผู้ประเมินบทความ
- 1.4 บรรณาธิการต้องเป็นผู้ตัดสินใจในการยอมรับหรือปฏิเสธการตีพิมพ์เผยแพร่บทความ
- 1.5 บรรณาธิการต้องไม่ปฏิเสธการตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด หรือเพราะความสงสัยหรือไม่แน่ใจ จนกว่าจะมีหลักฐานพิสูจน์ข้อสงสัยเหล่านั้น
- 1.6 บรรณาธิการต้องไม่เปลี่ยนแปลงการตัดสินใจในการยอมรับหรือปฏิเสธการตีพิมพ์เผยแพร่บทความที่มีการตัดสินใจไปแล้ว ยกเว้นมีการพิสูจน์ถึงข้อเท็จจริงหรือปัญหาที่เกิดขึ้น
- 1.7 บรรณาธิการต้องให้โอกาสแก่ผู้เขียนในการอุทธรณ์ได้ หากผู้เขียนมีความคิดเห็นแตกต่างจากการตัดสินใจของบรรณาธิการ และสามารถชี้แจงหรือพิสูจน์คำตัดสินได้

2. บทบาทหน้าที่ของผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความ (Reviewer)

- 2.1 ผู้ประเมินต้องไม่เปิดเผยข้อมูลของบทความที่ส่งมาพิจารณาแก่บุคคลอื่นที่ไม่เกี่ยวข้องในระหว่างที่บทความอยู่ในขั้นตอนการประเมิน
- 2.2 ผู้ประเมินควรรับประเมินบทความเฉพาะในสาขาวิชาที่ตนเชี่ยวชาญ โดยให้ความสำคัญกับการพิจารณาเนื้อหา ในบทความที่จะมีต่อสาขานั้นๆ คุณภาพของระเบียบวิธีวิจัยและการวิเคราะห์ และความเข้มข้นของเนื้อหา
- 2.3 ผู้ประเมินต้องประเมินบทความด้วยความเที่ยงตรง และให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์และมีเหตุผลทางวิชาการ ไม่ใช่ความคิดเห็นส่วนตัวที่ไม่มีเหตุผลทางวิชาการมารองรับมาเป็นเกณฑ์ในการพิจารณา
- 2.4 ผู้ประเมินต้องไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อนกับผู้เขียน อันที่จะไม่สามารถทำให้ประเมินหรือให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะอย่างอิสระได้

3. บทบาทหน้าที่ของผู้เขียน (Author)

- 3.1 ต้นฉบับที่ส่งมาให้วารสารฯ พิจารณาจะต้องไม่เคยตีพิมพ์ที่ไหนมาก่อน
- 3.2 ผู้เขียนต้องไม่นำต้นฉบับที่อยู่ในระหว่างการประเมินของวารสารฯ ส่งไปยังวารสารอื่น
- 3.3 ผู้เขียนต้องนำเสนอข้อมูลที่เกิดขึ้นจริงจากการวิจัย และไม่คัดลอกงานของผู้อื่นหรือทำให้ผู้อื่นเข้าใจผิดว่าเป็นผลงานเขียนของตนเอง
- 3.4 ผู้เขียนต้องระบุรายชื่อผู้ที่เกี่ยวข้องกับการทำวิจัย (ถ้ามี) และแหล่งทุนสนับสนุน
- 3.5 ผู้เขียนต้องจัดเตรียมต้นฉบับบทความตามรูปแบบและข้อกำหนดของกองบรรณาธิการวารสารฯ
- 3.6 ผู้เขียนต้องยอมรับคำวิจารณ์ และต้องแก้ไขบทความ ชี้แจงตอบกลับ ในกรณีที่ผู้ประเมินอิสระมีมติให้ปรับปรุงแก้ไขต้นฉบับ
- 3.7 ผู้เขียนต้องอ้างอิงผลงานวิจัยของผู้อื่นหากมีการนำงานวิจัยเหล่านั้นมาใช้ในการวิจัยของตนเอง และต้องจัดทำรายการอ้างอิงตามรูปแบบของวารสาร

JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY KRUNGTHEP

PTINT ISSN 2392-5647



คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

เลขที่ 2 ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120

โทร. 0-287-9600 ต่อ 2111, มือถือ 08-6415-2558

Email: science.st@mail.rmutk.ac.th