



วารสารวิชาการ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

Academic Journal of Science and Technology
Dhonburi Rajabhat University

ปีที่ 4 ฉบับที่ 1
(มกราคม - มิถุนายน 2569)

ISSN 2985-0681 (online)

วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

Academic Journal of Science and Technology Dhonburi Rajabhat University

คณะกรรมการจัดทำวารสาร

ที่ปรึกษากิตติมศักดิ์

รองศาสตราจารย์ ดร.ปนัดดา

ยิ้มสุกุล

ที่ปรึกษากองบรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธิติมา

เกตุแก้ว

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นวลระหง

เทพวิวัฒน์จิต

อาจารย์ประยูทธ

นิสมกุล

บรรณาธิการบริหาร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประสิทธิ์

ภูสมมา

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ปิยะ

โควินท์ทวีวัฒน์

รองศาสตราจารย์ ดร.เสกสรรค์

แย้มพินิจ

รองศาสตราจารย์ ดร.อาวีวรรณ

ปัญญาโกเมศ

รองศาสตราจารย์ ดร.พานิช

อินตะ

รองศาสตราจารย์ ดร.ชาลีตา

บรมพิชัยชาติกุล

รองศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์

มั่งคั่ง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิ่นรภัส

ถกลภักดี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สถิตย์พงษ์

มันหล้า

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติ

กอบัวแก้ว

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นวลระหง

เทพวิวัฒน์จิต

อาจารย์ ดร.รัตนนุช

จันทร์เพ็ญ

อาจารย์ ดร.จุฑามาส

ศิริอังกรวาณิช

คณะกรรมการดำเนินงาน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไกรรัช	เทศมี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธวัชชัย	สอนสนาม
อาจารย์ ดร.วิษุตา	ประสาทแก้ว
อาจารย์ธนพล	แพรงกระโทก
อาจารย์รัชชัย	ไขแก้ว
อาจารย์ภูกิจ	คงเปี่ยม
นางสาวสวีนนา	ศรีแสง

ฝ่ายออกแบบและจัดพิมพ์รูปเล่ม

นายกัมพัจน์	พลอยวิสัย
-------------	-----------

ฝ่ายเผยแพร่ทางอิเล็กทรอนิกส์และประชาสัมพันธ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิวัฒน์	จุราหะวงศ์
นางสาววรรณวิสาข์	สุกปลั่ง

ฝ่ายประสานงาน

นางสาวปราณี	แซ่เจ็ง
นางสาววันดี	ศรีสำอางค์

ฝ่ายการเงินและงานพัสดุ

นางสาวอิสริย์	ขันทอง
---------------	--------

บทบรรณาธิการ

วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี ฉบับนี้ เป็นปีที่ 4 ฉบับที่ 1 ประจำเดือนมกราคม-เดือนมิถุนายน การตีพิมพ์เผยแพร่บทความวิจัยและวิชาการ มีจุดประสงค์ที่จะเผยแพร่องค์ความรู้ กระบวนการทางความคิด และการพัฒนาต่อยอดวิจัยต่าง ๆ อันได้จากการศึกษา ค้นคว้าวิจัย ตลอดจนแง่มุมต่าง ๆ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ทางบรรณาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่า บทความวิจัยที่ได้เผยแพร่ในวารสารฉบับนี้ จะก่อให้เกิดประโยชน์ในด้านวิชาการ สังคม และชุมชนต่อไป

กองบรรณาธิการ

สารบัญ

บทความวิจัย	หน้า
1. การศึกษาความสัมพันธ์ของคุณภาพการบริการ ความพึงพอใจและความภักดีของการใช้บริการโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนเรศวร ภาวิณี เถารอด นิลยา ลาโพธิ์ ทยุตา อินทร์แก้ว และรศภัทร รัตนบวรวัฒน์	A1
2. การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน FITBUDDY สำหรับการออกกำลังกายและรับชมวิดีโอการฝึก พัชรพร อ่อนหนองหว่า วรณพร จิตรสังวรรณ เอกรัตน์ สุขะสุนันท์ และณัฐคมณ์ ไพศาลวิสัยศ	A17
3. การพัฒนาอินเวอร์เตอร์ T-Source ควบคุมด้วยพัลส์วิดท์มอดูเลชันแบบ Unipolar สำหรับการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า นิคม ก้านจักร พชรพงศ์ กันหารินทร์ และศักดาวุฒิ บุญด้ว	A37
4. การพัฒนาผลิตภัณฑ์คุกกี้จากผักเคล อรอนงค์ ศรีพาทกุล วันวิสา สามสีลา และไพลิน สายสาหร่าย	A51
5. การศึกษาแป้งข้าวหอมนิลทดแทนแป้งสาลีอเนกประสงค์ในผลิตภัณฑ์ขนมกลีบลำดวน ศุภชัย พันขารี ศตรัตน์ ทิพย์ผ่อง และพีรพัฒน์ ใจงามดี	A65
6. กรณีศึกษา: ระบบขับเคลื่อนรถรางไฟฟ้าด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำขนาด 10 กิโลวัตต์ จักรกฤษณ์ จันทรเขียว ณพวัฒน์ ทองพันซัง ภัทรวัต ชัยคุณสมบัติ และวรวิทย์ ลีลาวรรณ	A75
7. การวิเคราะห์การลดพลังงานส่วนเกินจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบกักเก็บพลังงาน ณัชนพล เรืองทรัพย์ ศุภวุฒิ เนตรโพธิ์แก้ว และณัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ	A85

การศึกษาความสัมพันธ์ของคุณภาพการบริการ ความพึงพอใจ และความภักดีของการใช้บริการโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนเรศวร

ภาวินี เถารอด^{1*} นิลยา ลาโพธิ์² ทยุตา อินทร์แก้ว³ และรศัฏฐ์ รัตนบรรวิศ⁴

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระดับคุณภาพและความสัมพันธ์ของการบริการ ความพึงพอใจ และความภักดีของการใช้บริการ โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนเรศวร กลุ่มตัวอย่าง คือ ผู้รับบริการโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนเรศวร จำนวน 385 ราย เก็บข้อมูลตั้งแต่เดือนตุลาคม 2567 ถึงเดือนกันยายน 2568 โดยใช้แบบสอบถาม ทั้งนี้มีการวัดความเที่ยงตรง (CVI) เท่ากับ 0.90 และความน่าเชื่อถือ (Cronbach's alpha) เท่ากับ 0.789 โดยใช้สถิติสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน ผลการวิจัยพบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นเพศชาย (ร้อยละ 54) มีช่วงอายุ 41-60 ปี (ร้อยละ 46) การศึกษาอยู่ในระดับปริญญาตรี (ร้อยละ 44.7) อาชีพพนักงาน/ลูกจ้าง (ร้อยละ 33.8) ใช้บัตรทอง (ร้อยละ 42.8) คะแนนเฉลี่ยของตัวแปร ด้านคุณภาพการบริการ ผู้รับบริการมีความพึงพอใจในภาพรวมระดับมากที่สุด โดยด้านพฤติกรรมบริการ ($\bar{X} = 4.92$, S.D. = 0.24) และด้านการให้ข้อมูล ($\bar{X} = 4.92$, S.D. = 0.23) มีคะแนนเฉลี่ยมากที่สุด สำหรับคะแนนพึงพอใจด้านอื่น ๆ และความภักดี พบว่า การกลับมาใช้บริการซ้ำมีคะแนนเฉลี่ยสูงสุด ($\bar{X} = 9.68$, S.D. = 0.78) การแนะนำญาติหรือคนรู้จักให้มาใช้บริการโรงพยาบาล ($\bar{X} = 9.66$, S.D. = 0.88) และคะแนนโดยรวมของโรงพยาบาลมีคะแนนเฉลี่ยอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 9.51$, S.D. = 1.19) ตามลำดับ ความสัมพันธ์ภายในกลุ่มตัวแปรหลัก พบว่า กลุ่มตัวแปรด้านการกลับมาใช้บริการซ้ำ การแนะนำบอกต่อ คะแนนโดยรวมของโรงพยาบาล ด้านสิ่งแวดล้อมความสะอาดของสถานที่ มีความสัมพันธ์กันเองในทิศทางเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 โดยมีความสัมพันธ์อยู่ในระดับสูงมาก ($r = 0.798 - 0.909$) ซึ่งคู่ที่มีความสัมพันธ์กันสูงที่สุดคือ การกลับมาใช้บริการซ้ำและการแนะนำบอกต่อ ($r = 0.909$, $p < .01$) ชี้ให้เห็นว่าผู้รับบริการที่พึงพอใจจะกลับมาใช้บริการซ้ำมีแนวโน้มสูงมากที่จะแนะนำหรือบอกต่อแก่ผู้อื่นด้วย เพื่อเพิ่มความภักดีของผู้รับบริการและกระตุ้นให้เกิดการบอกต่อ โรงพยาบาลควรให้ความสำคัญกับปัจจัยที่ส่งผลต่อประสบการณ์ของผู้รับบริการ โดยการรักษามาตรฐานด้านบริการ การให้ข้อมูล รวมถึงการรักษาความสะอาดของสถานที่และสภาพแวดล้อม

คำสำคัญ: ความภักดี คุณภาพการบริการ ความพึงพอใจ

^{1,2,4} คณะแพทยศาสตร์ โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนเรศวร

³ คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

* ผู้ประสานงานหลัก e-mail: Phawineep@nu.ac.th

วันที่รับบทความ 1 มีนาคม 2569

วันที่แก้ไขบทความ 28 เมษายน 2569

วันที่ตอบรับบทความ 4 มิถุนายน 2569

The Study of Relationship between Service Quality, Satisfaction and Loyalty of Naresuan University Hospital

Phawinee Paorod^{1*} Nillaya Lapho² Thayuta Inkaew³
and Rateepat Rattranabrawornvat⁴

ABSTRACT

This research aims to examine the levels of service quality, satisfaction, and loyalty, as well as the relationships among these factors, in the use of services at Naresuan University Hospital. The sample consisted of 385 hospital service users. Data collection took place from October 2024 to September 2025; the research instruments were validated with a Content Validity Index (CVI) of 0.90 and demonstrated Cronbach's Alpha reliability coefficient of 0.789. Data was analyzed using Pearson's correlation. The results revealed that most participants were male (54%), aged 41–60 years (46%), held a bachelor's degree (44.7%), and were mainly employees or workers (33.8%). Most participants used the Gold Card health scheme (42.9%). Regarding service quality, the overall level of patient satisfaction was found to be at the highest level. The highest mean scores were observed in the dimensions of service behavior ($\bar{x} = 4.92$, S.D. = 0.24) and information provision ($\bar{x} = 4.92$, S.D. = 0.23). In terms of other satisfaction dimensions and patient loyalty, the highest mean score was found for intention to revisit the hospital ($\bar{x} = 9.68$, S.D. = 0.78), followed by willingness to recommend the hospital to relatives or acquaintances ($\bar{x} = 9.66$, S.D. = 0.88). The overall hospital rating was also reported at the highest level ($\bar{x} = 9.51$, S.D. = 1.19), respectively. The correlation analysis among the main variables showed that intention to reuse services, word-of-mouth recommendations,

^{1,2,4} Faculty of Medicine, Naresuan University Hospital

³ Faculty of Nursing, Naresuan University

* Corresponding author e-mail: Phawineep@nu.ac.th

Received: Mar 1, 2026

Revised: Apr 28, 2026

Accepted: Jun 4, 2026

overall hospital score, and environmental cleanliness were all significantly positively correlated at the .01 level, with very strong correlation coefficients ($r = 0.798-0.909$). The strongest relationship was between intention to reuse services and word-of-mouth recommendations ($r = 0.909$, $p < .01$), indicating that users who intend to return are also highly likely to recommend the hospital to others. To enhance user loyalty and encourage word-of-mouth, the hospital should focus on factors affecting user experience by maintaining service and information standards and ensuring cleanliness and environment.

Keywords: service loyalty, service quality, satisfaction

บทนำ

ในประเทศไทยมีการให้บริการโรงพยาบาลทั้งของภาครัฐบาลและเอกชน โดยประชาชนสามารถเลือกรักษาที่สถานพยาบาลได้ตามสิทธิการรักษาและตามความต้องการของตนเอง นโยบายหลักประกันสุขภาพถ้วนหน้าในปี พ.ศ. 2545 ทำให้ประชาชนเข้าถึงบริการทางสาธารณสุขมากขึ้น ส่งผลให้ปริมาณผู้ป่วยมีจำนวนมาก สัดส่วนระหว่างผู้ให้บริการ ซึ่งในที่นี้ คือ บุคลากรทางการแพทย์ และผู้รับบริการ คือ ผู้ป่วย ไม่เพียงพอต่อกัน จึงเกิดความล่าช้า รอคิวนาน (วรธา มงคลสืบสกุล, 2565) โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนเรศวรเป็นหนึ่งในโรงพยาบาลของรัฐบาลที่เป็นโรงพยาบาลระดับตติยภูมิชั้นสูงในเขตภาคเหนือตอนล่าง จากข้อมูลโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนเรศวร ในปี 2567 มีจำนวนผู้ป่วยนอก 87,549 ราย (กลุ่มข้อมูลและสารสนเทศสุขภาพ สำนักงานปลัดกระทรวงสาธารณสุข, 2567) โดยให้บริการทางด้านสุขภาพ ทางด้านการส่งเสริม ป้องกัน รักษาและฟื้นฟูภาวะความเจ็บป่วยหรือโรคต่าง ๆ ทั้งทางร่างกายและทางจิตใจ มุ่งเน้นให้บริการทางการแพทย์ทั่วไปและการแพทย์เฉพาะทาง มีทีมแพทย์และบุคลากรด้านสุขภาพทำงานเต็มเวลาด้วยความเชี่ยวชาญในการพัฒนาคุณภาพการบริการ เพื่อสุขภาพที่ดีและความพึงพอใจของผู้รับบริการ ปัจจุบันจำนวนผู้มารับบริการมีจำนวนมากขึ้น ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อเรื่องคุณภาพการบริการ การสร้างความไว้วางใจต้องสร้างมาตรฐานการบริการและการปฏิบัติต่อผู้รับบริการด้วยความถูกต้อง จนเกิดความมั่นใจและไว้วางใจ ซึ่งจะส่งผลต่อความภักดี (Carranza, Diaz, and Martin, 2018) จากการทบทวนวรรณกรรม งานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าคุณภาพในการบริการ ความพึงพอใจของผู้รับบริการ มีความสัมพันธ์ในทางบวกกับความภักดี (ญาณิศา ยานะธรรม, 2566) และผลการศึกษาของ ภาควิชาพิศุทธิวิธย์, ญาณกร วรากุลรักษ์, และชเนตติ พิพัฒนางกูร (2566) พบว่า คุณภาพการบริการและ

ความพึงพอใจมีความสัมพันธ์กับความภักดีของการใช้บริการไปในทิศทางเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยจึงใช้ตัวแปรด้านการรับรู้คุณภาพการบริการ คือ ด้านพฤติกรรมด้านการบริการ และด้านการให้ข้อมูลเป็นตัวแปรต้น โดยการรับรู้คุณภาพบริการ อ้างอิงตามแนวคิดของ Parasuraman, Zeithaml & Berry (2004) ตัวแปรตาม คือตัวแปรด้านความจงรักภักดีของผู้รับบริการ โดยปัจจัยที่มีผลต่อความภักดี คือคุณภาพการให้บริการและความพึงพอใจของผู้รับบริการ (สุภชาติ ฉายศิริ เบญจวรรณ ลีเจริญ และเตือนใจ แสงทอง, 2566) จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าการประเมินคุณภาพ ความพึงพอใจ และความภักดียังมีจำกัด และมีการศึกษาในบริบทของโรงพยาบาลเอกชนเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งอาจไม่สามารถนำมาอธิบายเกี่ยวกับความภักดีการใช้บริการของโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยได้อย่างชัดเจน

ด้วยเหตุนี้ทางผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาถึงปัญหาในการเลือกใช้บริการโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนเรศวร โดยมีวัตถุประสงค์การวิจัยเพื่อศึกษาระดับคุณภาพการบริการ ความพึงพอใจ และความภักดีของการใช้บริการโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนเรศวร และเพื่อศึกษาความสัมพันธ์คุณภาพการบริการ ความพึงพอใจ และความภักดีของการใช้บริการโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนเรศวร โดยหวังว่าจะได้นำข้อมูลจากผลงานการศึกษาวินิจฉัยไปใช้ในการพัฒนาคุณภาพ เพื่อประโยชน์ของประชาชน และพัฒนาหน่วยบริการของกระทรวงสาธารณสุขต่อไป ดังกรอบแนวคิดความพึงพอใจในคุณภาพการบริการ ด้านพฤติกรรม ด้านการบริการ ด้านการให้ข้อมูล มีความสัมพันธ์กับความภักดีของการใช้บริการ

วิธีดำเนินการวิจัย

รูปแบบงานวิจัย วิจัยการวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณ (quantitative research) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพ ความพึงพอใจ และความภักดี โดยประชากรที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ คือ ผู้รับบริการโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนเรศวร ตั้งแต่เดือนตุลาคม 2567 ถึง กันยายน 2568 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัย ผู้รับบริการ ณ โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนเรศวร ตั้งแต่เดือนตุลาคม 2567 ถึง กันยายน 2568 ขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่ศึกษาใช้หลักการคำนวณตามวิธีการของ (Cochran, 1977) เพื่อใช้หาจำนวนกลุ่มตัวอย่าง กรณีที่ไม่ทราบขนาดของประชากรที่แน่นอน (infinite population) ได้จำนวนกลุ่มตัวอย่างจากการคำนวณ 384.16 คน ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้จึงใช้จำนวนกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 385 ราย

การสุ่มตัวอย่างในการศึกษา ครั้งนี้ ใช้วิธีการคัดเลือกตัวอย่างแบบไม่ใช้ความน่าจะเป็น (nonprobability sampling) สุ่มตัวอย่างแบบสะดวก (convenience sampling) เก็บข้อมูล

ที่หน่วยงานผู้ป่วยใน จำนวน 150 ราย หน่วยงานผู้ป่วยนอก 150 ราย และหน่วยงานผู้ป่วยวิกฤติ จำนวน 85 ราย เนื่องจากหน่วยงานผู้ป่วยวิกฤติมีประชากรน้อยกว่าหน่วยงานอื่น หากจัดสรรตามสัดส่วนประชากรจริงจะทำให้กลุ่มตัวอย่างหน่วยงานผู้ป่วยวิกฤติ มีจำนวนน้อยเกินไปจนไม่สามารถเป็นตัวแทนที่ดีของประชากรได้ ผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการเพิ่มขนาดกลุ่มตัวอย่าง เพื่อความครอบคลุมและแม่นยำในการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างหน่วยงาน โดยมีเกณฑ์คัดเข้าคือ ผู้รับบริการที่มีอายุตั้งแต่ 18 ปี ขึ้นไป ผู้รับบริการที่อ่านออกเขียนได้ และยินดีเข้าร่วมการวิจัย มีเกณฑ์คัดออกคือ ญาติผู้รับบริการ

การเก็บรวบรวมข้อมูล เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล คือ แบบสอบถาม (questionnaire) ประกอบด้วย 1.) ข้อมูลทั่วไปของผู้รับบริการ ได้แก่ เพศ อายุ การศึกษา และอาชีพ 2.) แบบสอบถามคุณภาพการบริการประกอบด้วยข้อคำถามใน 3 ประเด็นย่อย ได้แก่ 2.1) ด้านพฤติกรรมบริการ มีข้อคำถาม จำนวน 5 ข้อ 2.2) ด้านการให้บริการ มีข้อคำถามจำนวน 7 ข้อ และ 2.3) ด้านการให้ข้อมูล มีข้อคำถาม จำนวน 5 ข้อ รวมทั้งสิ้นมี 17 ข้อคำถาม ลักษณะข้อคำถามเป็นแบบประมาณค่า (Likert scale) ระดับคะแนน 1-5 ซึ่ง 1 คะแนน หมายถึง ควรปรับปรุงอย่างยิ่ง 2 คะแนน หมายถึง ควรปรับปรุง 3 คะแนน หมายถึง พอใช้ 4 คะแนน หมายถึง มาก และ 5 คะแนน หมายถึง มากที่สุด การแปลผลระดับคะแนน กำหนดช่วงคะแนน 1.00-1.50 หมายถึง ควรปรับปรุงอย่างยิ่ง 1.51-2.50 คะแนน หมายถึง ควรปรับปรุง 2.51-3.50 คะแนน หมายถึง พอใช้ 3.51-4.50 คะแนน หมายถึง มาก และ 4.51-5.00 คะแนน หมายถึง มากที่สุด 3) แบบสอบถาม ด้านอื่น ๆ เช่น ความสะอาดของสถานที่ คะแนนโดยรวมของโรงพยาบาล และแบบสอบถามความภักดีมี 2 ข้อ คือ 1.) ท่านจะกลับมาใช้บริการที่นี่อีกหรือไม่ 2.) ถ้ามีญาติหรือคนรู้จักของท่านป่วย ท่านจะแนะนำโรงพยาบาลนี้หรือไม่ เป็นแบบประเมินความพึงพอใจ ระดับคะแนน 1 ถึง 10 ซึ่ง 1 หมายถึง น้อยที่สุด และ 10 หมายถึง มากที่สุด

การตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ แบบสอบถามทั้งหมดได้ผ่านการตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ได้แก่ ผู้บริหาร พยาบาลหัวหน้าแผนก และอาจารย์พยาบาล การวัดความเที่ยงตรง (CVI) เท่ากับ 0.90 และความน่าเชื่อถือ (Cronbach's Alpha) เท่ากับ 0.789 การพิทักษ์สิทธิกลุ่มตัวอย่าง การวิจัยนี้ ได้รับการรับรองจริยธรรมเลขที่ P-3-0073/2567 ที่ 18 กันยายน 2568 จากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์มหาวิทยาลัยนเรศวร ผู้วิจัยคำนึงถึงสิทธิของกลุ่มตัวอย่างหลังจากยื่นการรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ จัดทำบันทึกข้อความขออนุญาตเก็บข้อมูลในโรงพยาบาล ติดต่อประสานงานคณะกรรมการความพึงพอใจการให้บริการพยาบาล ฝ่ายการพยาบาล โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนเรศวร เพื่อขออนุญาตเก็บข้อมูลการวิจัย เป็นการเก็บข้อมูลจากฐานข้อมูลคณะกรรมการความพึงพอใจการให้บริการพยาบาล ฝ่ายการพยาบาล โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนเรศวร

การวิเคราะห์ข้อมูล การศึกษาความสัมพันธ์ของคุณภาพการบริการ ความพึงพอใจ และความภักดีของการใช้บริการโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนเรศวร ของกลุ่มตัวอย่าง 385 ราย ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ ซึ่งกำหนดนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1. สถิติเชิงพรรณนา ข้อมูลส่วนบุคคล ใช้การแจกแจงความถี่ และค่าร้อยละ เพื่ออธิบายลักษณะทางประชากรของกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ เพศ อายุ ระดับการศึกษา อาชีพ และสิทธิการรักษา การวิเคราะห์ระดับคุณภาพการบริการ ความพึงพอใจและความภักดี โดยใช้ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลส่วนบุคคล และคุณภาพ ความพึงพอใจ และความภักดี

2. สถิติเชิงอนุมาน วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพการบริการ ความพึงพอใจ และความภักดี โดยใช้สถิติสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson product moment correlation coefficient)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากการศึกษาความสัมพันธ์ของคุณภาพการบริการ ความพึงพอใจ และความภักดีของการใช้บริการโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนเรศวร ของกลุ่มตัวอย่าง 385 ราย สามารถจำแนกผลการวิจัยตามประเด็นต่าง ๆ ได้ ดังนี้

1. ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง เป็นเพศชาย จำนวน 208 ราย (ร้อยละ 54) เป็นเพศหญิง จำนวน 177 ราย (ร้อยละ 46) มีอายุ 18-40 ปี จำนวน 109 ราย (ร้อยละ 28.3) อายุ 41-60 ปี จำนวน 177 ราย (ร้อยละ 46) อายุมากกว่า 60 ปี จำนวน 99 ราย (ร้อยละ 25.7) การศึกษาอยู่ในระดับประถมศึกษา จำนวน 89 ราย (ร้อยละ 23.1) ระดับมัธยมศึกษา จำนวน 62 ราย (ร้อยละ 16.1) ระดับอนุปริญญา จำนวน 24 ราย (ร้อยละ 6.2) ระดับปริญญาตรี จำนวน 172 ราย (ร้อยละ 44.7) ระดับสูงกว่าปริญญาตรี จำนวน 38 ราย (ร้อยละ 9.9) อาชีพข้าราชการ จำนวน 103 ราย (ร้อยละ 26.8) พนักงาน/ลูกจ้าง จำนวน 130 ราย (ร้อยละ 33.8) เจ้าของกิจการ/ค้าขาย จำนวน 34 ราย (ร้อยละ 8.8) เกษตรกร จำนวน 74 ราย (ร้อยละ 19.2) นักเรียน/นักศึกษา จำนวน 35 ราย (ร้อยละ 9.1) ไม่ได้ทำงาน จำนวน 9 ราย (ร้อยละ 2.3) สิทธิการรักษา ชำระเงินเอง จำนวน 35 ราย (ร้อยละ 9.1) ข้าราชการ/รัฐวิสาหกิจ จำนวน 149 ราย (ร้อยละ 38.7) บัตรทอง จำนวน 165 ราย (ร้อยละ 42.9) ประกันสังคม จำนวน 36 ราย (ร้อยละ 9.4) ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลทั่วไป ของกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ เพศ อายุ การศึกษา อาชีพ และสิทธิการรักษา

ข้อมูลทั่วไป	จำนวน (n=385)	ร้อยละ
เพศ		
ชาย	208	54.0
หญิง	177	46.0
อายุ (ปี)		
18 – 40	109	28.3
41 – 60	177	46.0
มากกว่า 60	99	25.7
ระดับการศึกษา		
ประถมศึกษา	89	23.1
มัธยมศึกษา	62	16.1
อนุปริญญา	24	6.2
ปริญญาตรี	172	44.7
สูงกว่าปริญญาตรี	38	9.9
อาชีพ		
ข้าราชการ	103	26.8
พนักงาน/ลูกจ้าง	130	33.8
เจ้าของกิจการ/ค้าขาย	34	8.8
เกษตรกร	74	19.2
นักเรียน/นักศึกษา	35	9.1
ไม่ได้ทำงาน	9	2.3
สิทธิการรักษา		
ชำระเงินเอง	35	9.1
ข้าราชการ/รัฐวิสาหกิจ	149	38.7
บัตรทอง	165	42.8
ประกันสังคม	36	9.4

2. ระดับความคิดเห็น ผลคะแนนเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรด้านคุณภาพการบริการ ประกอบด้วย 1.) ด้านพฤติกรรมบริการ 2.) ด้านการให้บริการ และ 3.) ด้านการให้ข้อมูล พบว่า คะแนนเฉลี่ยในภาพรวมของตัวแปรด้านคุณภาพการบริการ ผู้รับบริการมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด โดยตัวแปรที่มีคะแนนเฉลี่ยมากที่สุด ได้แก่ ด้านพฤติกรรมบริการ ($\bar{X} = 4.92$, S.D. = 0.24) และด้านการให้ข้อมูล $\bar{X} = 4.92$, S.D. = 0.23) ตัวแปรที่มีคะแนนเฉลี่ยน้อยที่สุด ได้แก่ ด้านการให้บริการข้อมูล ($\bar{X} = 4.91$, S.D. = 0.26) แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ระดับความคิดเห็น คะแนนเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรด้านคุณภาพการบริการ

คุณภาพการบริการ	ความพึงพอใจ (คะแนนเต็ม 5 คะแนน)	
	$\bar{X}$	S.D.
1. ด้านพฤติกรรมบริการ		
1.1 ทีมพยาบาลให้การบริการโดยปฏิบัติด้วยความเสมอภาคและเต็มใจช่วยเหลือผู้เข้ารับบริการ	4.94	0.25
1.2 ทีมพยาบาลมีกิจกรรมรยาทและตอบสนองต่อท่านอย่างเหมาะสม	4.92	0.26
1.3 ทีมพยาบาลแต่งกายสุภาพ เรียบร้อย เหมาะสมกับวิชาชีพและสถานที่	4.93	0.25
1.4 ความรวดเร็วในการให้ความช่วยเหลือเมื่อท่านขอความช่วยเหลือ	4.89	0.31
1.5 ท่านรู้สึกปลอดภัยในบริการที่ได้รับและมีทัศนคติที่ดีต่อการบริการที่ได้รับ	4.91	0.28
ค่าเฉลี่ยด้านพฤติกรรมบริการ	4.92	0.24
2. ด้านการให้บริการ		
2.1 ความเอาใจใส่ของพยาบาลต่อการดูแลท่าน	4.93	0.26
2.2 พยาบาลให้การพยาบาลอย่างครอบคลุมทั้งด้านร่างกายและจิตใจ	4.91	0.28
2.3 พยาบาลตอบสนองความต้องการของท่านได้ดีเพียงใด	4.89	0.31
2.4 พยาบาลมีความเชี่ยวชาญในการดูแลท่านเพียงใด	4.91	0.29
2.5 ความพึงพอใจต่อการที่ท่านได้มีส่วนร่วมกับการรักษาทางการพยาบาล	4.91	0.28
2.6 ทีมพยาบาลดูแลช่วยเหลือ ในสิ่งที่ท่านไม่สามารถทำได้ด้วยตนเอง	4.92	0.29

ตารางที่ 2 ระดับความคิดเห็น คะแนนเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรด้านคุณภาพการบริการ (ต่อ)

คุณภาพการบริการ	ความพึงพอใจ (คะแนนเต็ม 5 คะแนน)	
	$\bar{X}$	S.D.
2.7 ทีมพยาบาลมีกระบวนการเก็บรักษาข้อมูลของผู้รับบริการอย่างเหมาะสม	4.90	0.31
ค่าเฉลี่ยด้านการให้บริการ	4.91	0.26
3. ด้านการให้ข้อมูล		
3.1 การสื่อสารระหว่างท่านกับพยาบาลเกี่ยวกับข้อมูลการพยาบาลในแต่ละครั้ง	4.91	0.28
3.2 พยาบาลเต็มใจในการตอบคำถามและให้ข้อมูลแก่ท่าน	4.94	0.25
3.3 พยาบาลสามารถอธิบายเกี่ยวกับแผนการพยาบาลได้อย่างครอบคลุมครบถ้วน และเข้าใจง่าย	4.93	0.26
3.4 พยาบาลให้ข้อมูลเรื่องการดูแลสุขภาพก่อนกลับบ้าน	4.92	0.29
3.5 ท่านได้รับคำแนะนำเกี่ยวกับสถานที่ การปฏิบัติตน ขั้นตอนการบริการ	4.91	0.28
ค่าเฉลี่ยด้านการให้ข้อมูล	4.92	0.23

จากผลการวิจัยพบว่า คุณภาพการบริการ ด้านพฤติกรรมบริการ เมื่อพิจารณารายข้อข้อที่ได้รับคะแนนสูงสุด คือ ทีมพยาบาลให้บริการโดยปฏิบัติด้วยความเสมอภาคและเต็มใจช่วยเหลือผู้เข้ารับบริการ (ข้อ 1.1) โดยมีค่าเฉลี่ยสูงถึง 4.94 (S.D. = 0.25) รองลงมาคือ ทีมพยาบาลแต่งกายสุภาพ เรียบร้อย เหมาะสมกับวิชาชีพและสถานที่ (ข้อ 1.3) โดยมีค่าเฉลี่ยสูงถึง 4.93 (S.D. = 0.25) ส่วนด้านการให้บริการ ข้อที่ได้รับคะแนนสูงสุดคือ ความเอาใจใส่ของพยาบาลต่อการดูแลท่าน (ข้อ 2.1) ได้คะแนนสูงสุดที่ 4.93 (S.D. = 0.26) ขณะที่ความพึงพอใจต่อการมีส่วนร่วมของทีมการรักษา (ข้อ 2.5) มีค่าเฉลี่ยรองลงมา 4.91 (S.D. = 0.28) และด้านการให้ข้อมูล ข้อที่ได้รับคะแนนสูงสุดคือ พยาบาลเต็มใจในการตอบคำถามและให้ข้อมูล (ข้อ 3.2) มีค่าเฉลี่ย 4.94 (S.D. = 0.25) รองลงมาคือ ความสามารถในการอธิบายแผนการพยาบาลได้อย่างครอบคลุมและเข้าใจง่าย (ข้อ 3.3) มีค่าเฉลี่ย 4.93 (S.D. = 0.26)

3. ระดับความคิดเห็น คะแนนความพึงพอใจด้านอื่นๆ และความภักดี พบว่า คะแนนความภักดี การกลับมาใช้บริการซ้ำมีคะแนนเฉลี่ยสูงสุด ($\bar{X}$ = 9.68, S.D. = 0.78) การแนะนำญาติ

หรือคนรู้จักให้มาใช้บริการโรงพยาบาล (การแนะนำบอกต่อ) ($\bar{X} = 9.66$, S.D. = 0.88) คะแนนโดยรวมของโรงพยาบาลมีคะแนนเฉลี่ยอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 9.51$, S.D. = 1.19) ตามลำดับ และตัวแปรที่มีคะแนนน้อยที่สุด ได้แก่ ด้านสิ่งแวดล้อม ความสะอาดของสถานที่ ($\bar{X} = 7.72$, S.D. = 2.47) แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ระดับความคิดเห็น คะแนนพึงพอใจด้านอื่น ๆ และความภักดีพบว่าคะแนนความภักดีการกลับมาใช้บริการซ้ำ

ประเด็นด้านอื่น ๆ และความภักดี	ความพึงพอใจ (คะแนนเต็ม 10 คะแนน)	
	$\bar{X}$	S.D.
1. ด้านสิ่งแวดล้อม ความสะอาดของสถานที่	7.72	2.47
2. คะแนนโดยรวมของโรงพยาบาล	9.51	1.19
3. ความภักดี		
3.1 การกลับมาใช้บริการซ้ำ	9.68	0.78
3.2 การแนะนำญาติหรือคนรู้จักให้มาใช้บริการโรงพยาบาล (การแนะนำบอกต่อ)	9.66	0.88

4. ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพ ความพึงพอใจ ความสะอาดของสถานที่ คะแนนโดยรวมของโรงพยาบาล และความภักดี พบว่า ความสัมพันธ์ภายในกลุ่มตัวแปรหลัก กลุ่มตัวแปรด้านการกลับมาใช้บริการซ้ำ การแนะนำบอกต่อ คะแนนโดยรวมของโรงพยาบาล ด้านสิ่งแวดล้อม ความสะอาดของสถานที่ มีความสัมพันธ์กันเองในทิศทางเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 โดยมีขนาดความสัมพันธ์อยู่ในระดับสูงมาก ($r = 0.798-0.909$) ซึ่งคู่ที่มีความสัมพันธ์กันสูงที่สุดคือ การกลับมาใช้บริการซ้ำ การแนะนำบอกต่อ ($r = 0.909$, $p < 0.01$) ความสัมพันธ์ภายในกลุ่มตัวแปรพฤติกรรมและข้อมูล มีความสัมพันธ์กันในทิศทางเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 โดยมีขนาดความสัมพันธ์อยู่ในระดับปานกลางค่อนข้างสูง ($r = 0.633-0.767$) ความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มตัวแปร (ข้ามกลุ่ม) พบว่าปัจจัยด้านการให้บริการ และการให้ข้อมูลมีความสัมพันธ์กับความภักดีของผู้รับบริการในระดับที่ต่ำมาก โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ระหว่าง 0.098 ถึง 0.183 ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ความสัมพันธ์ ระหว่างคุณภาพ ความพึงพอใจ ความสะอาดของสถานที่ คณะณโดยรวม
ของโรงพยาบาล และความภักดี

ตัวแปร	1	2	3	4	5	6	7
1. การกลับมาใช้บริการซ้ำ	1.00						
2. การแนะนำบอกต่อ	0.909**	1.00					
3. คณะณโดยรวมของ โรงพยาบาล	0.858**	0.842**	1.00				
4. ด้านสิ่งแวดล้อม	0.798**	0.832**	0.891**	1.00			
5. พฤติกรรมบริการ	0.131**	0.103*	0.088	0.102*	1.00		
6. การให้บริการ	0.098	0.063	0.105*	0.110*	0.767**	1.00	
7. การให้ข้อมูล	0.160**	0.122*	0.181**	0.183**	0.633**	0.756**	1.00

หมายเหตุ: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

จากตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่าด้านสิ่งแวดล้อม มีความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับสูงกับการกลับมาใช้บริการซ้ำ ($r = 0.798$, $p < 0.01$) และมีความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับสูงมากกับการแนะนำบอกต่อ ($r = 0.832$, $p < 0.01$) รวมทั้งมีความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับสูงมากกับคณะณโดยรวมของโรงพยาบาล ($r = 0.891$, $p < 0.01$) สะท้อนให้เห็นว่าการมีสภาพแวดล้อมที่ดี สะอาด และเหมาะสมมีส่วนสัมพันธ์กับการรับรู้คุณภาพโดยรวมและความภักดีของผู้รับบริการอย่างชัดเจน ซึ่งโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนเรศวรได้ให้ความสำคัญกับการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานความสะอาดของโรงพยาบาล โดยมีการจัดสรรงบประมาณเพื่อปรับปรุงอาคารสถานที่จัดหาอุปกรณ์ และพัฒนาสภาพแวดล้อมให้มีความสะอาด และเหมาะสม ซึ่งสอดคล้องกับการวิจัยที่ผ่านมาโดย Divya, Savita, & Kaur (2025) พบว่า มิติด้านความเป็นรูปธรรมเป็นหนึ่งในปัจจัยหลักที่ผู้ป่วยใช้ในการประเมินคุณภาพบริการโรงพยาบาลในอินเดีย และมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความพึงพอใจและความภักดีของผู้ใช้บริการ โดยจากการศึกษาของสิริพร เฟ่งที และสุมาลี รามนัญ (2567) พบว่า ความพึงพอใจที่เป็นปัจจัยคั่นกลางที่เชื่อมโยงระหว่างคุณภาพการให้บริการสู่ความภักดีของผู้รับบริการ และความพึงพอใจด้านการบริการมีอิทธิพลเชิงบวกต่อความภักดีของผู้รับบริการ (ระพีพันธ์ เผ่าชูพงษ์ศิริ แจ่มเศษ และศุภณัฐ เสืออินโท, 2568) และความพึงพอใจของผู้รับบริการสามารถยกระดับความภักดีของลูกค้า ทำให้มีแนวโน้มที่จะเป็นผู้รับบริการอย่างต่อเนื่องต่อไปในอนาคต (ศุภชาติ ฉายศิริ, เบญจวรรณ ถีเจริญ, และเตือนใจ แสงทอง, 2566)

สรุปผล

ความพึงพอใจด้านพฤติกรรมบริการ ด้านการให้ข้อมูล ความสะอาดของสถานที่ และคะแนนโดยรวมของโรงพยาบาล และการแนะนำบอกต่อสัมพันธ์กับการกลับมาใช้บริการซ้ำ ผลจากการวิจัยวิจัยแสดงถึงการบอกต่อ มีความสัมพันธ์กับความภักดีของผู้รับบริการในระดับสูงมาก สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ที่พบว่า ตัวแปรในกลุ่มความภักดี มีความสัมพันธ์กันเองในระดับสูงมาก ($r = 0.909$) ซึ่งชี้ให้เห็นว่าผู้รับบริการที่ตั้งใจจะกลับมาใช้บริการซ้ำ มีแนวโน้มสูงมากที่จะแนะนำหรือบอกต่อแก่ผู้อื่นด้วย เพื่อเพิ่มความภักดีของผู้รับบริการและกระตุ้นให้เกิดการบอกต่อ โรงพยาบาลควรให้ความสำคัญกับปัจจัยที่ส่งผลต่อประสบการณ์ของผู้รับบริการ การรักษามาตรฐานด้านบริการและการให้ข้อมูล รวมถึงการรักษาความสะอาดของสถานที่ ความสะอาดและสภาพแวดล้อม ไม่ได้เป็นเพียงปัจจัยเสริมแต่เป็นปัจจัยหลักที่มีความสัมพันธ์กับการรับรู้คุณภาพการบริการ โดยพบว่า มีความสัมพันธ์ในระดับสูงมากกับการตัดสินใจกลับมาใช้บริการซ้ำ สะท้อนว่าสภาพแวดล้อมทางกายภาพที่สะอาดและปลอดภัยมีผลต่อความเชื่อมั่นของผู้รับบริการ อย่างไรก็ตาม แม้การให้ข้อมูลและการบริการจะมีความสัมพันธ์กับความภักดี แต่เมื่อเทียบกับปัจจัยด้านพฤติกรรมและสภาพแวดล้อมแล้ว พบว่ามีขนาดความสัมพันธ์ที่น้อยกว่า แสดงให้เห็นว่าผู้รับบริการให้ความสำคัญกับผลลัพธ์ของพฤติกรรมบริการ และมาตรฐานสถานที่มากกว่าเพียงแค่การได้รับข้อมูลเพียงอย่างเดียว

จากผลวิจัยการให้ข้อมูลบริการ หรือการให้บริการนั้นไม่ใช่ปัจจัยหลักที่ส่งผลให้ผู้รับบริการอยากกลับมาใช้บริการซ้ำหรือบอกต่อ เมื่อเทียบกับปัจจัยด้านพฤติกรรมบริการของบุคลากรและความสะอาดของสถานที่ที่มีอิทธิพลสูงกว่า เนื่องจากปัจจัยเหล่านี้ล้วนมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับการตัดสินใจของผู้รับบริการที่มาใช้บริการในโรงพยาบาล ดังนั้น โรงพยาบาลควรรักษาระดับและพัฒนาต่อเนื่อง ในด้านคุณภาพการบริการ ซึ่งมีอิทธิพลต่อความพึงพอใจ ความพึงพอใจมีอิทธิพลต่อความภักดีของผู้รับบริการ เพื่อเพิ่มความภักดีของผู้รับบริการและกระตุ้นให้เกิดการบอกต่อโรงพยาบาล ควรให้ความสำคัญกับปัจจัยที่ส่งผลต่อประสบการณ์ของผู้รับบริการ การรักษามาตรฐานด้านบริการและการให้ข้อมูล รวมถึงการรักษาความสะอาดของสถานที่และสภาพแวดล้อม

ข้อเสนอแนะ

1. ผู้บริหารโรงพยาบาลสามารถนำรูปแบบความสัมพันธ์ของความพึงพอใจกับความภักดีในวิจัยครั้งนี้มาพัฒนาปรับปรุงการให้บริการให้ดียิ่งขึ้น มีการจัดอบรมพฤติกรรมบริการให้พนักงานมีความรู้ความสามารถและให้บริการอย่างมีคุณภาพ เนื่องจากพฤติกรรมบริการมีความสัมพันธ์สูง

กับความภาคภูมิใจ โรงพยาบาลควรพัฒนาทักษะการสื่อสารและการบริการด้วยหัวใจ (service mind) ให้กับบุคลากรด้านหน้า โดยเน้นความเห็นอกเห็นใจ (empathy) มีการมอบรางวัลให้กับแผนกหรือบุคคลที่ได้รับคะแนนความพึงพอใจด้านพฤติกรรมบริการสูง เพื่อรักษามาตรฐานและสร้างขวัญกำลังใจ มีการจัดสรรทรัพยากรทางการแพทย์ได้อย่างเหมาะสมกับศักยภาพที่แท้จริงของโรงพยาบาล และสามารถขยายฐานการบริการสุขภาพให้ครอบคลุมผู้ป่วยทั้งในประเทศและผู้ป่วยต่างประเทศ

2. นโยบายด้านกายภาพและสิ่งแวดล้อม เนื่องจากสภาพแวดล้อมเป็นปัจจัยที่ดึงดูดการกลับมาซ้ำได้ดีที่สุดกลุ่มหนึ่ง โรงพยาบาลควรยกระดับความสะอาดของสถานที่ให้เป็นระดับโรงแรม และปรับปรุงพื้นที่รอคอยให้ผ่อนคลาย ลดความรู้สึกตึงเครียดของโรงพยาบาล เช่น การใช้แสงสว่างที่เหมาะสมหรือพื้นที่สีเขียว

3. โรงพยาบาลและกระทรวงสาธารณสุข สามารถนำผลการวิจัยมาพัฒนารูปแบบการบริการสุขภาพที่มีผลต่อความพึงพอใจของผู้ป่วยและสร้างรายได้เปรียบทางการแข่งขันกับโรงพยาบาลในต่างประเทศได้

4. ข้อเสนอแนะเพื่อการศึกษาวิจัยในครั้งต่อไป ควรใช้วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลแบบผสมผสาน โดยการสัมภาษณ์เชิงลึกควบคู่กับการสำรวจด้วยแบบสอบถาม เพื่อให้ได้ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับความต้องการ ความคาดหวัง และประสบการณ์ที่แท้จริงของผู้รับบริการ อันจะช่วยให้การอธิบายปัจจัยที่ส่งผลต่อความพึงพอใจและความจงรักภักดีของผู้ใช้บริการมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และควรศึกษาความสัมพันธ์เชิงสาเหตุระหว่างคุณภาพการบริการ ความพึงพอใจ และความจงรักภักดีของผู้ใช้บริการ และควรขยายขอบเขตการศึกษาไปยังโรงพยาบาลอื่นทั้งในระดับเดียวกันและต่างระดับ เพื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาและตรวจสอบความสอดคล้องของปัจจัยที่ส่งผลต่อความพึงพอใจและความจงรักภักดีของผู้ใช้บริการในบริบทที่แตกต่างกัน ซึ่งจะช่วยเพิ่มความสามารถในการอ้างอิงผลการวิจัยในวงกว้างมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีเนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชาวนี ล่องชุมผล ในการให้คำปรึกษาการดำเนินงานวิจัย รวมทั้งคณะกรรมการและอนุกรรมการ ความพึงพอใจโรงพยาบาลมหาลัยนเรศวรในการเก็บรวบรวมข้อมูล

เอกสารอ้างอิง

- กลุ่มข้อมูลและสารสนเทศสุขภาพ สำนักงานปลัดกระทรวงสาธารณสุข. (2567). **ข้อมูลโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนครสวรรค์**. ค้นเมื่อ 7 มกราคม 2569, จาก <http://gishealth.moph.go.th/healthmap/infoservice.php?maincode=14972>.
- ญาณิศา ยานะธรรม. (2566). แบบจำลองความสัมพันธ์เชิงสาเหตุของความภักดีในแบรนด์โรงพยาบาลเอกชน ที่จดทะเบียนในตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทย. **วารสารชุมชนวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา**, 17(3), 15-27. ค้นเมื่อ 8 มกราคม 2569 จาก <https://so04.tci-thaijo.org/index.php/NRRU/article/view/266765>.
- ภาคภูมิ พิสุทธิวงษ์ ญาณกร วรากุลรักษ์ และชเนตตี พิพัฒนางูร. (2566). คุณภาพการบริการและความพึงพอใจที่สัมพันธ์กับความภักดีของการใช้บริการโรงพยาบาลเอกชนของชาวจีนที่อาศัยอยู่ในจังหวัดเชียงใหม่ช่วงโควิด-19. **Procedia of Multidisciplinary Research**, 1(5), ค้นเมื่อ 5 เมษายน 2569, จาก <https://so09.tci-thaijo.org/index.php/PMR/article/view/2292>.
- ระพีพันธ์ เผ่าชู พงษ์ศิริ แจ้เศษ และศุภณัฐ เสืออินโท. (2568). อิทธิพลของความพึงพอใจในการบริการต่อความภักดีของผู้ใช้บริการโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล: กรณีศึกษาองค์กรบริหารส่วนจังหวัดสุราษฎร์ธานี. **วารสารสังคมศาสตร์และวัฒนธรรม**, 9(12), 357–375. ค้นเมื่อ 4 มกราคม 2569, จาก <https://so06.tci-thaijo.org/index.php/JSC/article/view/290299>.
- วรธา มงคลสืบสกุล. (2565). การเข้าถึงบริการทางสาธารณสุขของไทย: ภาพสะท้อนและความเหลื่อมล้ำของกลุ่มเปราะบางทางสังคม. **วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์**, 6(1), 55-69. ค้นเมื่อ 7 มกราคม 2569, จาก <https://so05.tci-thaijo.org/index.php/saujournalssh/article/view/257255/174079>.
- ศุภชาติ ฉายศิริ เบญจวรรณ ลีเจริญ และเตือนใจ แสงทอง. (2566). ปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างความภักดีของลูกค้าโรงพยาบาลเอกชนในประเทศไทย. **วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยรัตนบัณฑิต**, 18(2), 101–114. ค้นเมื่อ 4 มกราคม 2569 จาก <https://so03.tci-thaijo.org/index.php/rbac/article/view/268704>.
- สิริพร เพ็งที และสุมาลี รามัญ. (2567). ความพึงพอใจในฐานะตัวแปรคั่นกลางที่เชื่อมโยงระหว่างคุณภาพการให้บริการ สู่ความภักดีของลูกค้าโรงพยาบาลสัตว์แห่งหนึ่งในเทศบาลรังสิตจังหวัดปทุมธานี. **วารสารบริหารธุรกิจอุตสาหกรรม**, 6(1), 19–34. ค้นเมื่อ 4 มกราคม 2569, จาก <https://so03.tci-thaijo.org/index.php/iba/article/view/273483>.

- Carranza, R., Díaz, E., & Martín-Consuegra Navarro, D. (2018). The influence of quality On satisfaction and customer loyalty with an importance-performance map analysis: Exploring the mediating role of trust. **Journal of Hospitality and Tourism Technology**, 9(3), 380-396. Retrieved January 4, 2026, from <https://doi.org/10.1108/jhtt-09-2017-0104>.
- Cochran, W. G. (1977). **Sampling Techniques**. (3rd ed.). New York: John Wiley & Sons.
- Divya, D., Savita, S., & Kaur, S. (2025). Unveiling excellence in Indian healthcare: A patient-centric PRISMA analysis of hospital service quality, patient satisfaction and loyalty. **International Journal of Pharmaceutical and Healthcare Marketing**, 19. Retrieved January 4, 2026, from <https://doi.org/10.1108/IJPHM-05-2024-0043>.
- Parasuraman, A., Zeithaml, V. A., & Berry, L. L. (2004). **Service Quality**. Marketing Science Institute. Retrieved January 4, 2026, from <https://www.sciepub.com/reference/88520>.

การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน FITBUDDY สำหรับการออกกำลังกายและรับชมวิดีโอการฝึก

พัชรพร อ่อนหนองหว่า¹ วรรณพร จิตรสังวรณ² เอกรัตน์ สุขะสุนธร³ และณัฐคมณ์ ไพศาลวิสัยศ^{4*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ (1) เพื่อพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน FITBUDDY (2) เพื่อวิเคราะห์และออกแบบระบบ FITBUDDY และ (3) เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบ FITBUDDY สำหรับการออกกำลังกายและรับชมวิดีโอการฝึกออนไลน์ โดยมุ่งเน้นการจัดการเนื้อหา การให้ผู้ใช้เข้าถึงวิดีโอการฝึกและการสนับสนุนการวางแผนการออกกำลังกาย ระบบพัฒนาด้วย Next.js เพื่อรองรับการเรนเดอร์แบบ SSR/SSG และใช้ MySQL เป็นฐานข้อมูลหลัก พร้อมเสริมความปลอดภัยด้วย JWT สำหรับการยืนยันตัวตน และ Bcryptjs สำหรับการเข้ารหัสผ่าน รวมถึงใช้ Formidable สำหรับอัปโหลดวิดีโอและชุดไอคอนในการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้ การพัฒนาอ้างอิงขั้นตอนการวิเคราะห์ความต้องการ การออกแบบสถาปัตยกรรมแบบ 3-Tier การจัดทำ Entity-Relationship Diagram และ Use Case Diagram ครอบคลุมบทบาทผู้ดูแลระบบโค้ชและผู้ใช้งานทั่วไป ผลการพัฒนาพบว่าระบบสามารถทำงานตรงตามความต้องการ โดยมีระดับความพึงพอใจ ดังนี้ ด้านความถูกต้องของการทำงานของระบบ (4.62 ± 0.48) ด้านความสะดวกในการใช้งานระบบ (4.48 ± 0.61) ด้านความสวยงามของส่วนติดต่อผู้ใช้ (4.75 ± 0.45) ด้านความเร็วในการโหลดหน้าเว็บ (4.53 ± 0.55) ด้านความปลอดภัยของข้อมูลผู้ใช้ (4.65 ± 0.50) และด้านความพึงพอใจโดยรวมต่อระบบ (4.59 ± 0.52) ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ใน 6 ด้าน อยู่ในระดับมากที่สุด (4.60 ± 0.52) โดยเฉพาะด้านความถูกต้อง ความสวยงามของส่วนติดต่อผู้ใช้ และความปลอดภัยของข้อมูล ระบบจึงมีความเหมาะสมต่อการใช้งานจริง สำหรับการพัฒนาในอนาคตอาจเพิ่มระบบแนะนำวิดีโอ การแจ้งเตือน การวิเคราะห์สถิติ และการพัฒนาเวอร์ชันมือถือเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: ออกกำลังกาย วิดีโอการฝึก เว็บแอปพลิเคชัน Next.js MySQL

^{1,3} สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

^{2,4} สาขาวิชาเทคโนโลยีดิจิทัล คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

* ผู้ประสานงานหลัก e-mail: Nattakom.p@dru.ac.th

วันที่รับบทความ 4 มีนาคม 2569

วันที่แก้ไขบทความ 12 มิถุนายน 2569

วันที่ตอบรับบทความ 19 มิถุนายน 2569

Development of the FITBUDDY Web Application for Fitness Training and Video-Based Workout Streaming

Phatcharaphon Oonnonghwa¹ Wannaporn Jitsangworn² Eakrat Sukasukon³
and Nattakom Phaisanwatsayos^{4*}

ABSTRACT

This research aimed to (1) develop the FITBUDDY web application, (2) analyze and design the FITBUDDY system, and (3) evaluate user satisfaction with the system for exercising and viewing online training videos. The platform focused on content management, providing users with access to training videos, and supporting exercise planning. The system was developed using Next.js to support SSR/SSG rendering and utilizes MySQL as the primary database. Security was enhanced using JWT for authentication and Bcryptjs for password encryption. Formidable was used for video uploads, and a custom icon set was incorporated into the UI design. System development followed a structured requirements analysis process using a 3-Tier architecture, Entity-Relationship Diagrams, and Use Case Diagrams, covering three user roles: administrator, coach, and general user. The development results indicated that the system functions in accordance with the specified requirements. User satisfaction ratings were as follows: system functional accuracy (4.62 ± 0.48), ease of use (4.48 ± 0.61), user interface aesthetics (4.75 ± 0.45), page loading speed (4.53 ± 0.55), and user data security (4.65 ± 0.50), leading to an overall system satisfaction (4.59 ± 0.52).

^{1,3} Computer Science, Faculty of Science and Technology, Dhonburi Rajabhat University

^{2,4} Digital Technology, Faculty of Science and Technology, Dhonburi Rajabhat University

* Corresponding author e-mail: Nattakom.p@dru.ac.th

Received: Mar 4, 2026

Revised: Jun 12, 2026

Accepted: Jun 19, 2026

User satisfaction across all six evaluation aspects reached the "highest" level (4.60 ± 0.52), with particular strength in system accuracy, user interface aesthetics, and data security. Therefore, the system was considered suitable for practical use. Future development will focus on adding video recommendation features, notifications, statistical analysis, and a mobile application version to further enhance system efficiency.

Keywords: Exercise, Training Videos, Web Application, Next.js, MySQL

บทนำ

ข้อมูลจากองค์การอนามัยโลก (World Health Organization, 2025) แสดงให้เห็นว่า ปัญหาสุขภาพของประชากรกำลังเป็นความท้าทายที่สำคัญ โดยเฉพาะกลุ่มโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (NCDs) ที่เป็นสาเหตุให้ประชากรทั่วโลกในปี 2021 ประมาณ 43 ล้านราย (ร้อยละ 75) เสียชีวิต สำหรับ ประเทศไทย พบว่าคนไทยเสียชีวิตจากกลุ่มโรค NCDs มากกว่า 1,000 รายต่อวัน หรือมากถึง 400,000 รายต่อปี (ร้อยละ 74) และในปี พ.ศ. 2562 มีการประมาณมูลค่าความสูญเสียทางเศรษฐกิจไทยสูงถึง 1.6 ล้านล้านบาท หรือคิดเป็นร้อยละ 9.7 ของผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศ (Department of Diseases Control, n.d.) การทำให้ประชากรตระหนักถึงความสำคัญของการดูแลตนเอง (self-care) จึงเป็นเครื่องมือในการจัดการสุขภาพที่ช่วยเพิ่มสมรรถนะของร่างกาย และลดความเสี่ยงของกลุ่มโรค NCDs (เกรียงพัทธ์ ดินตะสุวรรณ อธิษฐ์ สิริวิศรา และฐิติมา ให้อย่าง, 2569) ตามแผนการส่งเสริมกิจกรรมทางกาย พ.ศ. 2561-2573 จึงมุ่งเน้นนโยบายส่งเสริมการออกกำลังกายของคนไทย เพื่อลดพฤติกรรมเนือยนิ่งและป้องกันโรค NCDs (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการส่งเสริมสุขภาพ, 2561)

ในปัจจุบันการดูแลสุขภาพโดยเน้นการออกกำลังกายมีการเติบโตอย่างต่อเนื่อง งานวิจัยของ อาทิตย์ เข้มทอง และชาญชัย แสงอ่อน (2565) แสดงให้เห็นว่าการออกกำลังกายมีความสำคัญต่อสุขภาพของผู้สูงอายุ โดยเฉพาะการออกกำลังกายแบบแอโรบิก และงานวิจัยของ วันเฉลิม พรหมสร และคณะ (2564) พบว่า กลุ่มทดลองทำแบบประเมิน MoCa-Test หลังจากใช้แอปพลิเคชันออกกำลังกายมีผลลัพธ์ทางสมองที่พัฒนาขึ้น นอกจากนี้การใช้เทคโนโลยีดิจิทัลเข้ามาช่วยทำให้การออกกำลังกายมีความสมบูรณ์และแตกต่างกัน โดยมีทั้งแอปพลิเคชันและอุปกรณ์อัจฉริยะให้เลือกอย่างแพร่หลาย เช่น การนำเสนอวิธีการออกกำลังกายอย่างถูกต้องผ่านวิดีโอการออกกำลังกาย แพลตฟอร์มสตรีมมิ่ง และฟังก์ชันการแชร์ข้อมูลบนโซเชียลมีเดีย (มูลนิธิหัวใจแห่งประเทศไทย

ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2568) และยังสอดคล้องกับแนวคิดด้านเทคโนโลยีสุขภาพดิจิทัล (digital health) ของปพิษฐา รอดแผ้วพาล (2565) ได้ทำงานวิจัยเรื่องการศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันการออกกำลังกายด้วยแอนิเมชัน พบว่า ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจในฟังก์ชันต่าง ๆ ของเว็บแอปพลิเคชันในระดับดีมากถึงดีที่สุดในที่สุด

อย่างไรก็ตาม จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า ผู้ใช้งานแอปพลิเคชันด้านสุขภาพยังคงเผชิญข้อจำกัดหลายประการ เช่น ความยากในการค้นหาเนื้อหาที่เหมาะสมกับระดับของตนเอง การขาดระบบติดตามความก้าวหน้าอย่างต่อเนื่อง และการขาดแรงจูงใจในการใช้งานในระยะยาว (Physiopedia, 2025) งานวิจัยของ Alam et al. (2020) พบว่า ปัจจัยด้านความง่ายในการใช้งาน (ease of use) ความคาดหวังในประสิทธิภาพ (performance expectancy) และความไว้วางใจ (trust) มีผลต่อการยอมรับและใช้งานแอปพลิเคชันสุขภาพอย่างมีนัยสำคัญ แนวคิดทฤษฎีการยอมรับและการใช้เทคโนโลยี (Unified Theory of Acceptance and Use of Technology: UTAUT) อธิบายว่า การที่ผู้ใช้จะยอมรับเทคโนโลยีได้นั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญ ได้แก่ ความคาดหวังด้านประสิทธิภาพ ความง่ายในการใช้งาน อิทธิพลทางสังคม และเงื่อนไขสนับสนุน (Blut et al., 2022)

เว็บแอปพลิเคชันเป็นโปรแกรมประยุกต์ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นให้มีการจัดเก็บข้อมูลบนเครื่องเซิร์ฟเวอร์ระยะไกล โดยผู้ใช้งานสามารถเข้าใช้งานผ่านเว็บเบราว์เซอร์ได้ทั้งบนทุกอุปกรณ์ (desktop, smartphone) ทำให้ไม่ต้องติดตั้งโปรแกรมลงเครื่อง Next.js เป็น React Framework สำหรับการพัฒนาเว็บไซต์แบบ Full Stack ซึ่งมาพร้อมกับฟีเจอร์สำเร็จรูป เช่น Server-Side Rendering (SSR), Static Site Generation (SSG) ทำให้สามารถโหลดหน้าเว็บได้อย่างรวดเร็ว และ File-Based Routing ที่ช่วยให้จัดการเว็บแอปพลิเคชันขนาดใหญ่ได้ง่าย (Dakowicz, 2025; Vercel, 2024) งานวิจัยของกรณิการ์ กมลรัตน์ และอัครพล พิกุลศรี (2568) เรื่อง การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันด้วย Next.js โดยใช้สถาปัตยกรรม 3-Tier พบว่า ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจในระดับดี (4.49 ± 0.72) และงานวิจัยของ อติเทพ สุภาพักตร์ และคณะ (2566) พัฒนาเว็บแอปพลิเคชันด้วย React Framework พบว่า ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจในระดับมาก (4.21 ± 0.09) MySQL เป็นระบบจัดการฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ (Relational Database Management System: RDBMS) ที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีความเสถียร เร็ว และรองรับการประมวลผลข้อมูลขนาดใหญ่ (Oracle Corporation, 2024)

จากปัญหาและความก้าวหน้าของเทคโนโลยีที่ช่วยในการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน ผู้วิจัยมีแนวคิดในการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน FITBUDDY สำหรับการออกกำลังกายและรับชมวิดีโอการฝึกเพื่อเป็นแพลตฟอร์มกลางสำหรับการออกกำลังกาย โดยมุ่งเน้นให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงวิดีโอการฝึกวางแผนการออกกำลังกาย และติดตามความก้าวหน้าในการออกกำลังกายของตนเองได้อย่างเป็นระบบภายในแพลตฟอร์มเดียว รวมถึงสนับสนุนการจัดการเนื้อหาสำหรับผู้ดูแลระบบและโค้ชเพื่อให้สามารถนำเสนอเนื้อหาที่เหมาะสมและมีคุณภาพแก่ผู้ใช้งาน มีวัตถุประสงค์ (1) เพื่อพัฒนา

เว็บแอปพลิเคชัน FITBUDDY (2) เพื่อวิเคราะห์และออกแบบเว็บแอปพลิเคชัน FITBUDDY และ (3) เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานเว็บแอปพลิเคชัน FITBUDDY

ผู้วิจัยเลือกใช้ Next.js V.15.5.6 เป็นเทคโนโลยีหลักสำหรับส่วน Frontend เพื่อให้ระบบสามารถรองรับรูปแบบเว็บแอปพลิเคชันเชิงโต้ตอบแบบ Single Page Application (SPA) และมีความเร็วในการแสดงผลที่ดีเลือกใช้ JSON Web Token (JWT) (JWT Debugger, 2025) เป็นมาตรฐานการยืนยันตัวตนแบบ Stateless Authentication ที่ช่วยลดภาระของเซิร์ฟเวอร์ในการจัดการ session โดยโทเคน JWT ประกอบด้วยสามส่วน ได้แก่ Header Payload และ Signature ซึ่งมีการเข้ารหัสเพื่อป้องกันการปลอมแปลง ในงานวิจัยนี้ JWT ถูกนำมาใช้ในกระบวนการ authentication และ authorization สำหรับการแยกบทบาทผู้ดูแลระบบและผู้ใช้งานทั่วไป โดยมีไลบรารีที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ JSON Web Token (V. 9.0.2) และ Jose (V. 6.1.0) นอกจากนี้ MySQL (V.3.15.2) (Oracle Corporation, 2024) ถูกใช้เป็นฐานข้อมูลหลักในการจัดเก็บข้อมูลผู้ใช้งานเว็บแอปพลิเคชัน FITBUDDY หมดหมู่ และข้อมูลสิทธิ์ต่าง ๆ โดยมีการเชื่อมต่อผ่านไลบรารี MySQL2 ซึ่งเป็น Node.js client ที่มีประสิทธิภาพสูง และรองรับ Prepared Statement และใช้ไลบรารี Bcryptjs (V. 3.0.2) ในระบบ JWT สำหรับการเข้ารหัสผ่านซึ่งออกแบบมาเพื่อป้องกันการถูกโจมตีแบบ Dictionary Attack และ Brute Force ผ่านกลไกการทำ Hash แบบมี Salt สำหรับระบบเว็บแอปพลิเคชัน FITBUDDY ที่พัฒนา เพื่อแปลงรหัสผ่านทั้งหมดก่อนจัดเก็บในฐานข้อมูล ช่วยลดความเสี่ยงด้านความปลอดภัยในกรณีฐานข้อมูลรั่วไหล รวมถึงไลบรารี Formidable ถูกนำมาใช้สำหรับจัดการข้อมูลแบบ multipart/form-data ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในระบบ Node.js โดยเฉพาะงานที่เกี่ยวกับการอัปโหลดไฟล์ เช่น ไฟล์เสียง ไฟล์ภาพ หรือเอกสาร ถูกใช้สำหรับรองรับการอัปโหลดไฟล์เสียงโดยผู้ดูแลระบบ (admin) ซึ่งช่วยให้ระบบสามารถจัดเก็บไฟล์เสียงได้อย่างถูกต้อง ปลอดภัย และจัดการตำแหน่งเก็บไฟล์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ ในงานวิจัยนี้ยังเลือกใช้ React Icons และ Lucide-React (Lucide, 2024) เป็นไลบรารีสำหรับการแสดงผลไอคอนในเว็บแอปพลิเคชันที่พัฒนาด้วย React Framework ที่มีจุดเด่นด้านความหลากหลายของชุดไอคอน การรองรับการปรับแต่งขนาดและสี และการใช้งานในรูปแบบ Component ซึ่งช่วยให้การออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้ (User Interface: UI) มีความสวยงามและใช้งานง่ายขึ้น มาใช้เพื่อออกแบบองค์ประกอบต่าง ๆ ของระบบ เช่น ปุ่มควบคุมการเล่น แถบนำทาง และไอคอนแสดงสถานะต่าง ๆ เพื่อเสริมประสบการณ์ผู้ใช้งาน (User Experience: UX) ให้มีความชัดเจนและเป็นมิตรต่อผู้ใช้งานมากยิ่งขึ้น

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน FITBUDDY สำหรับการออกกำลังกายและรับชมวิดีโอ การฝึกในครั้งนี้ ได้นำแนวทางการพัฒนาระบบตามวงจรการพัฒนาระบบสารสนเทศ (System Development Life Cycle: SDLC) (เสาวนีย์ ประยูรเกรียงไกร จุฑามาส ศิริอังกูรวาณิช และ สุปราณี ห่อมา, 2567) แบ่งเป็น 5 ขั้นตอน ดังนี้

1. การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ความต้องการ โดยการศึกษาจากเอกสาร งานวิจัย ที่เกี่ยวข้องและแนวปฏิบัติของการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลวิดีโอ และการอัปโหลดไฟล์วิดีโอ เพื่อระบุความต้องการหลักของระบบ และสังเคราะห์เป็นเอกสาร ความต้องการของระบบ สามารถสรุปได้ ดังนี้

1.1 ผู้ใช้งานแอปพลิเคชันด้านสุขภาพยังคงเผชิญข้อจำกัดหลายประการ เช่น ความยาก ในการค้นหาเนื้อหาที่เหมาะสมกับระดับของตนเอง การขาดระบบติดตามความก้าวหน้าอย่างต่อเนื่อง และการขาดแรงจูงใจในการใช้งานในระยะยาว

1.2 เทคโนโลยีที่สามารถนำมาใช้ในการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันเพื่อสนับสนุนการทำงาน ด้านการจัดการข้อมูล การจัดการผู้ใช้งาน การจัดการวิดีโอ การอัปโหลดไฟล์วิดีโอ และช่วยให้ผู้ใช้งาน มีประสบการณ์ที่ดีในการใช้งาน รวมถึงมีความปลอดภัยในการใช้งาน ได้แก่ React Framework, JWT, MySQL และอื่นๆ ที่มีไลบรารีจำนวนมากที่สามารถนำมาใช้ในการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันได้ อย่างมีประสิทธิภาพ

2. การออกแบบระบบ แบ่งเป็น

2.1 กำหนดสถาปัตยกรรมระบบแบบ 3-Tier มีดังนี้

2.1.1 ชั้นการนำเสนอ (presentation layer) พัฒนาด้วย Next.js และ React Framework ทำหน้าที่เป็นส่วนที่ผู้ใช้โต้ตอบด้วย UI ทั้งสำหรับผู้ใช้งานทั่วไปและผู้ดูแลระบบ ในส่วนของระบบใช้ประโยชน์จากการเรนเดอร์ฝั่งเซิร์ฟเวอร์ (Server-Side Rendering: SSR) และการสร้าง หน้าแบบสแตติก (Static Site Generation: SSG) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านความเร็วในการโหลด หน้าเว็บและคะแนน SEO (Search Engine Optimization)

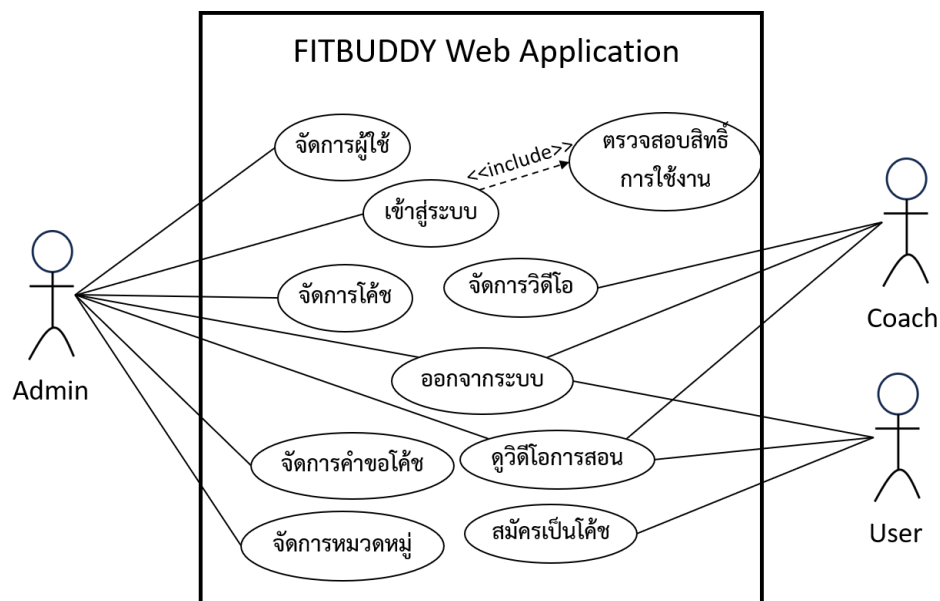
2.1.2 ชั้นตรรกะประมวลผล (logic layer) ใช้คุณสมบัติ API Routes ภายใน Next.js เพื่อทำหน้าที่เป็นเซิร์ฟเวอร์หลังบ้าน (Backend) จัดการคำขอ (request) จากผู้ใช้ตรวจสอบสิทธิ์ การเข้าถึงด้วย JSON Web Token (JWT) และประมวลผลตรรกะทั้งหมด เช่น การจัดการผู้ใช้ การอัปโหลด/จัดการไฟล์เสียง และการบันทึกข้อมูลการฝึก และใช้ไลบรารี Formidable สำหรับ การจัดการอัปโหลดไฟล์ และ Bcryptjs สำหรับการเข้ารหัสผ่าน

2.1.3 ชั้นฐานข้อมูล (database layer) ใช้ระบบจัดการฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ MySQL ในการจัดเก็บข้อมูลทั้งหมดของระบบ ประกอบด้วย ข้อมูลผู้ใช้ (ที่เข้ารหัสผ่าน) หมวดหมู่ และข้อมูลเชิงสัมพันธ์อื่น ๆ

2.2 ออกแบบฟังก์ชันการทำงานของเว็บแอปพลิเคชัน ได้แก่ การจัดการหมวดหมู่ การจัดการผู้ใช้ การจัดการโค้ช การจัดการคำขอโค้ช และการจัดการวิดีโอ

2.3 สร้างแบบจำลองเชิงตรรกะ (logic model) มีดังนี้

2.3.1 แผนภาพแสดงการทำงานของผู้ใช้ระบบ (Use Case Diagram) แสดงความสัมพันธ์ของกระบวนการทำงานของเว็บแอปพลิเคชันโดยศึกษาจากผู้ใช้งานในหมู่บ้านแห่งหนึ่งในเขตหนองแขม จังหวัดกรุงเทพมหานครที่มีระบบ Fitness เปิดให้บริการและมีเปิดให้บริการแนะนำเกี่ยวกับการดูแลสุขภาพของสมาชิกในหมู่บ้านเกี่ยวข้องกับผู้ใช้งาน 3 กลุ่ม คือ ผู้ดูแลระบบ (admin) โค้ช (coach) และผู้ใช้งาน/สมาชิก (user) ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบไว้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนภาพแสดงการทำงานของผู้ใช้ (Use Case Diagram) ของเว็บแอปพลิเคชัน FITBUDDY

2.3.2 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูล (Entity-Relationship Diagram: ERD) ผู้วิจัยทำการออกแบบโครงสร้างการทำงานของฐานข้อมูลในรูปแบบ Crow's Foot Model ของเว็บแอปพลิเคชัน FITBUDDY ประกอบด้วย 5 เอนทิตีที่สามารถแสดงความเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างเอนทิตีได้ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูล (ERD)

3. การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน โดยใช้ Next.js และ React Framework ทำหน้าที่เป็นส่วนที่ผู้ใช้โต้ตอบด้วย UI ทั้งสำหรับผู้ใช้งานทั่วไปและผู้ดูแลระบบ ใช้โปรแกรมจัดการฐานข้อมูล MySQL เว็บเซิร์ฟเวอร์ Nginx ใช้ JSON Web Token (JWT) จัดการคำขอ (requests) จากผู้ใช้ตรวจสอบสิทธิ์การเข้าถึงและใช้ไลบรารี Formidable สำหรับการจัดการอัปโหลดไฟล์ และ Bcryptjs สำหรับการเข้ารหัสที่ปลอดภัย หลังจากทำการพัฒนาเสร็จเรียบร้อยแล้ว ทำการทดสอบระบบด้วยข้อมูลทดสอบโดยผู้วิจัยทำการปรับปรุงเพื่อให้เว็บแอปพลิเคชันพร้อมใช้งาน และนำไปประเมินประสิทธิภาพของเว็บแอปพลิเคชันโดยผู้เชี่ยวชาญต่อไป

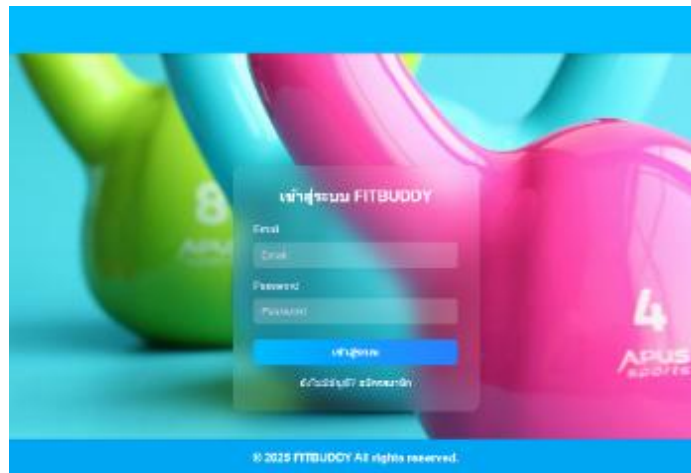
4. การประเมินประสิทธิภาพของเว็บแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นโดยผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ จำนวน 5 คน ด้วยแบบประเมินประสิทธิภาพของเว็บแอปพลิเคชัน FITBUDDY แบบประมาณค่า 5 ระดับ คือ ระดับ 5 มีประสิทธิภาพมากที่สุด ระดับ 4 มีประสิทธิภาพมาก ระดับ 3 มีประสิทธิภาพปานกลาง ระดับ 2 มีประสิทธิภาพน้อย และระดับ 1 มีประสิทธิภาพน้อยที่สุด โดยแบ่งข้อคำถามออกเป็น 4 ด้าน คือ ด้านความสามารถในการทำงานตามระบบของผู้ใช้งาน ด้านการใช้งานระบบ ด้านผลลัพธ์ที่ได้จากระบบ และด้านความปลอดภัยของระบบ ทำการหาคุณภาพของเครื่องมือด้วยค่าดัชนีความสอดคล้อง (Index of Item Objective Congruence: IOC) ตามทฤษฎีของ Rovinelli and Hambleton (1977) จากข้อคำถามจำนวนทั้งหมด 65 ข้อ โดยผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีสารสนเทศและการพัฒนาเว็บ 3 คน และผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาและการออกกกำลังกาย 2 คน รวมจำนวน 5 คน มีค่า IOC อยู่ระหว่าง 0.50-1.00 สรุปได้ว่า แบบประเมินที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นมีคุณภาพสามารถนำไปใช้ได้ ประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญเพื่อทำการประเมินประสิทธิภาพของเว็บแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้น ทำการวิเคราะห์ผลด้วยสถิติค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ทำการแปลผลการประเมินที่ได้ตามเกณฑ์มาตรฐานส่วนประมาณค่าของ Likert Scales 5 ระดับ

(เสาวนีย์ ปรัชญาเกรียงไกร จุฑามาส ศิริอังกูรวาณิช และสุปราณี ห่อมา, 2567) คือ ค่าเฉลี่ยมีค่า 4.51-5.00 มีประสิทธิภาพมากที่สุด ค่าเฉลี่ยมีค่า 3.51-4.50 มีประสิทธิภาพมาก ค่าเฉลี่ยมีค่า 2.51-3.50 มีประสิทธิภาพปานกลาง ค่าเฉลี่ยมีค่า 1.51-2.50 มีประสิทธิภาพน้อย และค่าเฉลี่ยมีค่า 1.00-1.50 มีประสิทธิภาพน้อยที่สุด ทำการปรับปรุงเพื่อให้เว็บแอปพลิเคชันมีความสมบูรณ์มากที่สุดตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ

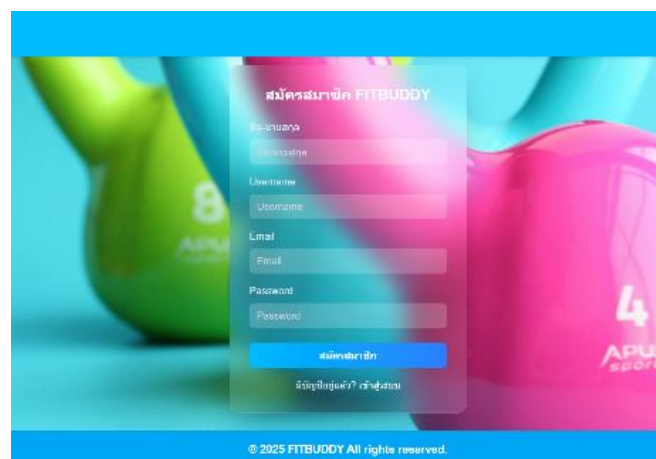
5. ทำการประเมินความพึงพอใจจากการใช้งานเว็บแอปพลิเคชันโดยผู้ใช้งาน จำนวน 35 คน แบ่งเป็นผู้ดูแลระบบ จำนวน 2 คน โค้ช จำนวน 3 คน และผู้ใช้งาน (สมาชิก) จำนวน 30 คน ซึ่งเป็นผู้ใช้งานในหมู่บ้านแห่งหนึ่งในเขตหนองแขม จังหวัดกรุงเทพมหานครที่มีระบบ Fitness เปิดให้บริการและมีเปิดให้บริการแนะนำเกี่ยวกับการดูแลสุขภาพของสมาชิกในหมู่บ้าน โดยวิธีเลือกแบบเจาะจง ด้วยแบบประเมินความพึงพอใจจากการใช้งานเว็บแอปพลิเคชัน FITBUDDY โดยผู้ใช้งาน แบ่งเป็น 6 ด้าน คือ ด้านความถูกต้องของการทำงานของระบบ ด้านความสะดวกในการใช้งานระบบ ด้านความสวยงามของส่วนติดต่อผู้ใช้ ด้านความรวดเร็วในการโหลดหน้าเว็บ ด้านความปลอดภัยของข้อมูลผู้ใช้ และด้านความพึงพอใจโดยรวมต่อระบบ แบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ ได้แก่ ระดับ 5 พึงพอใจมากที่สุด ระดับ 4 พึงพอใจมาก ระดับ 3 พึงพอใจปานกลาง ระดับ 2 พึงพอใจน้อย และระดับ 1 พึงพอใจน้อยที่สุด ทำการหาคุณภาพของเครื่องมือด้วยค่า IOC จากข้อคำถามทั้งหมด 45 ข้อ โดยผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 5 คน มีค่าอยู่ระหว่าง 0.80-1.00 สรุปได้ว่าแบบประเมินความพึงพอใจที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำการวิเคราะห์ผลด้วยสถิติค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน แปลผลการประเมินความพึงพอใจโดยผู้ใช้งานตามเกณฑ์มาตราส่วนประมาณค่าของ Likert Scales 5 ระดับ

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

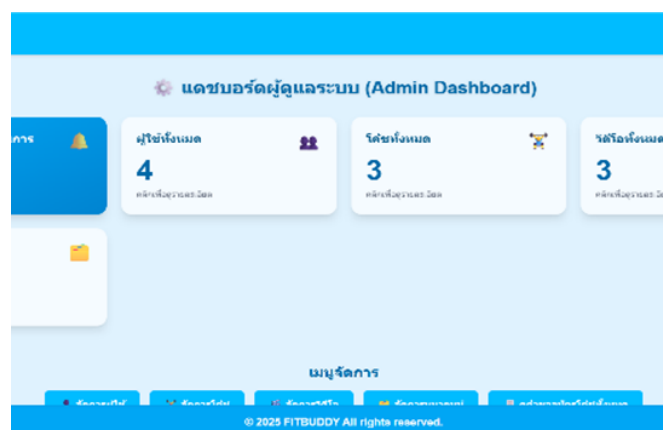
ผลการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน พบว่า เว็บแอปพลิเคชัน FITBUDDY สำหรับการออกกำลังกายและรับชมวิดีโอการฝึก ประกอบด้วยผู้ใช้งานที่เกี่ยวข้องทั้งหมด 3 กลุ่ม ได้แก่ ผู้ดูแลระบบ (admin) โค้ช (coach) และผู้ใช้งาน/สมาชิก (user) สามารถเข้าใช้งานเว็บแอปพลิเคชัน FITBUDDY ได้ดังรูปที่ 3 – รูปที่ 13 ดังนี้



รูปที่ 3 ผลการออกแบบหน้าเข้าสู่ระบบ (login)



รูปที่ 4 ผลการออกแบบหน้าสมัครสมาชิก FITBUDDY



รูปที่ 5 ผลการออกแบบหน้า dashboard ของ admin

จัดการผู้ใช้ (Users) [กลับไปยัง Dashboard](#)

เพิ่มผู้ใช้ใหม่

Username: Password:

Email: Role (สิทธิ์):

[เพิ่มผู้ใช้](#)

รายการผู้ใช้ทั้งหมด (8 คน)

ID	USERNAME	อีเมล	ROLE	สถานะ	ACTIONS
1	admin@gmail.com		Admin	Active	แก้ไข ลบ
2	user@gmail.com		User	Active	แก้ไข ลบ
3	coach@gmail.com		Coach	Active	แก้ไข ลบ

© 2025 FITBUDDY All rights reserved.

รูปที่ 6 ผลการออกแบบหน้าจัดการผู้ใช้งาน

จัดการโค้ชทั้งหมด

ID	USERNAME	อีเมล	ROLE	สถานะ	ACTIONS
1	coach@gmail.com		Coach	Active	แก้ไข ลบ
2	user@gmail.com		User	Active	แก้ไข ลบ
3	admin@gmail.com		Admin	Active	แก้ไข ลบ

© 2025 FITBUDDY All rights reserved.

รูปที่ 7 ผลการออกแบบหน้าจัดการ coach

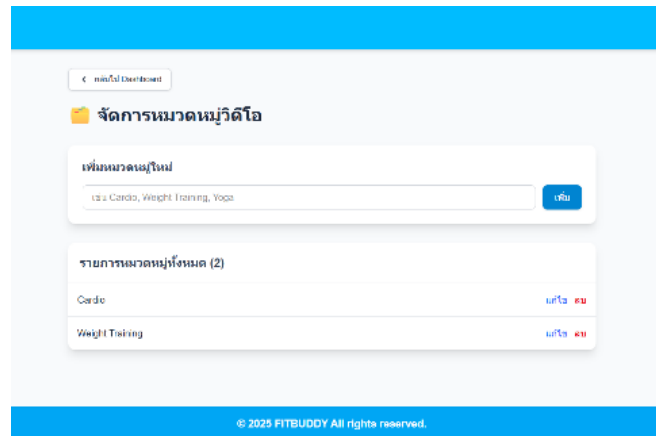
จัดการวิดีโอทั้งหมด

ค้นหาวิดีโอ: หมวดหมู่: สถานะ:

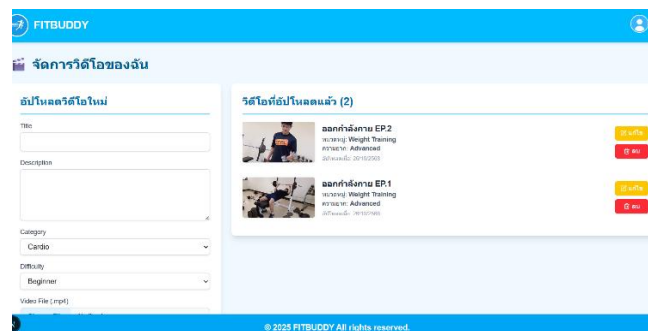
ID	ชื่อวิดีโอ	ผู้สร้าง	ประเภท	สถานะ	ACTIONS
1	วิดีโอตัวอย่าง	User123	Weight Training	Completed	แก้ไข ลบ
2	วิดีโอตัวอย่าง 2	Coach123	Weight Training	Completed	แก้ไข ลบ

© 2025 FITBUDDY All rights reserved.

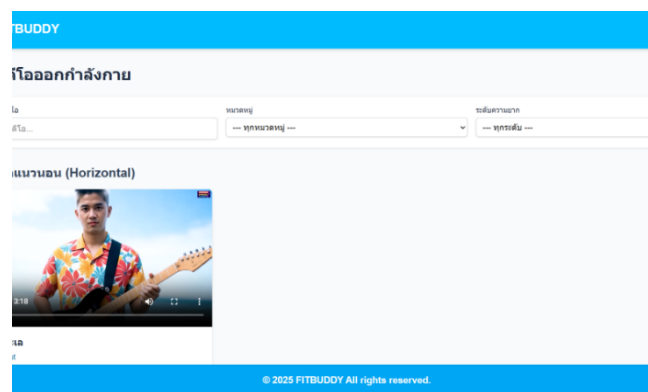
รูปที่ 8 ผลการออกแบบหน้าจัดการวิดีโอ



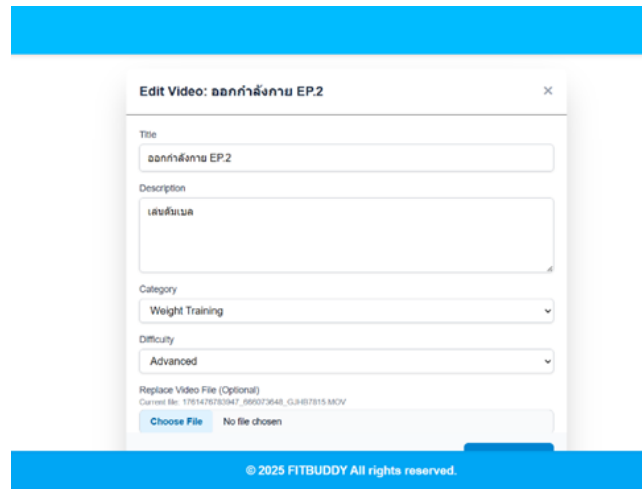
รูปที่ 9 ผลการออกแบบหน้ารวมวิดีโอทั้งหมด



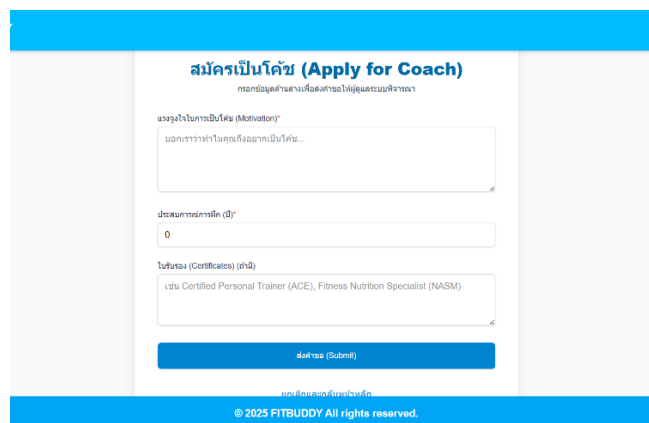
รูปที่ 10 ผลการออกแบบหน้า dashboard ของ coach



รูปที่ 11 ผลการออกแบบหน้ารวมวิดีโอทั้งหมด



รูปที่ 12 ผลการออกแบบหน้าจอแก้ไขวิดีโอของ coach



รูปที่ 13 ผลการออกแบบหน้าจอของผู้ใช้ที่ต้องการสมัครเป็น coach

ผลการประเมินประสิทธิภาพของเว็บแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นโดยผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีสารสนเทศและการพัฒนาเว็บ 3 คน และผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาและการออกกำลังกาย 2 คน รวมเป็นจำนวน 5 คน โดยผู้วิจัยนำแบบประเมินผลความพึงพอใจไปให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา โดยคำนวณหาค่าดัชนีความสอดคล้อง IOC ตามทฤษฎีของ Rovinelli and Hambleton (1977) ประเมินประสิทธิภาพของเว็บแอปพลิเคชัน FITBUDDY พบว่า อยู่ในระดับมาก (4.11 ± 0.34) ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สรุปผลการประเมินประสิทธิภาพของเว็บแอปพลิเคชัน FITBUDDY โดยผู้เชี่ยวชาญ

รายการประเมินประสิทธิภาพ	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	แปลผล
ด้านความปลอดภัยของระบบ	4.19	0.34	มาก
ด้านความสามารถในการทำงานตามระบบของผู้ใช้งาน	4.15	0.28	มาก
ด้านการใช้งานระบบ	4.05	0.37	มาก
ด้านผลลัพธ์ที่ได้จากระบบ	4.03	0.35	มาก
เฉลี่ยรวมทุกด้าน	4.11	0.34	มาก

ผลการประเมินความพึงพอใจจากการใช้งานเว็บแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้น โดยผู้ใช้งานในหมู่บ้านแห่งหนึ่งในเขตหนองแขม จังหวัดกรุงเทพมหานคร ที่มีระบบ Fitness เปิดให้บริการ และมีเปิดให้บริการแนะนำเกี่ยวกับการดูแลสุขภาพของสมาชิกในหมู่บ้าน โดยวิธีเลือกแบบเจาะจง ด้วยแบบประเมินความพึงพอใจจากการใช้งานเว็บแอปพลิเคชัน FITBUDDY โดยผู้ใช้งานพบว่าอยู่ในระดับมากที่สุด (4.60 ± 0.52) ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สรุปผลการประเมินความพึงพอใจจากการใช้งานเว็บแอปพลิเคชัน FITBUDDY โดยผู้ใช้งาน

รายการประเมินประสิทธิภาพ	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	แปลผล
ด้านความสวยงามของส่วนติดต่อผู้ใช้ (UI)	4.75	0.45	มากที่สุด
ด้านความปลอดภัยของข้อมูลผู้ใช้	4.65	0.50	มากที่สุด
ด้านความถูกต้องของการทำงานของระบบ	4.62	0.48	มากที่สุด
ด้านความพึงพอใจโดยรวมต่อระบบ	4.59	0.52	มากที่สุด
ด้านความรวดเร็วในการโหลดหน้าเว็บ	4.53	0.55	มากที่สุด
ด้านความสะดวกในการใช้งานระบบ	4.48	0.61	มาก
เฉลี่ยรวมทุกด้าน	4.60	0.52	มากที่สุด

ผลการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน FITBUDDY สำหรับการออกกำลังกายและรับชมวิดีโอการฝึกที่ทดสอบการทำงานโดยผู้ใช้งานในหมู่บ้านแห่งหนึ่งในเขตหนองแขม จังหวัดกรุงเทพมหานคร ที่มีระบบ Fitness เปิดให้บริการ และเปิดให้บริการแนะนำเกี่ยวกับการดูแลสุขภาพของสมาชิก

ในหมู่บ้าน พบว่าการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันด้วย React Framework โดยใช้ Next.js และไลบรารีต่าง ๆ ร่วมด้วย เช่น Bcryptjs เป็นต้น ทำให้เว็บแอปพลิเคชันสามารถรองรับการใช้งานของผู้ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากใช้งานง่าย รวมถึงมีออกแบบให้ใช้เฉพาะด้านทำให้ไม่มีความซับซ้อนในการใช้งาน และมีความปลอดภัยสูงจากการใช้เทคนิค JWT ในการทำงาน โดยรวมผู้ใช้งานเกิดความพึงพอใจ ในระดับมากที่สุด (4.60 ± 0.52) สอดคล้องกับงานวิจัยของ ปิพิญา รอดแผ้วพาล (2565) ดำเนินการทำการวิจัยเรื่องการศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันการออกกำลังกายด้วยแอนิเมชันในการเสริมสร้างกล้ามเนื้อ และการทรงตัวในผู้สูงอายุ พบว่าโดยรวมผู้ใช้งานมีความพึงพอใจ ในระดับดี (4.48-4.75) และงานวิจัยของ อติเทพ สุภาพักตร์ และคณะ (2566) ที่ได้ทำการวิจัยเรื่อง การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันเพื่อสนับสนุนการให้บริการศูนย์สหกิจศึกษาและพัฒนาอาชีพ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา ได้พัฒนาเว็บแอปพลิเคชันด้วย React Framework พบว่า โดยรวมผู้ใช้งานมีความพึงพอใจ ในระดับมาก (4.21)

สรุปผล

การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน FITBUDDY สำหรับการออกกำลังกายและรับชมวิดีโอการฝึกมีวิธีการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน แบ่งเป็น 5 ขั้นตอน ระบบได้รับการพัฒนาเป็นเว็บแอปพลิเคชันด้วยเทคโนโลยีต่าง ๆ เช่น MySQL, React Framework, JWT และ Next.js เพื่อรองรับการเรนเดอร์แบบ SSR/SSG และใช้ MySQL เป็นฐานข้อมูลหลัก พร้อมเสริมความปลอดภัยด้วย JWT สำหรับการยืนยันตัวตน และ Bcryptjs สำหรับการเข้ารหัสผ่าน รวมถึงใช้ Formidable สำหรับอัปโหลดวิดีโอและชุดไอคอนในการออกแบบ UI ที่แสดงให้เห็นถึงการใช้เครื่องมือในการเขียนโปรแกรมที่ช่วยสนับสนุนการทำงานของผู้ใช้งาน เว็บแอปพลิเคชันมีการทำงาน ประกอบด้วย การจัดการข้อมูล การจัดการผู้ใช้งาน การจัดการวิดีโอ การอัปโหลดไฟล์วิดีโอ และอื่น ๆ ที่ช่วยให้ผู้ดูแลระบบและโค้ชสามารถบริหารจัดการเนื้อหาการฝึกสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงผู้ใช้งาน/สมาชิก สามารถเข้าถึงวิดีโอการออกกำลังกาย และแผนการฝึกได้สะดวกทุกที่ทุกเวลา โดยใช้สถาปัตยกรรมแบบ 3-Tier เพื่อให้ระบบมีความยืดหยุ่นรองรับการขยายผลในอนาคตได้ ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบโดยผู้เชี่ยวชาญ อยู่ในระดับมาก และผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบโดยรวม อยู่ในระดับมากที่สุด สรุปคือ เว็บแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปใช้งานได้จริงและเป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้งาน

ข้อเสนอแนะ

เว็บแอปพลิเคชัน FITBUDDY สำหรับการออกกำลังกายและรับชมวิดีโอการฝึกที่พัฒนาขึ้นสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์หลัก อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ยังมีข้อจำกัดบางประการ ดังนี้ (1) ด้านการแสดงผลและประมวลผลข้อมูล ระบบในปัจจุบันยังขาดการแสดงผลในรูปแบบแผนภูมิหรือกราฟเชิงสถิติ (2) ด้านการสื่อสารภายในระบบ ระบบในปัจจุบันยังไม่รองรับการสนทนาโต้ตอบแบบทันที (real-time) (3) ด้านการแนะนำเนื้อหา ระบบการแนะนำวิดีโอการฝึกยังอ้างอิงตามหมวดหมู่ทั่วไป ยังไม่มีการนำอัลกอริทึมขั้นสูงหรือปัญญาประดิษฐ์มาช่วยแนะนำเนื้อหาเฉพาะบุคคล (personalized) (4) ด้านรูปแบบสถาปัตยกรรมและการเข้าถึงฟังก์ชันอุปกรณ์ เนื่องจากพัฒนารูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน ทำให้ประสิทธิภาพในการแจ้งเตือนและการเข้าถึงเซนเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหวของสมาร์ทโฟนยังมีข้อจำกัดเมื่อเทียบกับแอปพลิเคชันแบบ Native App

เพื่อความสมบูรณ์และตอบโจทย์การใช้งานในระดับที่สูงขึ้น ผู้วิจัยจึงมีข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนาต่อยอดในอนาคต ดังนี้ (1) ควรเพิ่มฟังก์ชันกราฟแสดงผลการออกกำลังกาย การคำนวณแคลอรีที่เผาผลาญ หรือน้ำหนักตัว เพื่อให้ผู้ใช้เห็นพัฒนาการของตนเองได้อย่างชัดเจน (2) พัฒนาช่องทางการสื่อสารระหว่างผู้ใช้และโค้ชแบบ real-time เพื่อให้สามารถสอบถามเทคนิคการออกกำลังกายหรือขอคำปรึกษาได้โดยตรง (3) นำเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์มาช่วยวิเคราะห์พฤติกรรมและเป้าหมายของผู้ใช้ เพื่อแนะนำวิดีโอหรือแผนการฝึกที่เหมาะสมกับแต่ละบุคคล (4) เพิ่มระบบสมาชิกแบบพรีเมียม หรือการซื้อคอร์สเรียนออนไลน์ เพื่อสร้างโมเดลรายได้ให้กับโค้ชและเจ้าของแพลตฟอร์ม (5) พัฒนาต่อยอดเป็น Native App ที่สามารถทำงานได้บนระบบปฏิบัติการ iOS และ Android เพื่อให้สามารถแจ้งเตือน และเข้าถึงเซนเซอร์ต่าง ๆ ของโทรศัพท์ได้ดียิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- กรรณิการ์ กมลรัตน์ และอัครพล พิกุลศรี. (2568). การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันสำหรับบริหารจัดการการเชื่อมโยงแผนภาพโทนสีครามธรรมชาติกับแหล่งผลิตผ้าย้อมคราม. **วารสารเทคโนโลยีสารสนเทศ มจร.**, 20(1), 12–21.
- เกรียงพจน์ ดินตะสุวรรณ อธิษฐ์ สิริวรศรา และฐิติมา ให้อยอง. (2569). แนวคิดการจัดการการดูแลสุขภาพตนเองสำหรับประชาชน. **วารสารรัชต์ภาคย์**, 66(1), 291–308. ค้นเมื่อ 20 พฤษภาคม 2569, จาก <https://so05.tci-thaijo.org/index.php/RJPJ/article/view/285003/189224>

- ปพิชญา รอดแผ้วพาล. (2565). การศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันการ
ออกกำลังกายด้วยแอนิเมชันในการเสริมสร้างกล้ามเนื้อและการทรงตัวในผู้สูงอายุ
สารนิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. Chula Digital Collections.
ค้นเมื่อ 12 เมษายน 2569, จาก <https://digital.car.chula.ac.th/chulaetd/10543/>
- มูลนิธิหัวใจแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์. (2568). เทคโนโลยีเพื่อส่งเสริมการออกกำลังกาย.
ค้นเมื่อ 20 พฤษภาคม 2569, จาก <https://www.thaiheartfound.org/Article/Detail/140242>
- วันเฉลิม พรหมศร, บุญชู บุญลิขิตศิริ, ปรัชญา แก้วแก่น และก้องเกียรติ หิรัญเกิด. (2564). การ
พัฒนาแอปพลิเคชันเกมออกกำลังกายสำหรับผู้สูงอายุในประเทศไทยเพื่อใช้ป้องกันภาวะ
สมองเสื่อมชนิดอัลไซเมอร์. *วารสารศิลปกรรมบูรพา*, 24(2), 155–171. ค้นเมื่อ 20 มีนาคม
2569, จาก <https://buuir.buu.ac.th/bitstream/1234567890/4577/1/art24n2p155-171.pdf>
- สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ. (2561). *แผนการส่งเสริมกิจกรรมทางกาย*
(พ.ศ. 2561–2573).
- เสาวนีย์ ปรัชญาเกรียงไกร, จุฑามาส ศิริอังกูรวาณิช และสุปราณี ห้อมมา. (2567). การพัฒนา
ระบบสนับสนุนการจัดทดสอบและประเมินผลออนไลน์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี.
วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรธานี, 12(1), 83–103.
- อดิเทพ สุภาพักตร์ ธิดานุช พุทธสิมมา อาทิตยา อรุณศรี อนาวิล คำเพชร ภูจิต ภูบาลชื่น และศักดินนท์
หาญพนม. (2566). การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันเพื่อสนับสนุนการให้บริการศูนย์
สหกิจศึกษาและพัฒนาอาชีพ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา. *วารสาร
วิชาการการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ*, 9(2), 111–121.
- อาทิตย์ เข้มทอง และชาญชัย แสงอ่อน. (2565). การส่งเสริมการออกกำลังกายแบบแอโรบิก
สำหรับผู้สูงอายุ. *วารสารการแพทย์โรงพยาบาลอุตรธานี*, 30(1), 177–186.
- Alam, M. Z., Hoque, M. R., Hu, W. & Barua, Z. (2020). Factors influencing the adoption
of mHealth services in a developing country: A patient-centric study.
International Journal of Information Management, 50, 128–143. Retrieved
March 2, 2026, from <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.04.016>
- Blut, M., Chong, A. Y. L., Tsigna, Z. & Venkatesh, V. (2022). Meta-analysis of the unified
theory of acceptance and use of technology (UTAUT): Challenging its validity
and charting a research agenda in the red ocean. *Journal of the Association
for Information Systems*, 23(1), 13–95. Retrieved March 2, 2026, from <https://aisel.aisnet.org/jais/vol23/iss1/10/>

- Department of Disease Control. (n.d.). **National plan for the prevention and control of non-communicable diseases (2023-2027)**, Thailand. Retrieved February 12, 2026, from <https://ddc.moph.go.th/uploads/publish/1625920241004031950.pdf>
- Dakowicz, J. (2025). **What is Next.js framework and why should you use it in 2026** Pagepro. Retrieved March 1, 2026, from <https://pagepro.co/blog/what-is-nextjs/>
- Lucide. (2024). **Lucide React: Beautiful & consistent icons for React**. Retrieved May 20, 2026, from <https://lucide.dev/guide/packages/lucide-react>
- Oracle Corporation. (2024). **MySQL reference manual**. Retrieved May 20, 2026, from <https://dev.mysql.com/doc/refman/8.0/en/>
- Physiopedia. (2025). **Adherence to home exercise programs**. Retrieved February 21, 2026, from https://www.physiopedia.com/Adherence_to_Home_Exercise_Programs
- Rovinelli, R. J., & Hambleton, R. K. (1977). On the use of content specialists in the assessment of criterion-referenced test item validity. **Tijdschrift Voor Onderwijs Research**, 2(2), 49–60.
- Vercel. (2024). **Next.js: The React Framework for the web**. <https://nextjs.org/>
- World Health Organization. (2025). **Noncommunicable diseases**. Retrieved May 20, 2026, from <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/noncommunicable-diseases>

การพัฒนาอินเวอร์เตอร์ T-Source ควบคุมด้วยพัลส์วิดท์ มอดูเลชันแบบ Unipolar สำหรับการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า

พัชรพงศ์ กันหารินทร์^{1*} นิคม ก้านจักร² และศักดาวุฒิ บุญตัว³

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาอินเวอร์เตอร์ T-Source ควบคุมด้วยพัลส์วิดท์มอดูเลชันแบบ Unipolar สำหรับการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา ออกแบบ และสร้างวงจรอินเวอร์เตอร์ T-Source ที่สามารถเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงและแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับได้ภายในขั้นตอนเดียว วงจรที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำ 2 ตัว ตัวเก็บประจุ 1 ตัว และไดโอดแบบพินตัวเร็วร่วมกับวงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์ ซึ่งช่วยลดจำนวนอุปกรณ์เมื่อเปรียบเทียบกับอินเวอร์เตอร์ Z-Source การควบคุมสวิตช์ใช้เทคนิคพัลส์วิดท์มอดูเลชันแบบ Unipolar ผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล C2000 เบอร์ TMS320F28379D โดยทำการออกแบบและจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink ก่อนสร้างต้นแบบจริง ผลการทดลองพบว่าวงจรสามารถเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าจากแรงดันอินพุต 100 โวลต์ เป็นแรงดันเอาต์พุต 200 โวลต์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งในสภาวะโหลดเชิงเส้นและโหลดเชิงเหนี่ยวนำ นอกจากนี้รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตมีลักษณะใกล้เคียงรูปคลื่นไซน์ และผลการทดลองมีแนวโน้มสอดคล้องกับผลการจำลองวงจรที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานแปลงผันกำลังไฟฟ้าและระบบอิเล็กทรอนิกส์กำลังที่ต้องการการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าได้อย่างเหมาะสม

คำสำคัญ: อินเวอร์เตอร์ T-Source Unipolar PWM การเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า อินเวอร์เตอร์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

² สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี

³ สาขาวิชาวิศวกรรมบูรณาการ คณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี

* ผู้ประสานงานหลัก e-mail: Phatcharaphong_ka@rmutto.ac.th

วันที่รับบทความ 27 พฤษภาคม 2569 วันที่แก้ไขบทความ 24 มิถุนายน 2569 วันที่ตอบรับบทความ 26 มิถุนายน 2569

Development of a T-Source Inverter Controlled by Unipolar Pulse Width Modulation for Voltage Boost Applications

Phatcharaphong kanharin^{1*} Nikom kanjak² and Sakdawut Boontua³

ABSTRACT

This research article presented the development of a T-Source inverter controlled by Unipolar pulse width modulation (PWM) for boost voltage levels. The aim was to study, design, and develop a T-Source inverter circuit that could step up DC voltage and convert it to AC voltage in a single stage. The developed circuit included two inductors, one capacitor, and fast recovery diodes along with a full-bridge inverter, which reduced the number of components compared to a Z-Source inverter. The switch control used Unipolar PWM through a C2000 series TMS320F28379D microcontroller. The design and operation were first simulated using MATLAB/Simulink before developing the actual prototype. Experimental results showed that the circuit could efficiently increase the voltage from an input of 100 volts to an output of 200 volts under both linear and inductive load conditions. In addition, the output voltage waveform was close to a sine wave, and the experimental results tended to match the simulation results. The developed circuit could be applied in power conversion work and power electronics systems that required appropriate voltage boosting.

Keyword: T-Source inverter, Unipolar PWM, voltage boost, inverter, power electronics

¹ Electrical Engineering Program, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Prince of Chumphon

² Electrical Engineering Program, Faculty of Integrated Engineering and Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Chanthaburi Campus

³ Electrical Engineering Program, Faculty of Integrated Engineering and Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Chanthaburi Campus

*Corresponding author e-mail: Phatcharaphong_ka@rmutto.ac.th

Received: May 27, 2026

Revised: Jun 24, 2026

Accepted: Jun 26, 2026

บทนำ

ปัจจุบันระบบแปลงผันกำลังไฟฟ้ามีบทบาทสำคัญอย่างมากในงานด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ระบบพลังงานทดแทน ระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า และระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าสมัยใหม่ เนื่องจาก อุปกรณ์ไฟฟ้าหลายชนิดต้องการแรงดันไฟฟ้าและรูปคลื่นที่มีคุณภาพสูงในการทำงาน (Abdeen et al., 2019) อินเวอร์เตอร์จึงถูกนำมาใช้สำหรับแปลงพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อจ่ายให้กับโหลดประเภทต่าง ๆ โดยเฉพาะงานที่ต้องการควบคุมแรงดันไฟฟ้าและความถี่อย่างมีประสิทธิภาพ (Sivaraman & Desanayagi, 2013) อย่างไรก็ตามอินเวอร์เตอร์แบบดั้งเดิมยังมีข้อจำกัดด้านความสามารถในการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า ทำให้จำเป็นต้องใช้งานร่วมกับวงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ ส่งผลให้จำนวนอุปกรณ์ในระบบเพิ่มสูงขึ้นและเกิดความสูญเสียกำลังไฟฟ้าในกระบวนการแปลงพลังงาน (Strzelecki et al., 2009)

จากข้อจำกัดดังกล่าว อินเวอร์เตอร์แบบ Z-Source จึงถูกพัฒนาขึ้นเพื่อให้สามารถเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าและผกผันแรงดันไฟฟ้าได้ภายในขั้นตอนเดียว โดยใช้เครือข่ายอิมพีแดนซ์ระหว่างแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงและวงจรอินเวอร์เตอร์ (Effah et al., 2012) อย่างไรก็ตามอินเวอร์เตอร์ Z-Source ยังคงมีจำนวนอุปกรณ์ที่ค่อนข้างมาก โดยเฉพาะตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุที่ใช้ภายในวงจร ส่งผลต่อขนาด ต้นทุน และความซับซ้อนของระบบ (Oppong et al., 2025) ดังนั้นอินเวอร์เตอร์ T-Source จึงถูกนำเสนอเพื่อพัฒนาต่อยอดจากอินเวอร์เตอร์ Z-Source โดยลดจำนวนอุปกรณ์ลงแต่ยังคงความสามารถในการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Eswari & Dhanya, 2014) วงจร T-Source ประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำ 2 ตัว ตัวเก็บประจุ 1 ตัว และไดโอดแบบฟิรตตัวเร็ว ซึ่งช่วยลดต้นทุนและลดความสูญเสียภายในระบบเมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างแบบเดิม (Liu et al., 2020)

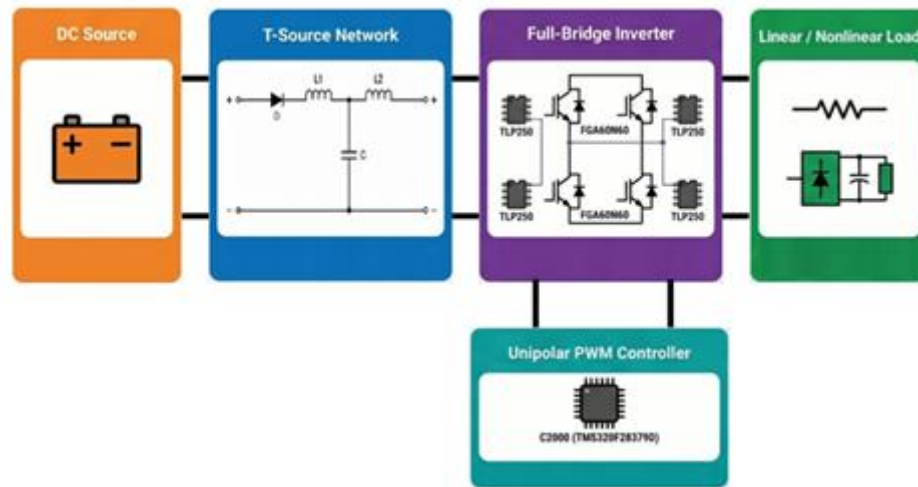
นอกจากนี้ เทคนิคการควบคุมอินเวอร์เตอร์ด้วยพัลส์วิตท์มอดูเลชัน (Pulse Width Modulation: PWM) ยังเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพของแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตและประสิทธิภาพของระบบ (Lakshmi & Kumar, 2023) โดยเฉพาะการสวิตช์แรงดันแบบ Unipolar ซึ่งสามารถลดความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นลดฮาร์มอนิก และช่วยให้การกรองสัญญาณความถี่สูงทำได้ง่ายขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการสวิตช์แบบไบโพลาร์ อีกทั้งยังช่วยลดความเครียดทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์สวิตช์กำลังภายในวงจรอินเวอร์เตอร์ ส่งผลให้ระบบมีประสิทธิภาพและเสถียรภาพในการทำงานที่ดีขึ้น (Sharma et al., 2014)

บทความวิจัยนี้จึงนำเสนอการพัฒนาอินเวอร์เตอร์ T-Source ควบคุมด้วยพัลส์วิตท์มอดูเลชันแบบ Unipolar สำหรับการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล C2000 เบอร์ TMS320F28379D เป็นตัวควบคุมการสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์ การดำเนินงานเริ่มจาก

การศึกษาและออกแบบวงจร T-Source การจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink และการสร้างต้นแบบจริงเพื่อทดสอบการทำงานกับโหลดเชิงเส้นและโหลดไม่เชิงเส้น รวมถึงวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบจากผลการทดลองที่ได้ ทั้งนี้เพื่อประเมินความสามารถในการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าและคุณภาพของแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของวงจรที่พัฒนาขึ้น ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านระบบแปลงผันกำลังไฟฟ้าและงานอิเล็กทรอนิกส์กำลังได้อย่างเหมาะสม โดยมีเป้าหมายเพื่อพัฒนาต้นแบบอินเวอร์เตอร์ที่สามารถเพิ่มระดับแรงดันและแปลงผันพลังงานภายในขั้นตอนเดียวเพื่อลดจำนวนอุปกรณ์ ลดต้นทุน และเพิ่มประสิทธิภาพของระบบอิเล็กทรอนิกส์กำลังสำหรับงานพลังงานทดแทนและระบบขับเคลื่อนไฟฟ้า

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาอินเวอร์เตอร์ T-Source ควบคุมด้วยพัลส์วิดท์มอดูเลชันแบบ Unipolar สำหรับการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานประกอบด้วย การศึกษาและออกแบบวงจร T-Source การออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์ การสร้างสัญญาณควบคุมด้วยเทคนิค Unipolar PWM การจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink และการสร้างต้นแบบจริงเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของระบบภายใต้โหลดเชิงเส้นและโหลดเชิงเหนี่ยวนำ โดยการทดสอบแบ่งออกเป็น การทดสอบการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าของวงจร T-Source และการทดสอบการจ่ายโหลดสองประเภท ได้แก่ โหลดเชิงเส้น (linear load) และโหลดเชิงเหนี่ยวนำ (inductive load) โดยโหลดเชิงเส้นที่ใช้ในการทดลองเป็นตัวต้านทานกำลัง (resistive load) ขนาด 100 โอห์ม ส่วนโหลดเชิงเหนี่ยวนำที่ใช้ในการทดลองเป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับ (Single-Phase Induction Motor) ซึ่งถูกเลือกใช้เพื่อศึกษาพฤติกรรมของระบบภายใต้สภาวะโหลดที่มีคุณลักษณะทางอิมพีแดนซ์แตกต่างจากโหลดความต้านทาน ซึ่งโครงสร้างโดยรวมของระบบอินเวอร์เตอร์ T-Source ที่พัฒนาขึ้น แสดงดังรูปที่ 1



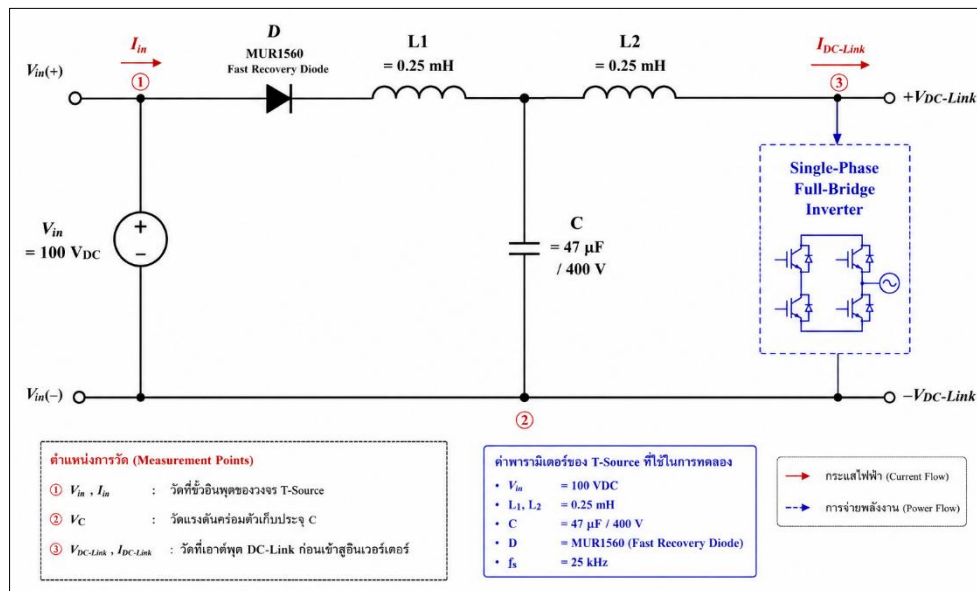
รูปที่ 1 โครงสร้างโดยรวมของระบบอินเวอร์เตอร์ T-Source ที่พัฒนาขึ้น

วงจร T-Source ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำ 2 ตัว ตัวเก็บประจุ 1 ตัว และไดโอดแบบฟิสิกส์เร็ว ทำหน้าที่เพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงก่อนจ่ายเข้าสู่วงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์ (Liu et al., 2020) โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ของระบบประกอบด้วยแรงดันไฟฟ้าอินพุต 100 โวลต์ แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต 200 โวลต์ ความถี่สวิตช์ 25 กิโลเฮิร์ตซ์ และโหลดความต้านทาน 100 โอห์ม การคำนวณค่าตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุอาศัยหลักการออกแบบวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ เพื่อให้สามารถเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าได้อย่างเหมาะสม โดยค่าตัวเหนี่ยวนำที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 0.25 มิลลิเฮนรี และเลือกใช้ตัวเก็บประจุขนาด 47 ไมโครฟารัด ทนแรงดัน 400 โวลต์ สำหรับไดโอดเลือกใช้เบอร์ MUR1560 เนื่องจากมีคุณสมบัติการฟื้นตัวเร็วและรองรับการสวิตช์ที่สูงได้ดี (Alarcón-Maza et al., 2023) โดยมีสมการการหาค่าตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ ดังนี้

$$L = \frac{V_{in} D}{f_s \Delta I_L} \quad (1)$$

$$C = \frac{I_o D}{f_s \Delta V_C} \quad (2)$$

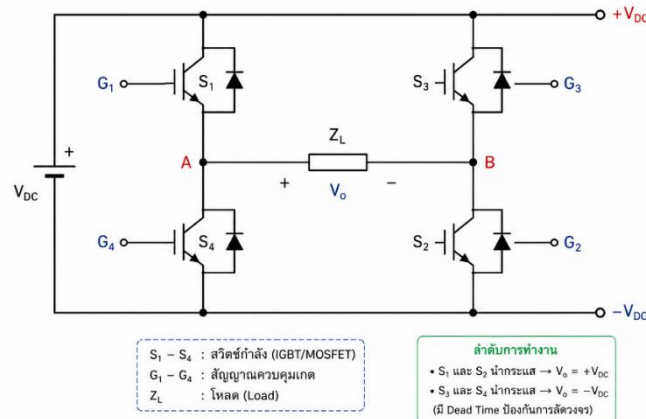
โครงสร้างของวงจร T-Source ที่ใช้ในการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า แสดงดังรูปที่ 2 โดยประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำ $L1$ และ $L2$ ตัวเก็บประจุ C และไดโอด D ซึ่งทำหน้าที่สร้างโครงข่ายอิมพีแดนซ์สำหรับเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงก่อนจ่ายเข้าสู่วงจรอินเวอร์เตอร์



รูปที่ 2 โครงสร้างวงจร T-Source ที่ใช้ในการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า

รูปที่ 2 แสดงโครงสร้างวงจร T-Source ที่ใช้ในการศึกษาซึ่งประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำสองตัว ($L1$ และ $L2$) ตัวเก็บประจุ (C) และไดโอด (D) โดยองค์ประกอบดังกล่าวทำหน้าที่สร้างเครือข่ายอิมพีแดนซ์สำหรับเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าก่อนป้อนเข้าสู่วงจรอินเวอร์เตอร์

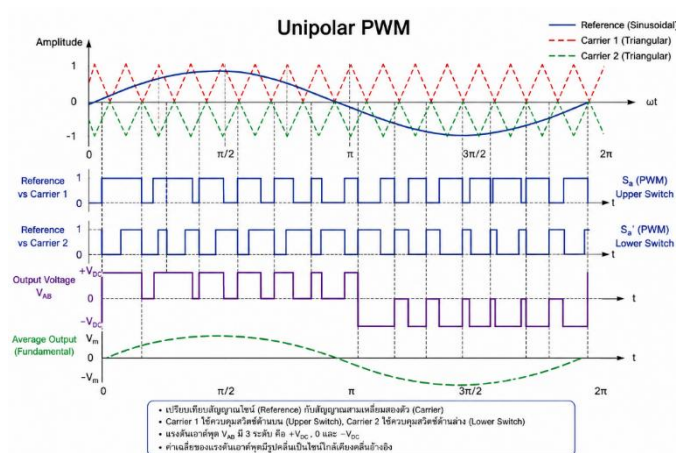
ในส่วนของวงจรอินเวอร์เตอร์ ใช้โครงสร้างแบบฟูลบริดจ์โดยเลือกใช้ไอจีบีทีเบอร์ FGA60N60 เป็นอุปกรณ์สวิตช์กำลัง เพื่อทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (Feng et al., 2021) การควบคุมการสวิตช์ใช้หลักการพัลส์วิดท์มอดูเลชันแบบ Unipolar โดยเปรียบเทียบสัญญาณไซน์กับสัญญาณสามเหลี่ยมเพื่อสร้างสัญญาณ PWM สำหรับควบคุมการทำงานของสวิตช์ในแต่ละกิ่งของอินเวอร์เตอร์ (Nugroho et al., 2017) เทคนิคดังกล่าวช่วยลดฮาร์มอนิกของแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตและเพิ่มคุณภาพของรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้า ซึ่งมีโครงสร้างดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 วงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์ที่ใช้ในงานวิจัย

ระบบควบคุมใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล C2000 เบอร์ TMS320F28379D ในการสร้างสัญญาณ PWM (Tuan et al., 2021) โดยทำการออกแบบอัลกอริทึมควบคุมผ่านโปรแกรม MATLAB/Simulink และส่งสัญญาณควบคุมไปยังวงจรขับเคลื่อน TLP250 เพื่อขับไอจีบีทีในวงจรอินเวอร์เตอร์ นอกจากนี้ยังมีการออกแบบวงจรหน่วงเวลา (dead time circuit) เพื่อป้องกันการนำกระแสพร้อมกันของสวิตช์ในกิ่งเดียวกันซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายต่อวงจรอินเวอร์เตอร์ (Saurabh et al., 2025)

หลักการสร้างสัญญาณควบคุมแบบ Unipolar PWM ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ แสดงดังรูปที่ 4 โดยอาศัยการเปรียบเทียบสัญญาณอ้างอิงรูปคลื่นไซน์กับสัญญาณพาหะรูปสามเหลี่ยม เพื่อสร้างสัญญาณ PWM สำหรับควบคุมสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์ให้ทำงานสลับกันอย่างเหมาะสม



รูปที่ 4 สัญญาณควบคุมแบบ Unipolar PWM สำหรับอินเวอร์เตอร์

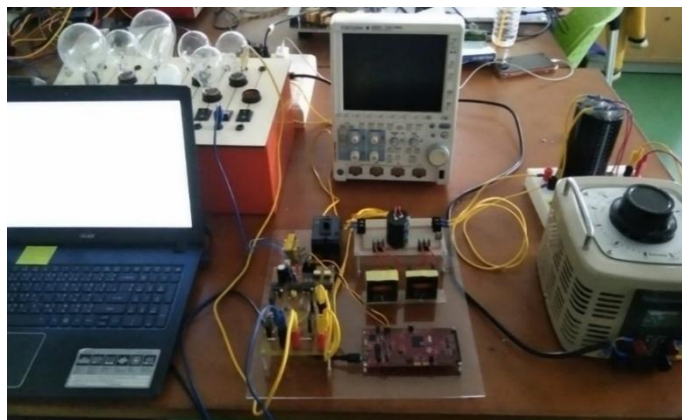
หลังจากออกแบบและสร้างต้นแบบวงจรเรียบร้อยแล้ว ได้ทำการทดสอบการทำงานของระบบ โดยเปรียบเทียบผลการทดลองจริงกับผลการจำลองในโปรแกรม MATLAB/Simulink การทดสอบแบ่งออกเป็น การทดสอบการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าของวงจร T-Source และการทดสอบการจ่ายโหลดเชิงเส้น และโหลดไม่เชิงเส้นที่แรงดันไฟฟ้าอินพุต 60 โวลต์ 70 โวลต์ และ 100 โวลต์ ตามลำดับ โดยวิเคราะห์รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และค่าประสิทธิภาพของระบบ เพื่อประเมินความสามารถในการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าและคุณภาพของแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ T-Source ที่พัฒนาขึ้น

นอกจากนี้ยังทำการประเมินค่าประสิทธิภาพของวงจรเมื่อจ่ายให้กับโหลดเชิงเส้นกำลังไฟฟ้า 500 วัตต์ ภายใต้ระดับแรงดันไฟฟ้าอินพุตที่แตกต่างกัน เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าอินพุต กำลังไฟฟ้าด้านเข้า กำลังไฟฟ้าด้านออก และประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ ซึ่งผลการทดลองที่ได้ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์และสรุปสมรรถนะของอินเวอร์เตอร์ T-Source ที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

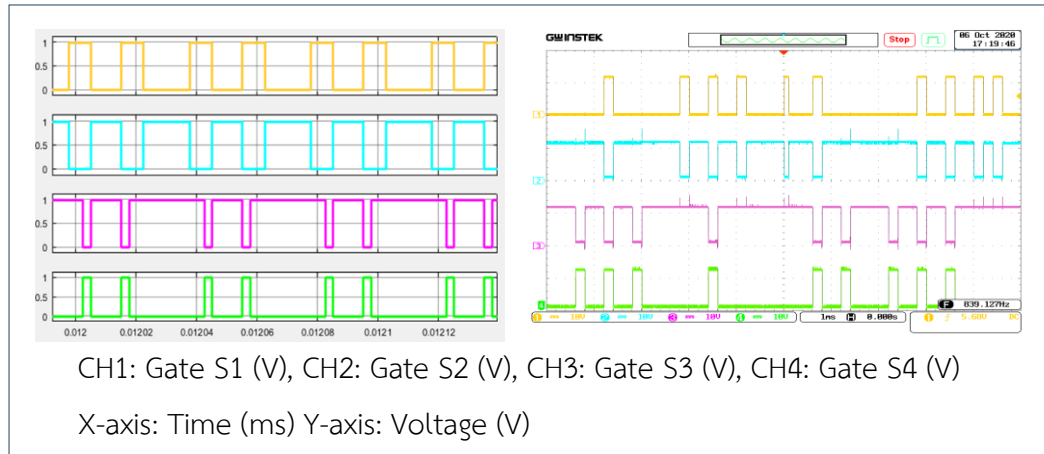
การวิจัยนี้เป็นการทดสอบประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ T-Source ควบคุมด้วยพัลส์วิดท์มอดูเลชันแบบ Unipolar สำหรับการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า โดยทำการเปรียบเทียบผลการจำลองในโปรแกรม MATLAB/Simulink กับผลการทดลองจากต้นแบบจริง เพื่อประเมินความสามารถในการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า คุณภาพของแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต และประสิทธิภาพของระบบเมื่อจ่ายให้กับโหลดเชิงเส้นและโหลดไม่เชิงเส้น

เพื่อยืนยันผลการออกแบบและผลการจำลอง ได้มีการสร้างต้นแบบจริงของอินเวอร์เตอร์ T-Source พร้อมติดตั้งอุปกรณ์วัดแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และออสซิลโลสโคปสำหรับบันทึกรูปคลื่นสัญญาณ โดยรายละเอียดของชุดทดลอง แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ต้นแบบและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบอินเวอร์เตอร์ T-Source

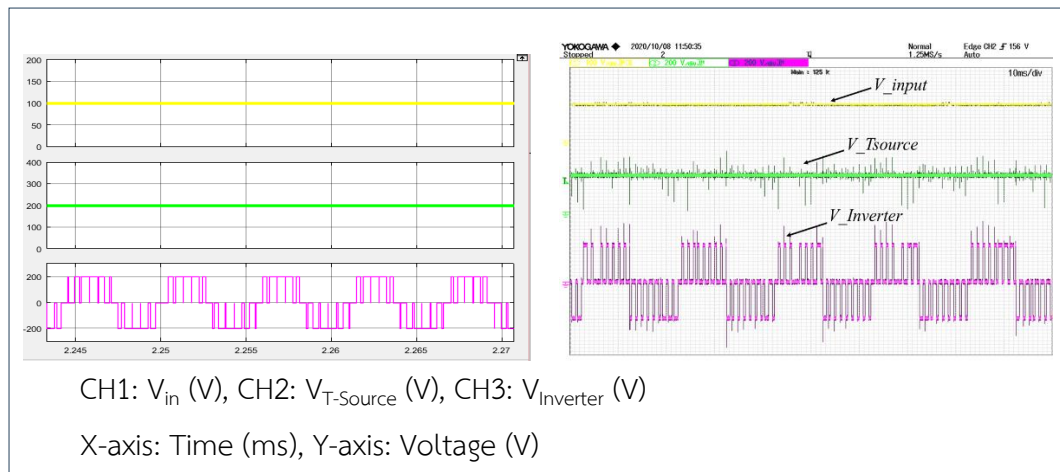
ผลการทดลองที่ได้จากต้นแบบจริงมีแนวโน้มสอดคล้องกับผลการจำลองในโปรแกรม MATLAB/Simulink ทั้งในด้านรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้า ระดับแรงดันเอาต์พุต และพฤติกรรมของระบบภายใต้โหลดที่แตกต่างกัน



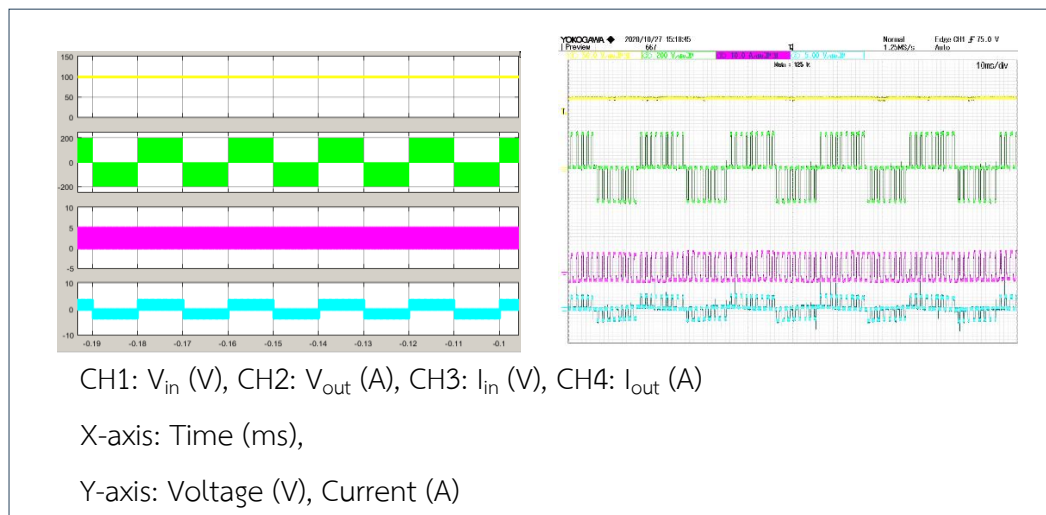
รูปที่ 6 สัญญาณพัลส์วิตช์มอดูเลชันแบบ Unipolar สำหรับควบคุมอินเวอร์เตอร์

รูปที่ 6 ผลการสร้างสัญญาณควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล C2000 เบอร์ TMS320F28379D พบว่า สามารถสร้างสัญญาณพัลส์วิตช์มอดูเลชันแบบ Unipolar ได้อย่างถูกต้อง โดยสัญญาณควบคุมของสวิตช์ในแต่ละกิ่งของอินเวอร์เตอร์ทำงานในลักษณะตรงข้ามกัน ส่งผลให้รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตมีความต่อเนื่องและลดความผิดเพี้ยนของฮาร์มอนิกได้ดีขึ้น เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการจำลองพบว่ามีความสอดคล้องกัน แสดงให้เห็นว่าระบบควบคุมที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปใช้งานได้จริงอย่างมีประสิทธิภาพ

จากการทดสอบวงจรอินเวอร์เตอร์ T-Source พบว่า วงจรสามารถเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าจากแรงดันไฟฟ้าอินพุต 100 โวลต์ เป็นแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตประมาณ 200 โวลต์ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งในผลการจำลองและผลการทดลองจริง ดังรูปที่ 7 โดยแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของวงจร T-Source และแรงดันไฟฟ้าต้านออกของอินเวอร์เตอร์มีค่าใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าการออกแบบเครือข่าย T-Source สามารถเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าได้ตามที่กำหนดไว้ในการออกแบบวงจร



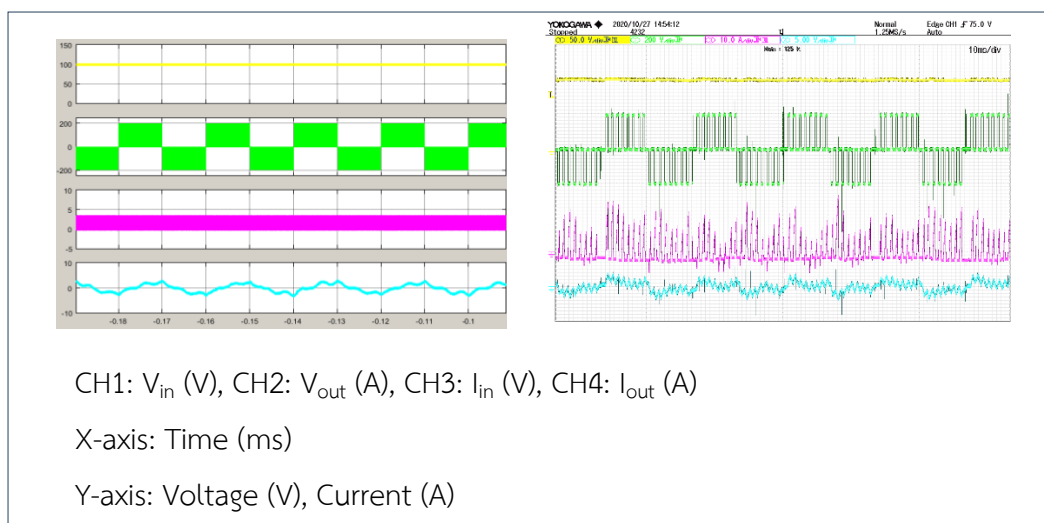
รูปที่ 7 ผลการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าของวงจรอินเวอร์เตอร์ T-Source



รูปที่ 8 ผลการทดสอบอินเวอร์เตอร์ T-Source เมื่อจ่ายให้กับโหลดเชิงเส้นชนิดตัวต้านทานกำลัง (resistive load)

รูปที่ 8 ผลการทดสอบเมื่อจ่ายให้กับโหลดเชิงเส้นที่แรงดันไฟฟ้าอินพุต 60 โวลต์ 70 โวลต์ และ 100 โวลต์ พบว่า วงจรสามารถเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตเป็นประมาณ 100 โวลต์ 150 โวลต์ และ 200 โวลต์ ตามลำดับ โดยรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าเอาต์พุตมีลักษณะใกล้เคียงกับรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตและมีลักษณะใกล้เคียงกับคลื่นไซน์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการควบคุมแบบ Unipolar PWM สามารถช่วยลดความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ผลการทดลองยังมีแนวโน้มสอดคล้องกับผลการจำลองในโปรแกรม MATLAB/Simulink แสดงถึงความถูกต้องของการออกแบบระบบควบคุมและวงจรกำลัง

สำหรับการทดสอบกับโหลดไม่เชิงเส้นโดยใช้โหลดมอเตอร์ พบว่าระบบยังคงสามารถเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าได้ตามที่ออกแบบไว้ อย่างไรก็ตามรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าเอาต์พุตมีลักษณะผิดเพี้ยนจากรูปคลื่นไซน์มากกว่าโหลดเชิงเส้น เนื่องจากลักษณะของโหลดมอเตอร์มีคุณสมบัติทางอิมพีแดนซ์และการเปลี่ยนแปลงกระแสที่ไม่เป็นเชิงเส้น ส่งผลให้เกิดฮาร์มอนิกภายในระบบมากขึ้น ถึงแม้ว่าจะเกิดความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นกระแสไฟฟ้า แต่ระบบยังสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องและมีเสถียรภาพแสดงให้เห็นถึงความสามารถของอินเวอร์เตอร์ T-Source ในการรองรับโหลดที่มีลักษณะแตกต่างกัน ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 ผลการทดสอบอินเวอร์เตอร์ T-Source เมื่อจ่ายให้กับโหลดเชิงเหนี่ยวนำ

สำหรับการทดสอบกับโหลดเชิงเหนี่ยวนำ โดยใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับ 1 เฟส เป็นโหลดทดลอง พบว่า ระบบยังคงสามารถเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าได้ตามที่ออกแบบไว้ อย่างไรก็ตามลักษณะกระแสเอาต์พุตมีการเปลี่ยนเฟส เมื่อเทียบกับแรงดันและมีการเปลี่ยนแปลงเชิงพลวัตมากกว่าโหลดความต้านทาน เนื่องจากผลของพลังงานสะสมในสนามแม่เหล็กของขดลวดมอเตอร์

จากตารางที่ 1 ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบเมื่อจ่ายโหลดเชิงเส้นกำลังไฟฟ้า 500 วัตต์ พบว่า ค่าประสิทธิภาพของวงจรมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระดับแรงดันไฟฟ้าอินพุต โดยที่แรงดันไฟฟ้าอินพุต 100 โวลต์ ระบบมีค่าประสิทธิภาพสูงสุดประมาณร้อยละ 89 ซึ่งเกิดจากการทำงานร่วมกันของวงจร T-Source และการควบคุมแบบ Unipolar PWM ที่ช่วยลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าภายในวงจรอินเวอร์เตอร์ นอกจากนี้การลดจำนวนอุปกรณ์ของวงจร T-Source เมื่อเปรียบเทียบกับวงจร Z-Source ยังช่วยลดความสูญเสียในระบบและลดความซับซ้อนของโครงสร้างวงจรได้อีกด้วย

การวัดค่าทางไฟฟ้าของระบบดำเนินการตามตำแหน่งที่กำหนดในรูปที่ 2 โดยแรงดันและกระแสด้านเข้า (V_{in} และ I_{in}) ถูกวัดที่ขั้วอินพุตของวงจร T-Source ขณะที่แรงดันและกระแสด้านออก (V_{out} และ I_{out}) ถูกวัดที่เอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ก่อนต่อเข้าสู่โหลด อย่างไรก็ตามสำหรับการหาค่ากำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพสามารถหาได้จากสมการที่ 3 - สมการที่ 5 ดังนี้

$$P_{in} = V_{in} I_{in} \quad (3)$$

$$P_{out} = V_{out} I_{out} \quad (4)$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \quad (5)$$

ตารางที่ 1 ค่าประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ T-Source ภายใต้โหลดเชิงเส้น

$V_{in} (V)$	$I_{in} (A)$	$P_{in} (W)$	$V_{out} (V)$	$I_{out} (A)$	$P_{out} (W)$	Efficiency(%)
60	2.06	123.60	120.12	0.86	103.30	83.57
70	3.51	245.70	140.25	1.49	208.97	85.05
100	5.81	581.00	200.24	2.51	502.60	86.50

จากผลการทดลองทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่า อินเวอร์เตอร์ T-Source ที่พัฒนาขึ้นมีความสามารถในการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าและแปลงพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับได้อย่างมีประสิทธิภาพ การควบคุมด้วยเทคนิค Unipolar PWM ช่วยให้แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตมีคุณภาพที่ดีขึ้นและลดความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นเมื่อจ่ายให้กับโหลดเชิงเส้น ขณะที่เมื่อจ่ายให้กับโหลดไม่เชิงเส้น ระบบยังคงสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องแม้ว่ารูปคลื่นกระแสไฟฟ้าจะมีความผิดเพี้ยนเพิ่มขึ้นก็ตาม ดังนั้นวงจรอินเวอร์เตอร์ T-Source ที่พัฒนาขึ้นจึงมีศักยภาพในการนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านระบบแปลงผันกำลังไฟฟ้า งานอิเล็กทรอนิกส์กำลัง และระบบพลังงานไฟฟ้าที่ต้องการการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าในขั้นตอนเดียวได้อย่างเหมาะสม

ผลการศึกษาพบว่าอินเวอร์เตอร์ T-Source ที่พัฒนาขึ้นสามารถเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าจากแรงดันอินพุต 100 V เป็นแรงดันเอาต์พุตประมาณ 200 V ได้ตามเป้าหมายการออกแบบ คิดเป็นอัตราการเพิ่มระดับแรงดันประมาณ 2 เท่า (voltage gain ≈ 2.0) โดยผลการทดลองมีแนวโน้มสอดคล้องกับผลการจำลองในโปรแกรม MATLAB/Simulink แสดงให้เห็นว่าการออกแบบเครือข่าย T-Source และการเลือกค่าพารามิเตอร์ของอุปกรณ์มีความเหมาะสมต่อการใช้งานจริง

เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Eswari และ Dhanya (2014) ซึ่งรายงานว่าวงจร T-Source สามารถเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าได้โดยใช้อุปกรณ์น้อยกว่าโครงสร้าง Z-Source พบว่า ผลการศึกษาค้างนี้มีแนวโน้มสอดคล้องกัน กล่าวคือ วงจรที่พัฒนาขึ้นยังคงรักษาความสามารถในการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพแม้จะมีจำนวนอุปกรณ์ในเครือข่ายอิมพีแดนซ์น้อยกว่า นอกจากนี้ผลการทดลองยังสอดคล้องกับ Liu et al. (2020) ที่รายงานว่าโครงสร้าง T-Source สามารถลดความซับซ้อนของระบบและลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าบางส่วนเมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างแบบดั้งเดิม

ในด้านการควบคุมสวิตช์ ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้เทคนิค Unipolar PWM สามารถสร้างแรงดันเอาต์พุตที่มีลักษณะใกล้เคียงรูปคลื่นไซน์และช่วยลดความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Sharma et al. (2014) ที่รายงานว่าเทคนิค Unipolar PWM สามารถลดฮาร์มอนิกของแรงดันเอาต์พุตและเพิ่มคุณภาพกำลังไฟฟ้าของอินเวอร์เตอร์ได้ดีกว่าการสวิตช์แบบ Bipolar PWM

อย่างไรก็ตาม เมื่อทดสอบกับโหลดเชิงเหนี่ยวนำ พบว่า รูปคลื่นกระแสมีความผิดเพี้ยนมากกว่าโหลดเชิงเส้น เนื่องจากผลของอิมพีแดนซ์และพฤติกรรมทางพลวัตของโหลดมอเตอร์ ซึ่งเป็นลักษณะที่พบได้ทั่วไปในระบบแปลงผันกำลังไฟฟ้า แม้ว่าจะเกิดความผิดเพี้ยนของกระแสบางส่วนแต่ระบบยังคงสามารถรักษาระดับแรงดันเอาต์พุตและทำงานได้อย่างต่อเนื่อง แสดงให้เห็นถึงเสถียรภาพของอินเวอร์เตอร์ T-Source ที่พัฒนาขึ้น

สรุปผล

บทความวิจัยนี้ได้นำเสนอการพัฒนาอินเวอร์เตอร์ T-Source ควบคุมด้วยพัลส์วิดท์มอดูเลชันแบบ Unipolar สำหรับการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า โดยดำเนินการออกแบบจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink และสร้างต้นแบบจริงเพื่อทดสอบสมรรถนะของระบบภายใต้โหลดเชิงเส้น และโหลดเชิงเหนี่ยวนำ

ผลการวิจัยพบว่า วงจร T-Source ที่พัฒนาขึ้นสามารถเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าจากแรงดันอินพุต 100 V เป็นแรงดันเอาต์พุตประมาณ 200 V ได้ตามค่าที่กำหนดไว้ใน การออกแบบ คิดเป็นอัตราการเพิ่มระดับแรงดันประมาณ 2 เท่า โดยผลการทดลองมีความสอดคล้องกับผลการจำลอง แสดงถึงความถูกต้อง

ของการออกแบบวงจรและระบบควบคุม นอกจากนี้ระบบยังสามารถให้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดประมาณร้อยละ 89.24 ภายใต้เงื่อนไขการทดสอบที่กำหนด

การควบคุมด้วยเทคนิค Unipolar PWM ช่วยให้แรงดันเอาต์พุตมีคุณภาพดีขึ้น และมีลักษณะใกล้เคียงรูปคลื่นไซน์ ส่งผลให้สามารถลดความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ ขณะที่การทดสอบกับโหลดเชิงเหนี่ยวนำแสดงให้เห็นว่าระบบยังคงสามารถรักษาระดับแรงดันเอาต์พุตและทำงานได้อย่างต่อเนื่อง แม้ว่ารูปคลื่นกระแสจะมีความผิดเพี้ยนเพิ่มขึ้นจากผลของลักษณะโหลด

จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าอินเวอร์เตอร์ T-Source ที่พัฒนาขึ้นมีศักยภาพในการประยุกต์ใช้งานด้านระบบแปลงผันกำลังไฟฟ้า ระบบพลังงานทดแทน และงานอิเล็กทรอนิกส์กำลังที่ต้องการการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าและการแปลงผันพลังงานภายในขั้นตอนเดียวอย่างมีประสิทธิภาพ

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอินเวอร์เตอร์ T-Source สามารถเพิ่มระดับแรงดันได้ใกล้เคียงค่าที่ออกแบบไว้ โดยผลดังกล่าวสอดคล้องกับงานของ Liu et al. (2020) และ Eswari & Dhanya (2014) ที่รายงานว่าวงจร T-Source สามารถลดจำนวนอุปกรณ์เมื่อเปรียบเทียบกับ Z-Source ขณะเดียวกันยังคงคุณสมบัติการเพิ่มแรงดันได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้การใช้เทคนิค Unipolar PWM ยังช่วยลดความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นแรงดันเอาต์พุตและเพิ่มคุณภาพกำลังไฟฟ้าของระบบ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี ที่ให้การสนับสนุนด้านห้องปฏิบัติการเครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย ตลอดจนสนับสนุนสภาพแวดล้อมทางวิชาการที่เอื้อต่อการพัฒนาและทดสอบต้นแบบอินเวอร์เตอร์ T-Source จนทำให้งานวิจัยฉบับนี้สามารถดำเนินการและบรรลุวัตถุประสงค์ตามที่กำหนดไว้ได้อย่างสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

Abdeen, E., Gaafar, M. A., Orabi, M., & Shoyama, M. (2019). Three-level T-type buck-boost voltage source inverter. In 2019 IEEE Conference on Power Electronics and Renewable Energy (CPERE). (pp. 175-180). doi: 10.1109/CPERE45374.2019.8980233.

- Alarcón-Maza, K., Balseca, B., Alarcón-Maz, G., & Saquariña, D. A. (2023). Electronic design of a DC–DC boost converter for powering a Lo-Ra communication board with bioelectricity by “Plantas Andinas”. **ESPOCH Congresses: The Ecuadorian Journal of STEAM**, 3(1), 611-629.
- Effah, F. B., Wheeler, P., Clare, J., & Watson, A. J. (2012). Space-vector-modulated three-level inverters with a single Z-source network. **IEEE Transactions on Power Electronics**, 28(6), 2806-2815.
- Eswari, K., & Dhanya, R. (2014). Analysis of T-source inverter with PWM technique for high voltage gain application. **Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science**, 12(8), 5709-5719.
- Feng, Y., Li, K., Gao, M., Liu, Y., Li, X., & Zhu, J. (2021). Optimal operation and control design of DC arrester for renewable energy transmission. **Frontiers in Energy Research**, 9:759434. doi: 10.3389/fenrg.2021.759434
- Lakshmi, G. S., & Kumar, S. N. (2023). Comparison of multilevel inverters with T-type MLI: A brief review. **Journal Kejuruteraan**. 35(4), 803-809.
- Liu, H., Zhou, B., Li, Y., Chen, J., & Loh, P. C. (2020). High-efficiency T-source inverter with low voltage spikes across the switch bridge. **IEEE Transactions on Power Electronics**, 35(10), 10554-10566.
- Nugroho, N., Firmansyah, E., & Suharyanto, S. (2017). Single phase full bridge inverter control as reactive power compensator. **International Journal of Information Technology and Electrical Engineering**, 1(4), 117-124
- Oppong, F. N., Ahmed, H. F., Khan, A. A., & Quaicoe, J. E. (2025). Single-phase quadratic-based common-ground boost inverter. **IEEE Transactions on Industry Applications**, 62(2), 2807-2817.
- Saurabh, K., Lalabhai, P. K., Mankani, A., Chakraborty, A., Naugraiya, A., Tharun, M., Amal, S., Christain, P. D., & Baruah, U. K. (2025). Modeling, analysis, and prototyping of a cascaded H-bridge multilevel inverter system using TI F28379D microcontroller for high-voltage applications. In **2025 Fourth International Conference on Power, Control and Computing Technologies (ICPC2T)**, Raipur, India. (pp. 1-6). doi: 10.1109/ICPC2T63847.2025.10958740.

- Sharma, A. K., Sharma, A. K., & Vijay, N. (2014). Unipolar and bipolar SPWM voltage modulation type inverter for improved switching frequencies. **International Journal of Engineering Sciences & Research Technology**, 3(8), 121-126.
- Sivaraman, P., & Desanayagi, R. (2013). Performance analysis of PV fed single phase T-source inverter. In **2013 International Conference on Power, Energy and Control (ICPEC), Dindigul, India**. (pp. 266-271). doi: 10.1109/ICPEC.2013.6527663.
- Strzelecki, R., Adamowicz, M., Strzelecka, N., & Bury, W. E. (2009). New type T-source inverter. In **2009 Compatibility and Power Electronics, Badajoz, Spain**. (pp. 191-195). doi: 10.1109/CPE.2009.5156034.
- Tuan, D. A., Vu, P., & Liễn, N. V. (2021). Design and control of a three-phase T-type inverter using reverse-blocking IGBTs. **Engineering, Technology & Applied Science Research**, 11(1), 6614-6619.

การพัฒนาผลิตภัณฑ์คุกกี้จากผักเคล

อรอนงค์ ศรีพาทกุล^{1*} วันวิสา สามสีลา² และไพลิน สายสาหร่าย³

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์คุกกี้จากผักเคลอบแห้ง โดยศึกษาปริมาณผักเคลที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์คุกกี้ที่ 4 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 0 2 4 และ 6 ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด พบว่า ผู้บริโภคให้การยอมรับคุกกี้ที่เสริมผักเคลร้อยละ 2 ซึ่งมีคะแนนความชอบโดยรวมในระดับชอบมาก (7.67 ± 0.89) เนื่องจากคุกกี้มีความกรอบร่วน มีสีเขียวน่ารับประทาน มีกลิ่นของผักเคลที่พอเหมาะ และการเพิ่มปริมาณผักเคลในคุกกี้ ส่งผลทำให้คุกกี้มีความแข็งเพิ่มขึ้น จากการศึกษาอายุการเก็บรักษาของคุกกี้ผักเคลในบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด คือ ถุงซิปล็อคกระดาษคราฟท์ ด้านหน้าทำจากพลาสติกใสชนิดพอลิเอทิลีน เทเรพทาเลต และถุงซิปล็อคเมทัลไลต์ ด้านหน้าทำจากพลาสติกใสชนิดพอลิเอทิลีน ปิดผนึกแบบปกติ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า การเก็บคุกกี้ผักเคลในถุงซิปล็อคเมทัลไลต์ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า ถึงแม้จะมีสีเขียวลดลง แต่ยังมีคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในเกณฑ์การยอมรับของผลิตภัณฑ์ที่กำหนดไว้ และผลจุลินทรีย์ทั้งหมดและยีสต์รา มีจำนวนต่ำกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน

คำสำคัญ: ผักเคล คุกกี้ อายุการเก็บรักษา

^{1,2,3} สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

* ผู้ประสานงานหลัก e-mail: Oranong.sri@gmail.com

วันที่รับบทความ 11 มิถุนายน 2569

วันที่แก้ไขบทความ 25 มิถุนายน 2569

วันที่ตอบรับบทความ 28 มิถุนายน 2569

Development of Cookies from Kale

Ornanong Sripawatakul^{1*} Wanwisa Samsila² and Pailin Saisarai³

ABSTRACT

This research aimed to develop cookies made from dried kale. Four levels of kale content were studied: 0%, 2%, 4%, and 6% of the total flour weight. The results showed that consumers preferred cookies fortified with 2% kale, achieving a high preference score (7.67 ± 0.89). This was attributed to the cookies' crispness, appealing green color, and pleasant kale aroma. Increasing the amount of kale in cookies resulted in hardness of cookies. The shelf life study of kale cookies in two types of packaging; a kraft paper zip-lock bag with a clear polyethylene terephthalate plastic window and a metallized zip-lock bag with a clear polyethylene plastic window; sealed and stored at room temperature for 4 weeks showed that storing kale cookies in a metallized zip-lock bag yielded better results. Although the green color was reduced, the overall preference score remained within acceptable criteria while the total microbial count and yeast/mold levels were below the Thai Community Product Standard.

Keywords: kale, cookie, shelf life

^{1,2,3} Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Technology, Phetchaburi Rajabhat University

* Corresponding author e-mail: Ornanong.sri@gmail.com

Received: Jun 11, 2026

Revised: Jun 25, 2026

Accepted: Jun 28, 2026

บทนำ

ผักเคล (kale) เป็นพืชผักในวงศ์ Brassicaceae เช่นเดียวกับกะหล่ำ กะหล่ำปลี บร็อคโคลี่ และกะหล่ำดอก มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Brassica oleracea* L. Acephala group มีหลายสายพันธุ์ด้วยกัน ซึ่งจะมีลักษณะของใบที่แตกต่างกัน เช่น ใบเรียวยาวสีเขียว ใบหยักสีเขียวหรือสีม่วง ขอบใบเรียบหรือขอบใบเป็นลอน ลำต้นมีสีม่วงหรือสีเขียว ผักเคลถูกขนานนามว่าเป็น ราชนิแห่งผักสีเขียว และได้รับการยอมรับว่าเป็น super food หรืออาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง และหลากหลาย เมื่อเทียบกับผักประเภทอื่น ๆ ในปริมาณที่เท่ากัน คุณสมบัติเด่นทางโภชนาการ คือ ผักเคลมีเส้นใยอาหารปริมาณมาก ช่วยลดระดับไขมันและคอเลสเตอรอล มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระสูง ได้แก่ เคลมีลูทีน ซีแทนซิน และเบต้าแคโรทีน มีโพแทสเซียมสูง เป็นส่วนช่วยในเรื่องของหัวใจ ผักเคลเป็นแหล่งแร่ธาตุที่ดี โดยแร่ธาตุต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อร่างกาย พบว่า มีอยู่ในผักเคลเกือบครบทุกชนิด เช่น แคลเซียม มีความสำคัญต่อสุขภาพกระดูกและฟัน แมกนีเซียม ซึ่งเป็นแร่ธาตุที่ช่วยป้องกันโรคเบาหวาน และโรคหัวใจ มีสารออกซาเลตต่ำ ช่วยให้ร่างกายดูดซึมแร่ธาตุได้ดี และผักเคลมีแคลอรีต่ำเป็นส่วนช่วยในการลดน้ำหนัก (วัชรินทร์ จันทวรรณ, ม.ป.ป.)

ในการเพาะปลูกผักเคล จะมีผักเคลที่ไม่สมบูรณ์หรือส่วนที่เป็นตำหนิ เช่น ใบมีขนาดเล็ก สีไม่สวย และมีรอยที่เกิดจากศัตรูพืช ทำให้เกษตรกรส่วนใหญ่ นำผักเคลไม่สมบูรณ์ไปทิ้ง หรือนำไปเป็นอาหารสัตว์ แต่ผักเคลในส่วนนี้ยังสามารถนำมาบริโภคและแปรรูปได้ เนื่องจากยังอุดมไปด้วยสารอาหารและคุณค่าทางโภชนาการที่เป็นประโยชน์ ดังนั้นจึงมีการนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ เช่น น้ำผักเคล ผักเคลอบกรอบ และผงผักเคล เนื่องจากผักเคลเป็นผักสด จึงเลือกวิธีการแปรรูปเป็นกระบวนการอบแห้ง เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของผักเคลให้นานขึ้น แต่การบริโภคผงผักเคลอย่างเดียวยังไม่เป็นที่นิยม เพราะมีกลิ่นรสที่เป็นเอกลักษณ์ของผัก ดังนั้นการนำผงผักเคลมาใส่ในขนมอบ จะช่วยเพิ่มทางเลือกให้กับผู้บริโภค ซึ่งในปัจจุบันผลิตภัณฑ์ขนมอบประเภทแป้งได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก

คุณก็เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีอยู่มากตามท้องตลาด คุณก็ได้รับความนิยมในการบริโภคเนื่องจากสะดวกต่อการรับประทาน มีกระบวนการผลิตที่ไม่ซับซ้อน มีหลายรูปแบบ สามารถเก็บรักษาได้นาน มีรสชาติหอมหวาน กรอบร่วน ซึ่งมีลักษณะเฉพาะตัว และมีอัตราการขยายธุรกิจที่เพิ่มมากขึ้น คุณก็เป็นผลิตภัณฑ์ขนมอบที่ทำจาก แป้งสาลี เนย และน้ำตาลเป็นส่วนผสมหลัก ซึ่งจะให้คุณค่าทางโภชนาการจาก คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน แต่ยังขาดสารอาหารประเภทเส้นใย (ผกาดี ภูจันทร์, 2559) ดังนั้นผักเคลจึงเหมาะสมในการนำมาพัฒนาผลิตภัณฑ์คุณก็ เพื่อเพิ่มสารอาหารประเภทเส้นใยเป็นตัวเลือกให้กับผู้บริโภค และเพิ่มมูลค่าให้แก่ผักเคล งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ศึกษาปริมาณ

การใช้ผักเคลอบแห้งที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์คุกกี้ เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ ทั้งนี้ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ใหม่และเป็นการช่วยเพิ่มมูลค่าให้แก่ผักเคล

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมผักเคลอบแห้ง

นำผักเคลมาทำการตัดใบที่เสียหรือช้ำออก ล้างทำความสะอาด 3 ครั้ง ตัดก้านออก และหั่นเป็นแผ่นขนาด 2 เซนติเมตร นำไปลวกที่อุณหภูมิ 95 ± 3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที ทำให้เย็น สะเด็ดน้ำ และผึ่งผักเคลในตะกร้า 30 นาที จากนั้นนำไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง จนผักเคลมีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 12 ของน้ำหนัก อ้างอิงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ผักและผลไม้แห้ง (มผช.136/2558) ด้วยการวัดปริมาณความชื้นโดยใช้วิธีการอบแห้ง (drying method) ตามวิธีของ AOAC (2000)

2. พัฒนาผลิตภัณฑ์คุกกี้จากผักเคล

ทำการคัดเลือกสูตรต้นแบบคุกกี้เนยจากสูตรมาตรฐาน 3 สูตร ดังตารางที่ 1 ใช้วิธีการผสมแบบครีมมิง (creaming method) คือ ตีเนยให้ขึ้นฟู ใส่น้ำตาลทราย และไข่ไก่ จนส่วนผสมเข้ากันดี ใส่ส่วนผสมของแป้งที่ร่อนรวมกับ ผงฟู เบกกิ้งโซดา วานิลลา โดยใส่แป้งสลับกับของเหลวในสูตร ขึ้นรูปในถาดที่ทาด้วยเนยขาว ให้คุกกี้แต่ละชิ้นมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร ความหนา 1 เซนติเมตร นำไปอบที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที แะะคุกกี้วางบนตะแกรง เมื่อคุกกี้เย็นบรรจุใส่บรรจุภัณฑ์

ตารางที่ 1 สูตรมาตรฐานคุกกี้เนย 3 สูตร

วัตถุดิบ	สูตรที่ 1		สูตรที่ 2		สูตรที่ 3	
	กรัม	ร้อยละ*	กรัม	ร้อยละ*	กรัม	ร้อยละ*
แป้งสาลีอเนกประสงค์	500	100	500	100	500	100
เนยสด	100	20	375	75	237.5	47.5
เนยขาว	-	-	-	-	100	20
มาการีน	150	30	-	-	-	-
น้ำตาลทราย	350	70	212.5	42.5	317.5	63.5
ไข่ไก่	50	50	50	50	100	20
นมสด	-	-	30	6	-	-

ตารางที่ 1 สูตรมาตรฐานคุกกี้เนย 3 สูตร (ต่อ)

วัตถุดิบ	สูตรที่ 1		สูตรที่ 2		สูตรที่ 3	
	กรัม	ร้อยละ*	กรัม	ร้อยละ*	กรัม	ร้อยละ*
ผงฟู	3.90	0.78	6.25	1.25	7.50	1.5
โซเดียมไบคาร์บอเนต	3.30	0.66	-	-	-	-
กลีนิวานิลลาผง	13.20	2.64	8.35	1.67	3	0.6
นมข้นจืด	-	-	-	-	45	9
นมผง	-	-	18.75	3.75	-	-

หมายเหตุ: * ร้อยละโดยน้ำหนักแบ่งทั้งหมด

ที่มา: สูตรที่ 1 ดัดแปลงจาก สูตรเจี๊หลี่ (หอมกาแฟ, 2557)

สูตรที่ 2 ดัดแปลงจาก สูตร Overproof Bakery House (2563)

สูตรที่ 3 ดัดแปลงจาก สูตรบ้านขนม (2564)

ทำการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของคุกกี้เพื่อคัดเลือกสูตรที่เหมาะสม โดยใช้วิธีการทดสอบแบบ 9-point hedonic scale ซึ่งมีระดับคะแนนตั้งแต่ 1-9 (1 = ไม่ชอบมากที่สุด 5 = เฉย ๆ และ 9 = ชอบมากที่สุด) ทำการประเมินคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน

ศึกษาปริมาณการใช้ผงผักเคลที่เหมาะสมในการผลิตคุกกี้ โดยใส่ผงผักเคลอบแห้งที่มีขนาด 80 เมช (mesh) ที่ 3 ระดับ คือ ร้อยละ 2 4 และ 6 โดยน้ำหนักของแบ่งทั้งหมด เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่มีการใส่ผงผักเคล ทำการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของคุกกี้ผักเคล โดยใช้วิธีการทดสอบแบบ 9-point hedonic scale ซึ่งมีระดับคะแนนตั้งแต่ 1-9 (1 = ไม่ชอบมากที่สุด 5 = เฉย ๆ และ 9 = ชอบมากที่สุด) ทำการประเมินคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน

3. ศึกษาอายุการเก็บรักษาคุกกี้จากผักเคล

นำผลิตภัณฑ์คุกกี้ผักเคลที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดจากขั้นตอนก่อนหน้านี้มาศึกษาอายุการเก็บรักษา โดยศึกษาการเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด คือ ถุงซิปล็อคกระดาษคราฟท์ ด้านหน้าพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีน เทเรพทาเลต และถุงซิปล็อคเมทัลไลต์ ด้านหน้าพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีน ปิดผนึกแบบปกติ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ทำใหม่ทุกครั้ง สุ่มตัวอย่างตรวจทุก 7 วัน เป็นเวลา 30 วัน ทำการประเมินคุณภาพคุกกี้ผักเคล ดังนี้

3.1 คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่

(1) ค่าสีของคุกกี้ โดยใช้เครื่องวัดสี Hunter Color Lap วัดค่าสีด้วยระบบ CLE โดยวัดค่าความสว่าง L^* ค่าสีแดง a^* และค่าสีเหลือง b^*

(2) ค่าความแข็งของคุกกี้ โดยใช้เครื่อง Texture Analyzer รุ่น TA.XT Plus ใช้ใบมีด HDP/BS Blade

3.2 คุณภาพทางจุลินทรีย์ ได้แก่

(1) ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด โดยวิธี Total viable count ใช้การ Pour plate โดยใช้วิธีของ AOAC (2000) ต้องไม่เกิน 1×10^4 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน คุกกี้ (มพช.118/2555)

(2) ปริมาณยีสต์และรา โดยใช้วิธีของ AOAC (2000) ต้องน้อยกว่า 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม

3.3 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของคุกกี้ฝักเคล

ใช้วิธีการทดสอบแบบ 9-point hedonic scale ซึ่งมีระดับคะแนนตั้งแต่ 1-9 (1 = ไม่ชอบมากที่สุด 5 = เฉย ๆ และ 9 = ชอบมากที่สุด) ทำการประเมินคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ผลการเตรียมฝักเคลอบแห้ง

ฝักเคลสดมีปริมาณความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 93 ± 0.44 ของน้ำหนัก หลังการอบแห้งฝักเคลมีความชื้นสุดท้ายร้อยละ 7.24 ± 0.13 จากการศึกษาผลของการลวกก่อนการอบแห้ง พบว่าการลวกทำให้ฝักเคลอบแห้งมีสีเขียวดีกว่าฝักเคลที่ไม่ผ่านการลวกก่อนมาอบแห้งซึ่งจะมีสีเขียวออกน้ำตาล ดังรูปที่ 1 เนื่องจากการลวกสามารถยับยั้งเอนไซม์ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล ได้แก่ เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส และช่วยยับยั้งคุณสมบัติของเอนไซม์ที่ย่อยสลายคลอโรฟิลล์ทำให้คลอโรฟิลล์สามารถเก็บไว้ได้นานขึ้น (Xiao et al., 2017)



รูปที่ 1 ผักเคลอบแห้งจากผักเคลที่ไม่ผ่านการลวกและที่ผ่านการลวก

ในการอบแห้งผักเคล ค่าร้อยละผลผลิต (% yield) เป็นค่าที่บอกปริมาณของผักเคลแปรรูปที่เหลืออยู่จริงเมื่อเทียบกับปริมาณวัตถุดิบผักเคลสดเริ่มต้น สามารถคำนวณได้จากดังสมการ ต่อไปนี้

$$\text{ร้อยละผลผลิต} = \frac{\text{น้ำหนักของผักเคลหลังอบแห้ง}}{\text{น้ำหนักของผักเคลสด}} \times 100 \quad (1)$$

การทดลองนี้พบว่า ค่าร้อยละผลผลิตของการเตรียมผักเคลอบแห้งอยู่ในช่วง ร้อยละ 9.96-10.84

2. ผลการพัฒนาผลิตภัณฑ์คุกกี้จากผักเคล

ผลการคัดเลือกสูตรมาตรฐานที่ผู้บริโภคยอมรับมากที่สุด จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของคุกกี้ 3 สูตร ด้วยวิธี 9-point hedonic scale แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของคุกกี้สูตรมาตรฐาน 3 สูตร

สูตรที่	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
1	7.12±1.05 ^a	7.42±1.06 ^a	7.06±1.41 ^b	7.19±1.41 ^b	7.26±1.10 ^{ab}	7.29±1.03 ^b
2	6.42±1.35 ^b	6.52±1.31 ^b	7.10±1.38 ^b	7.10±1.38 ^b	6.81±1.33 ^b	7.13±1.26 ^b
3	7.42±1.25 ^a	7.58±1.29 ^a	7.81±1.25 ^a	7.81±1.25 ^a	7.58±1.34 ^a	7.87±0.97 ^a

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

พบว่า มีคุณลักษณะทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยคุกกี้สูตรที่ 3 ผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับคุณลักษณะทั้งหมดมากที่สุด ทางด้านคะแนนความชอบโดยรวม มีค่าเท่ากับ 7.87 ซึ่งมีค่าอยู่ในระดับความชอบมาก โดยคุกกี้สูตรที่ 3 มีเนื้อสัมผัสที่กรอบร่วน ขึ้นฟู มีกลิ่นหอมของเนยสด มีรสชาติที่หวานพอดี เนื่องจากในคุกกี้สูตรที่ 3 มีส่วนผสมของเนยขาว ทำให้ส่วนผสมของคุกกี้ก่อนอบมีความชื้นส่งผลทำให้คุกกี้มีความชื้นฟูมากที่สุด คุกกี้สูตรที่ 2 ผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับทางด้านลักษณะปรากฏ สี และกลิ่น น้อยที่สุด โดยคุกกี้สูตรที่ 2 มีความแบนราบ มีเนื้อสัมผัสที่แข็งกรอบ และมีรสชาติหวานน้อย เนื่องจากคุกกี้สูตรที่ 2 ใส่เนยสดเพียงอย่างเดียวซึ่งเนยสดจะทำให้ส่วนผสมของคุกกี้ก่อนอบมีความเหลวและมีปริมาณน้ำตาลทรายน้อยที่สุด (จิตธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล, 2556) และคุกกี้สูตรที่ 1 มีเนื้อสัมผัสที่นุ่ม มีกลิ่นไข่มาก มีรสชาติหวานมาก เนื่องจากมีการใส่ไข่และน้ำตาลในปริมาณมากกว่าสูตรอื่น และมีกลิ่นหอมของเนยสดที่น้อยเพราะใช้มาการีนในปริมาณที่มากกว่าเนยสด โดยมาการีนจะมีความหอมและรสชาติที่ไม่ดีเท่าเนยสด (สุภาพร พาเจริญ และคณะ, 2555)

ผลการศึกษาปริมาณการเสริมผักเคลที่เหมาะสมในการผลิตคุกกี้ จากการใส่ผักเคลในปริมาณร้อยละ 2 4 และ 6 โดยน้ำหนักของแป้งทั้งหมด เปรียบเทียบกับสูตรควบคุมที่ไม่มีการใส่ผักเคลพบว่า เมื่อใส่ผักเคลในปริมาณที่มากขึ้นจะทำให้คุกกี้เนยมีสีเขียวเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 คุกกี้เสริมผักเคลที่ปริมาณต่าง ๆ

ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของคุกกี้เสริมผักเคลที่ปริมาณต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของคุกกี้เสริมผักเคลที่ปริมาณต่าง ๆ

ร้อยละ ผักเคล	ลักษณะ ปรากฏ	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส ^{ns}	ความชอบ โดยรวม
0	7.07±0.98 ^a	7.13±0.94 ^a	7.17±0.90 ^a	7.23±0.82 ^a	7.35±1.02	7.23±0.87 ^b
2	7.27±0.95 ^a	7.47±0.70 ^{ab}	7.30±1.09 ^a	7.37±1.14 ^a	7.20±0.93	7.67±0.89 ^a
4	6.74±0.96 ^b	6.93±1.14 ^b	6.67±1.16 ^b	6.89±1.36 ^b	7.04±1.20	7.14±0.73 ^b
6	6.60±0.93 ^b	6.37±1.27 ^c	6.40±1.33 ^b	6.57±1.38 ^b	6.93±0.95	6.80±1.30 ^c

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ต่างกันตามแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น

ร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อร้อยละ 95 ($p > 0.05$)

พบว่า ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ด้านเนื้อสัมผัสของคุกกี้เสริมผักเคลทั้ง 4 ระดับไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น และรสชาติ ผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับคุกกี้เสริมผักเคลที่ปริมาณร้อยละ 2 มากที่สุด โดยสูตรนี้ได้คะแนนความชอบโดยรวมในระดับชอบมาก (7.67±0.89) เนื่องจากคุกกี้มีความกรอบร่วน มีสีเขียวที่น่ารับประทาน มีกลิ่นของผักเคลที่พอเหมาะและมีรสชาติมันของผักเคลที่ช่วยเสริมให้รสชาติคุกกี้ดีขึ้น แต่การใส่ผักเคลในปริมาณที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้คะแนนทางด้านประสาทสัมผัสลดลง เนื่องจากการใส่ผักเคลในปริมาณมากทำให้กลิ่นผักเคลกลบกลิ่นของคุกกี้เนย และทำให้สีของคุกกี้มีสีเขียวที่มากจนเกินไป

3. ผลการศึกษาอายุการเก็บรักษาคุกกี้จากผักเคล

นำคุกกี้ที่เสริมผักเคลร้อยละ 2 มาศึกษาอายุการเก็บรักษาโดยบรรจุคุกกี้ในบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด คือ ถุงซิปล็อคกระดาษคราฟท์ ด้านหน้าพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีน เทเรฟทาเลต และถุงซิปล็อคเมทัลไลต์ ด้านหน้าพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีน ปิดผนึกแบบปกติ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง สุ่มตัวอย่างตรวจทุก 7 วัน เป็นเวลา 30 วัน ผลการวัดค่าสีและค่าความแข็งของคุกกี้ เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมคือคุกกี้ผักเคลที่ทำใหม่ทุกครั้ง แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าสีและค่าความแข็งของคุกกี้ผักเคลที่เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม

สัปดาห์	บรรจุภัณฑ์	ค่าสี			ค่าความแข็ง (hardness) N
		L ^{ns}	a [*]	b [*]	
0	ควบคุม	64.77±0.78	2.76±0.56 ^a	29.63±1.55 ^a	21.12±1.23 ^a
	กระดาษคราฟท์	64.55±0.89	2.88±0.66 ^a	28.79±0.76 ^a	19.23±0.49 ^a
	เมทัลโลท์	64.32±1.23	2.97±0.43 ^a	28.53±0.54 ^a	20.56±0.43 ^a
1	ควบคุม	64.57±0.49	2.84±0.37 ^a	29.81±1.63 ^a	20.81±1.63 ^a
	กระดาษคราฟท์	64.61±0.77	3.03±0.62 ^a	28.32±0.65 ^a	18.69±1.39 ^a
	เมทัลโลท์	64.52±0.81	3.07±0.34 ^a	28.76±1.37 ^a	19.39±1.24 ^a
2	ควบคุม	64.65±0.54	2.83±0.68 ^a	30.62±0.63 ^a	20.89±0.29 ^a
	กระดาษคราฟท์	65.32±0.77	3.27±0.19 ^a	27.95±0.95 ^a	16.81±1.47 ^b
	เมทัลโลท์	65.03±1.66	3.16±0.13 ^a	28.67±0.93 ^a	17.50±1.61 ^b
3	ควบคุม	64.50±0.75	2.79±0.56 ^b	31.43±1.64 ^a	21.54±1.43 ^a
	กระดาษคราฟท์	66.10±1.51	3.59±0.51 ^a	27.03±0.17 ^b	14.79±0.64 ^c
	เมทัลโลท์	66.04±0.46	3.56±0.13 ^a	28.09±0.84 ^b	17.09±0.61 ^b
4	ควบคุม	64.71±0.21	2.88±0.98 ^b	31.76±0.89 ^a	21.32±1.78 ^a
	กระดาษคราฟท์	66.78±1.34	3.68±0.42 ^a	26.77±0.54 ^b	13.76±0.32 ^c
	เมทัลโลท์	66.55±0.67	3.61±0.13 ^a	27.95±0.22 ^b	16.05±0.76 ^b

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ต่างกันตามแนวตั้งในแต่ละสัปดาห์ หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อร้อยละ 95 ($p > 0.05$)

พบว่า ค่าความแข็งของคุกกี้ที่เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับตัวอย่างควบคุม เมื่อเก็บรักษาได้ 2 สัปดาห์ คือมีความกรอบน้อยกว่าคุกกี้ที่ทำใหม่ และเมื่อเก็บรักษาได้ 3 สัปดาห์ คุกกี้ที่เก็บรักษาในถุงซิปล็อคกระดาษคราฟท์ มีความกรอบน้อยกว่าคุกกี้ที่เก็บในถุงซิปล็อคเมทัลโลท์ เนื่องจากกระดาษคราฟท์มีข้อเสียในเรื่องของการป้องกันความชื้นได้น้อยกว่า ทำให้ความชื้นจากบรรยากาศภายนอกสามารถซึมผ่านถุงเข้าไปได้ (ปุ่น คงเจริญเกียรติ และสมพร คงเจริญเกียรติ, 2541) เมื่อคุกกี้สัมผัสกับความชื้นส่งผลทำให้คุกกี้มีความกรอบน้อยลง ทางด้านค่าสี คุกกี้ที่เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับตัวอย่างควบคุม โดยคุกกี้ผักเคลที่เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ ทั้ง 2 ชนิด

เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเก็บรักษาได้ 3 สัปดาห์ คุณก็มียีสี่เขียวที่ลดลง เห็นได้จากค่าสีแดง (a^*) ที่เพิ่มขึ้น และค่าสีเหลือง (b^*) ที่ลดลง เนื่องจากบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 แบบมีด้านหน้าเป็นพลาสติกที่มีความโปร่งแสง ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และอาจเกิดจากระยะเวลาการเก็บรักษานานมากขึ้นอาจทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ขึ้นในผลิตภัณฑ์ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ในผักเคลอบแห้งลดลง (ดวงรัตน์ พรเทวบัญชา, 2554)

ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของคุณก็ผักเคลที่เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของคุณก็ผักเคลที่เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม

สัปดาห์	บรรจุภัณฑ์	คุณลักษณะ					
		ลักษณะปรากฏ ^{ns}	สี	กลิ่น	รสชาติ ^{ns}	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
0	ควบคุม	7.87±0.71	7.60±0.77 ^a	7.77±0.76 ^a	7.89±0.23	7.83±0.89 ^a	8.00±0.78 ^a
	กระดาษคราฟท์	7.73±0.97	7.40±0.80 ^a	7.74±0.97 ^a	7.83±0.11	7.72±0.81 ^a	7.88±1.45 ^a
	เมทัลโลท์	7.86±0.66	7.55±0.22 ^a	7.70±0.45 ^a	7.85±0.33	7.75±1.24 ^a	7.88±0.93 ^a
1	ควบคุม	7.78±1.21	7.68±0.44 ^a	7.81±0.93 ^a	7.86±1.45	7.89±1.22 ^a	7.92±0.45 ^a
	กระดาษคราฟท์	7.67±0.96	7.60±0.81 ^a	7.69±0.86 ^a	7.67±1.03	7.63±1.04 ^a	7.80±0.88 ^a
	เมทัลโลท์	7.63±1.00	7.57±1.08 ^a	7.72±1.22 ^a	7.70±1.29	7.70±0.91 ^a	7.84±1.29 ^a
2	ควบคุม	7.93±0.83	7.70±1.14 ^a	7.87±1.04 ^a	7.87±0.90	8.10±0.96 ^a	7.89±0.98 ^a
	กระดาษคราฟท์	7.67±1.21	7.43±0.95 ^a	7.63±0.94 ^a	7.83±1.12	7.63±1.12 ^a	7.67±1.06 ^a
	เมทัลโลท์	7.70±1.05	7.67±0.92 ^a	7.68±0.86 ^a	7.73±1.11	7.80±0.89 ^a	7.82±0.94 ^a
3	ควบคุม	7.97±0.73	8.01±0.84 ^a	8.10±0.88 ^a	8.00±0.87	8.13±0.85 ^a	7.93±0.63 ^a
	กระดาษคราฟท์	7.67±0.72	7.77±0.77 ^b	7.47±0.63 ^b	7.60±0.83	7.67±0.73 ^b	7.57±0.80 ^b
	เมทัลโลท์	7.77±0.63	7.86±0.74 ^b	7.54±0.78 ^b	7.73±0.73	7.89±0.69 ^b	7.67±0.56 ^b
4	ควบคุม	8.11±1.23	7.89±0.25 ^a	8.35±0.67 ^a	8.03±1.34	8.21±0.33 ^a	7.89±0.54 ^a
	กระดาษคราฟท์	7.65±0.45	7.52±0.34 ^b	7.33±0.90 ^b	7.86±0.21	7.34±1.20 ^b	7.43±0.26 ^b
	เมทัลโลท์	7.79±0.82	7.65±0.89 ^b	7.48±1.12 ^b	7.67±0.45	7.55±0.80 ^b	7.51±.71 ^b

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งในแต่ละสัปดาห์ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$)

พบว่า คุณลักษณะทางด้านสี กลิ่น เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมของคุกกี้ผักเคลที่เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับตัวอย่างควบคุมในสัปดาห์ที่ 3 ของการเก็บรักษา โดยผู้บริโภครู้สึกว่าความชอบลดลง เนื่องจากคุกกี้ผักเคลมีสีซีดจางลง ทำให้คุกกี้มีสีซีด มีกลิ่นของผักเคลมากขึ้น และเนื้อสัมผัสมีความกรอบน้อยลง และในสัปดาห์ที่ 4 ผู้บริโภคให้ความชอบโดยรวมของคุกกี้ผักเคลที่เก็บรักษาในถุงซิปล็อคกระดาษคราฟท์และเมทัลโลท์มีค่าเท่ากับ 7.43 และ 7.51 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์การยอมรับของผลิตภัณฑ์ที่กำหนดไว้

ผลการประเมินคุณภาพทางจุลินทรีย์ของคุกกี้ผักเคลที่เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด เป็นเวลา 30 วัน แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการประเมินคุณภาพทางจุลินทรีย์ของคุกกี้ผักเคลที่เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด

สัปดาห์	บรรจุภัณฑ์	จุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนี/กรัม)	ยีสต์และรา (โคโลนี/กรัม)
0	กระดาษคราฟท์	ไม่พบ	ไม่พบ
	เมทัลโลท์	ไม่พบ	ไม่พบ
1	กระดาษคราฟท์	ไม่พบ	ไม่พบ
	เมทัลโลท์	ไม่พบ	ไม่พบ
2	กระดาษคราฟท์	ไม่พบ	ไม่พบ
	เมทัลโลท์	ไม่พบ	ไม่พบ
3	กระดาษคราฟท์	1.7×10^2	4
	เมทัลโลท์	1.5×10^2	3
4	กระดาษคราฟท์	2.1×10^2	7
	เมทัลโลท์	1.7×10^2	5

พบว่า คุกกี้ผักเคลที่เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 3 สัปดาห์ มีการพบจุลินทรีย์ทั้งหมดและยีสต์รา แต่ยังมีจำนวนต่ำกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน คุกกี้ (มพช.118/2555) เนื่องจากกระบวนการผลิตคุกกี้ใช้ความร้อนสูง จึงมีการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์น้อย (นราธิป ปุณเกษม, 2559)

สรุปผล

คุกกี้ผักเคลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ ประกอบด้วย น้ำตาลทราย ร้อยละ 63.5 เนยสด ร้อยละ 47.5 เนยขาว ร้อยละ 20 ไข่ไก่ ร้อยละ 20 นมข้นจืด ร้อยละ 9 ผงผักเคลอบแห้ง ร้อยละ 2 และกลี้นวานิลา ร้อยละ 0.6 ซึ่งเป็นร้อยละโดยน้ำหนักของแป้งทั้งหมด บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม คือ ถุงซิปล็อคเมทัลไลต์ ด้านหน้าพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีน และมีอายุการเก็บรักษาอย่างน้อย 4 สัปดาห์

เอกสารอ้างอิง

- จิตธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล. (2556). **เบเกอรี่เทคโนโลยีเบื้องต้น**. (พิมพ์ครั้งที่ 12). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ดวงรัตน์ พรเทวบัญชา. (2554). **การพัฒนาผลิตภัณฑ์ผงโรยข้าว (ฟูริคาเกะ) จากผักสลัด**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร, มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- นราธิป ปุณเกษม (2559). การพัฒนาคุกกี้เนยสดเสริมใยอาหารจากอัลเบโดของส้มโอ. *SDU Research Journal*, 9(1), 35-50.
- บ้านขนม. (2564). **คุกกี้เนยสด**. ค้นเมื่อ 18 ธันวาคม 2565, จาก <https://www.youtube.com/watch?v=X0TqHW>.
- ปุ่น คงเจริญเกียรติ และสมพร คงเจริญเกียรติ. (2541). **บรรจุภัณฑ์อาหาร**. กรุงเทพฯ: แพคเมทส์.
- ผกาวิทย์ ภูจันทร์. (2559). ผลของการเสริมแคลเซียมจากกระดูกปลาสดต่อการยอมรับของผลิตภัณฑ์คุกกี้. *Life Sciences and Environment Journal*, 17(1), 54-61.
- วัชรินทร์ จันทวรรณ. (ม.ป.ป.). **ราชินีแห่งผักใบเขียว The Queen of green**. ค้นเมื่อ 24 พฤศจิกายน 2565, จาก <https://kb.mju.ac.th/assets/img/articleFile/256404058f6bfd239207486c8f5e3cbb42fd42ae.pdf>
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2555). **มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน คุกกี้ (มผช.118/2555)**. กรุงเทพฯ: กระทรวงอุตสาหกรรม.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2558). **มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ผักและผลไม้แห้ง (มผช. 136/2558)**. กรุงเทพฯ: กระทรวงอุตสาหกรรม.
- สุภาพร พาเจริญ, เสน่ห์ บัวสนธิ และสิริวรรณ สุขนิคม. (2555). **รายงานวิจัยเรื่องการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทคุกกี้จากแป้งข้าวกล้อง**. พระนครศรีอยุธยา: คณะเทคโนโลยีการเกษตร และอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ(หันตรา).

หอมกาแฟ. (2557). **นี่ก็ในตำนาน Butter Cookies**. ค้นเมื่อ 18 ธันวาคม 2565, จาก<https://pantip.com/topic/32168206>

AOAC. (2000). **Official Methods of Analysis of AOAC International**. (17th ed.). AOAC International.

Overproof Bakery House. (2563, 18 ธันวาคม). **Butter cookies คูกี้เนยสด** [Video file]. จาก <https://www.youtube.com/watch?v=EfFCRIUKoC8>

Xiao, H. W., Pan, Z., Deng, L. Z., El-Mashad, H. M., Yang, X. H., Mujumdar, A. S., Gao, Z. J. & Zhang, Q. (2017). Recent developments and trends in thermal blanching – A comprehensive review. **Information Processing in Agriculture**, 4(2), 101-127.

การศึกษาแป้งข้าวหอมนิลทดแทนแป้งสาธลิเนกประสงค์ ในผลิตภัณฑ์ขนมกลีบลำดวน

ศุภชัย พันขารี¹ ศรรัตน์ ทิพย์ผ่อง² และพีรพัฒน์ ใจงามดี^{3*}

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราส่วนการใช้แป้งข้าวหอมนิลทดแทนแป้งสาธลิเนกประสงค์ในผลิตภัณฑ์ขนมกลีบลำดวน โดยใช้แป้งข้าวหอมนิลทดแทนแป้งสาธลิเนกประสงค์ในอัตราส่วนร้อยละ 25 50 และ 75 ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด จากนั้นประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม กับผู้ทดสอบ 50 คน ด้วยวิธี 5-point hedonic scale วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ค่าเฉลี่ยและการวิเคราะห์ความแปรปรวน (one-way ANOVA) ผลการศึกษาพบว่า สูตรที่ใช้แป้งข้าวหอมนิลทดแทนแป้งสาธลิเนกประสงค์ร้อยละ 50 ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุดในระดับชอบ (4.12 ± 0.79) สรุปได้ว่า การใช้แป้งข้าวหอมนิลทดแทนแป้งสาธลิเนกประสงค์ในอัตราส่วนร้อยละ 50 ถือว่ามีความเหมาะสมสำหรับการพัฒนาคุกกี้กลีบลำดวน และสามารถเพิ่มมูลค่าให้กับข้าวหอมนิลในเชิงพาณิชย์ได้

คำสำคัญ: ขนมกลีบลำดวน แป้งข้าวหอมนิล การทดแทนแป้งสาธลิ

^{1,2,3} สาขาวิชาคหกรรมศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

* ผู้ประสานงานหลัก e-mail: Peerapat.J@dru.ac.th

วันที่รับบทความ 26 กุมภาพันธ์ 2569

วันที่แก้ไขบทความ 29 มิถุนายน 2569

วันที่ตอบรับบทความ 29 มิถุนายน 2569

A Study on the Substitution of Wheat Flour with Hom Nin Rice Flour in KleeB Lamduan Cookies

Supachai Pancharee¹ Satarat Thipphong² and Peerapat Jaingamdee^{3*}

ABSTRACT

This research aimed to study the substitution ratios of all-purpose wheat flour with Hom Nin rice flour in KleeB Lamduan cookies. The substitution ratios were 25%, 50%, and 75% of the total flour weight. Sensory qualities, including color, aroma, taste, texture, and overall acceptability, were evaluated by 50 panelists using a 5-point hedonic scale. Statistical analysis was performed using means and analysis of variance (one-way ANOVA). The results revealed that the formula with 50% Hom Nin rice flour substitution received the highest overall liking score within the "like" range (4.12 ± 0.79). In conclusion, the substitution of wheat flour with 50% Hom Nin rice flour is suitable for developing KleeB Lamduan cookies, while also enhancing the commercial value of Hom Nin rice.

Keywords: KleeB Lamduan cookies, Hom Nin rice flour, wheat flour substitution

^{1,2,3} Home Economics Program, Faculty of Science and Technology, Dhonburi Rajabhat University

* Corresponding author e-mail: Peerapat.J@dru.ac.th

Received: Feb 26, 2026

Revised: Jun 29, 2026

Accepted: Jun 29, 2026

บทนำ

ขนมไทยเป็นมรดกทางวัฒนธรรมที่สะท้อนภูมิปัญญา ความประณีต และเอกลักษณ์ของคนไทยที่สืบทอดกันมาอย่างยาวนาน ทั้งขนมพื้นบ้านและขนมชาววังล้วนแสดงถึงความคิดพิถีพิถันในการคัดเลือกวัตถุดิบ กรรมวิธีการผลิต และการตกแต่งที่งดงาม อีกทั้งยังมีความหมายเชิงสัญลักษณ์ที่เกี่ยวข้องกับประเพณีและวิถีชีวิตไทยในโอกาสสำคัญต่าง ๆ หนึ่งในขนมไทยที่มีความโดดเด่นคือ “กลีบลำดวน” ขนมไทยประเภทอบที่มีลักษณะคล้ายดอกลำดวน มีกลิ่นหอมจากการอบควันเทียน นิยมใช้ในงานมงคล โดยเฉพาะงานแต่งงาน เนื่องจากมีความหมายที่ดีและสามารถเก็บรักษานาน (ฐิติมาพร หนูเนียม และวิภาวรรณ วงศ์สุดาลักษณ์, 2559) ส่วนประกอบหลักของขนมกลีบลำดวน ได้แก่ แป้งสาลี น้ำมัน และน้ำตาล ซึ่งให้พลังงานสูงแต่มีคุณค่าทางโภชนาการไม่มากนัก

ข้าวหอมนิลมีลักษณะเด่นคือเมล็ดสีม่วงดำ กลิ่นหอมเฉพาะตัว และเนื้อสัมผัสนุ่มเมื่อหุงสุก สีม่วงดำของข้าวหอมนิลเกิดจากสารแอนโทไซยานิน (anthocyanin) ซึ่งเป็นสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ (flavonoids) จัดเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพสูง มีคุณสมบัติลดการอักเสบ และช่วยปกป้องเซลล์จากความเสียหายของปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Khoo et al., 2017) ปัจจุบันผู้บริโภคให้ความสำคัญกับการดูแลสุขภาพมากขึ้น ดังจะเห็นได้จากงานวิจัยที่ใช้แป้งจากข้าวสีเพื่อทดแทนแป้งเดิมในสูตรอาหาร เพื่อให้มีประโยชน์ต่อสุขภาพของผู้บริโภคมากขึ้น เช่น การใช้แป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์หมั่นโถว (สุพัตรา หวามาก, วนิตา ช่วยเรื่อง และธัชพร ไชยเจริญ, 2561) การแป้งข้าวสังข์หยดทดแทนแป้งข้าวเจ้าในผลิตภัณฑ์ขนมกรอบเค็ม (พัชรพงษ์ สุ่มขำ, ธมลวรรณ จันทฤทธิ์ และโสรัจจ์ วิสุทธิแพทย์, 2562) การใช้แป้งข้าวหอมนิลทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์เค้กชิฟฟอน (พรพรรณ พัวไพบูลย์ และคณะ, 2565) เป็นต้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจการพัฒนาขนมกลีบลำดวนโดยใช้แป้งข้าวหอมนิลมาทดแทนแป้งสาลีเนกประสงค์บางส่วน เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับขนมไทย พร้อมทั้งเป็นการประยุกต์ภูมิปัญญาดั้งเดิมให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภคยุคใหม่ที่ใส่ใจสุขภาพมากยิ่งขึ้น

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมแป้งข้าวหอมนิล

ทำการเตรียมแป้งข้าวหอมนิลด้วยการโม่แห้ง โดยตัดแปลงจากวิธีการของ อริสรา รอดม้วย และอรอุมา จิตโรโรภาส (2550) นำข้าวหอมนิลมาอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (hot air oven) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส บดให้ละเอียด และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช (Mesh)

2. การทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวหอมนิลในขนมกลีบลำดวน

ดัดแปลงสูตรพื้นฐานขนมกลีบลำดวน โดยใช้แป้งข้าวหอมนิลทดแทนแป้งสาลีในอัตราส่วน ร้อยละ 25 50 และ 75 ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด ดังตารางที่ 1 และมีขั้นตอนการทำ ดังนี้

- 1) ร่อนแป้งและน้ำตาลเข้าด้วยกัน ค่อย ๆ เติมน้ำมันพืช แล้วนวดจนส่วนผสมเข้ากันดี
- 2) แบ่งแป้งออกประมาณ 1/4 ถ้วย สำหรับทำเกสร ส่วนที่เหลือใช้ทำกลีบลดอก
- 3) ปั้นแป้งส่วนกลีบลดอกเป็นก้อนกลม แล้วแบ่งออกเป็น 4 ส่วน จัด 3 ส่วนให้ชนกันทแยงมุม เป็นรูปกลีบลดอก
- 4) ผสมแป้งส่วนที่แบ่งไว้กับน้ำมันเล็กน้อย ปั้นเป็นก้อนกลม แล้วติดไว้ตรงกลางเป็นเกสร
- 5) นำเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส อบประมาณ 20 นาที หรือจนขนมสุก
- 6) นำออกจากเตา พักให้เย็น และเก็บใส่ภาชนะที่มีฝาปิดมิดชิด

ตารางที่ 1 สูตรพื้นฐาน และสูตรทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวหอมนิลในขนมกลีบลำดวน

วัตถุดิบ	ปริมาณส่วนผสม (กรัม)			
	สูตรพื้นฐาน	สูตรทดแทนแป้งข้าวหอมนิล		
		ร้อยละ 25	ร้อยละ 50	ร้อยละ 75
แป้งสาลี	285	213.75	142.50	71.25
แป้งข้าวหอมนิล	-	71.25	142.50	213.75
น้ำตาลไอซิ่ง	150	150	150	150
เกลือ	4.5	4.5	4.5	4.5
น้ำมัน	135	135	135	135

3. การศึกษาการยอมรับของผู้บริโภค

นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคทั่วไป บริเวณมหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี และชุมชนย่านตลาดพลู จำนวน 50 คน โดยประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ 5 ระดับ (5-point hedonic scale) โดย 1 หมายถึง ไม่ชอบมาก 2 หมายถึง ไม่ชอบ 3 หมายถึง เฉย ๆ 4 หมายถึง ชอบ และ 5 หมายถึง ชอบมาก (ฐิติมาพร หนูเนียม และวิภาวรรณ วงศ์สุดาลักษณ์, 2559)

นำข้อมูลมาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างตัวอย่างด้วยสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way Analysis of Variance: one-way ANOVA)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ผลการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวหอมนิลในขนมกลีบลำดวน

ผลการทดแทนแป้งสาลีเนกประสงค์ด้วยแป้งข้าวหอมนิลในขนมกลีบลำดวนในอัตราส่วนร้อยละ 25 50 และ 75 ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด พบว่า จากการตรวจสอบลักษณะปรากฏด้วยสายตา (visual evaluation) แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของสีในแต่ละผลิตภัณฑ์อย่างชัดเจน ดังรูปที่ 1 โดยสูตรที่ใช้แป้งข้าวหอมนิลทดแทนแป้งสาลีร้อยละ 25 มีสีอ่อนที่สุด สูตรที่ใช้แป้งข้าวหอมนิลทดแทนแป้งสาลีร้อยละ 50 มีสีเข้มขึ้นอย่างชัดเจน และสูตรที่ใช้แป้งข้าวหอมนิลทดแทนแป้งสาลีร้อยละ 75 มีสีเข้มที่สุด



รูปที่ 1 ขนมกลีบลำดวนที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวหอมนิลในอัตราส่วนร้อยละ 25 50 และ 75

จากการทดสอบชิมตัวอย่างผลิตภัณฑ์ พบว่า สูตรที่ใช้แป้งข้าวหอมนิลทดแทนแป้งสาลีร้อยละ 25 ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นหอมของแป้งสาลีร่วมกับกลิ่นแป้งข้าวหอมนิลในระดับอ่อน ความหวานมีความสมดุลตามสูตรมาตรฐาน เนื้อสัมผัสมีลักษณะร่วนตามเอกลักษณ์ของขนมกลีบลำดวน และมีความสากเล็กน้อยจากอนุภาคของแป้งข้าวหอมนิลที่กระจายในเนื้อผลิตภัณฑ์ สูตรที่ใช้แป้งข้าวหอมนิลทดแทนแป้งสาลีร้อยละ 50 ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นหอมของแป้งข้าวหอมนิลเด่นชัดมากขึ้นเล็กน้อย ความหวานยังคงอยู่ในระดับเดียวกับสูตรอื่น เนื้อสัมผัสมีความร่วนมากขึ้น และมีความสากเพิ่มขึ้นจากปริมาณแป้งข้าวหอมนิลที่สูงขึ้น และสูตรที่ใช้แป้งข้าวหอมนิลทดแทนแป้งสาลีร้อยละ 75 ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นหอมของแป้งข้าวหอมนิลเด่นชัดกว่าสูตรร้อยละ 25 และ 50 อย่างชัดเจน เนื้อสัมผัสยังคงลักษณะร่วน แต่มีความสากของเนื้อขนมมากขึ้นกว่าสูตรอื่น อันเป็นผลจากสัดส่วนแป้งข้าวหอมนิลที่สูง

ผลการศึกษาพบว่า การทดแทนแป้งสาลีเนกประสงค์ด้วยแป้งข้าวหอมนิลในผลิตภัณฑ์ขนมกลีบลำดวนส่งผลต่อคุณลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์อย่างชัดเจน ทั้งด้านสี กลิ่น และเนื้อสัมผัส เนื่องจากแป้งข้าวหอมนิลมีรงควัตถุแอนโทไซยานินตามธรรมชาติ จึงทำให้ผลิตภัณฑ์

มีสีเข้มขึ้นเมื่อปริมาณแป้งข้าวหอมนิลเพิ่มขึ้น อีกทั้งยังส่งผลให้ขนมมีกลิ่นเฉพาะตัวของข้าวหอมนิลเพิ่มขึ้น สำหรับด้านเนื้อสัมผัส พบว่า การใช้แป้งข้าวหอมนิลในสัดส่วนที่แตกต่างกันมีผลต่อความร่วนและความแน่นของเนื้อขนม เนื่องจากองค์ประกอบของแป้งข้าวหอมนิล มีปริมาณโปรตีนและเส้นใยอาหารแตกต่างจากแป้งสาลี ส่งผลต่อโครงสร้างของผลิตภัณฑ์หลังการอบ ผลิตภัณฑ์ทุกสูตรยังคงมีน้ำหนักเฉลี่ยใกล้เคียงกันที่ 8 กรัม แสดงให้เห็นว่า การทดแทนแป้งไม่ได้ส่งผลต่อน้ำหนักรวมของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญ แต่ส่งผลต่อคุณลักษณะด้านคุณภาพที่สามารถรับรู้ได้ทางประสาทสัมผัสมากกว่า

2. ผลการศึกษาการยอมรับของผู้บริโภค

ผลการศึกษาการยอมรับของผู้บริโภค จำนวน 50 คน ด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ 5 ระดับ แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์ขนมกลีบลำดวนสูตรทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวหอมนิล

คุณลักษณะ	สูตรทดแทนแป้งข้าวหอมนิล		
	ร้อยละ 25	ร้อยละ 50	ร้อยละ 75
ด้านสี ^{ns}	3.12±1.10	3.60±0.92	3.28±1.52
ด้านกลิ่น ^{ns}	3.24±0.93	3.56±1.01	3.22±1.05
ด้านรสชาติ ^{ns}	3.76±1.15	3.76±1.04	3.54±1.03
ด้านเนื้อสัมผัส	3.76±1.15 ^a	3.66±0.93 ^a	3.28±1.08 ^b
ความชอบโดยรวม ^{ns}	4.08±0.87	4.12±0.79	3.74±1.12

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวนอน หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ด้านสี กลิ่น และรสชาติ ของผลิตภัณฑ์ขนมกลีบลำดวนที่ทดแทนแป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งข้าวหอมนิลในทุกะดับ ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยสูตรที่ใช้แป้งข้าวหอมนิลทดแทนแป้งสาลีร้อยละ 50 มีแนวโน้มได้รับคะแนนเฉลี่ยด้านสีและด้านกลิ่นสูงที่สุด ส่วนด้านรสชาติของสูตรที่ใช้แป้งข้าวหอมนิลทดแทนแป้งสาลีร้อยละ 25 และ 50 ได้รับคะแนนเฉลี่ยเท่ากัน

ด้านเนื้อสัมผัส พบว่า ปริมาณแป้งข้าวหอมนิลที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสของขนมกลีบลำดวนมีแนวโน้มลดลง โดยสูตรที่ใช้แป้งข้าวหอมนิลทดแทนแป้งสาลีร้อยละ 25 และ 50 ได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสไม่แตกต่างกันในทางสถิติ แต่สูตรที่ใช้แป้งข้าวหอมนิลทดแทนแป้งสาลีร้อยละ 75 ได้รับคะแนนเฉลี่ยต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ขนมกลีบลำดวนที่ทดแทนแป้งสาลีเอนกประสงค์ด้วยแป้งข้าวหอมนิล พบว่า คะแนนเฉลี่ยจะมีความแตกต่างกันทางตัวเลข โดยสูตรที่ใช้แป้งข้าวหอมนิลทดแทนแป้งสาลีร้อยละ 50 ได้คะแนนเฉลี่ยสูงที่สุด ตามด้วยสูตรที่ใช้แป้งข้าวหอมนิลทดแทนแป้งสาลีร้อยละ 25 และ 75 ตามลำดับ แต่ในทางสถิติแล้วความชอบโดยรวมของทั้ง 3 สูตร ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

จากการวิเคราะห์ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์ขนมกลีบลำดวน สูตรทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวหอมนิล ทั้ง 3 สูตร สามารถอธิบายได้เป็น 3 ประเด็น ดังนี้

1) การยอมรับด้านลักษณะปรากฏ ด้านสี ด้านกลิ่น และด้านรสชาติ

การที่คะแนนด้านสี ด้านกลิ่น และด้านรสชาติ ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มสัดส่วนของแป้งข้าวหอมนิลขึ้นไปจนถึงร้อยละ 75 ไม่ได้ทำให้ผู้ทดสอบชิมรู้สึกถึงความเปลี่ยนแปลงจนปฏิเสธผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเอกลักษณ์ของแป้งข้าวหอมนิล เช่น สีม่วงเข้ม และกลิ่นหอมเฉพาะตัว เป็นลักษณะที่ผู้บริโภคยอมรับได้ หรืออาจช่วยส่งเสริมให้ผลิตภัณฑ์น่ารับประทานยิ่งขึ้น โดยเฉพาะในสูตรที่ใช้แป้งข้าวหอมนิลทดแทนแป้งสาลีร้อยละ 50 ได้คะแนนค่าเฉลี่ยสูงที่สุดในด้านสีและกลิ่น

2) ผลกระทบต่อเนื้อสัมผัส

เนื้อสัมผัสเป็นคุณลักษณะเดียวที่เกิดความเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยเมื่อเพิ่มการทดแทนแป้งข้าวหอมนิล พบว่า คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสลดลง เนื่องจากแป้งข้าวหอมนิลมีองค์ประกอบของโครงสร้างแป้ง เช่น ปริมาณอะไมโลส (amylose) และอะไมโลเพกทิน (amylopectin) รวมถึงปริมาณใยอาหารที่แตกต่างจากแป้งสาลีเอนกประสงค์ การทดแทนในปริมาณที่สูงเกินไปอาจส่งผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำ การเกิดเจล (gelatinization) หรือความนุ่มเหนียวของผลิตภัณฑ์ ทำให้เนื้อสัมผัสเกิดความกระด้าง ร่วน หรือเหนียวเหนอะหนะมากเกินไป จนผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบลดลง

3) ความชอบโดยรวม

ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่า ผลิตภัณฑ์ขนมกลีบลำดวนที่มีการทดแทนแป้งสาลีเอนกประสงค์ด้วยแป้งข้าวหอมนิลในทุกระดับ ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในเกณฑ์ระดับความชอบ “ชอบ” โดยสูตรที่ใช้แป้งข้าวหอมนิลทดแทนแป้งสาลีร้อยละ 50 ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด เท่ากับ 4.12 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การทดแทนแป้งในระดับ

ปานกลางเป็นระดับที่เหมาะสม และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากที่สุด เนื่องจากสามารถสร้างความสมดุลทั้งในด้านสี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัสได้อย่างลงตัว ในขณะที่การทดแทนในระดับสูงถึงร้อยละ 75 แม้ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ผู้บริโภคยอมรับได้ แต่มีแนวโน้มที่จะส่งผลกระทบต่อคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสสอดคล้องกับรายงานของ อริสรา รอดมัย และอรอุมา จิตรวโรภาส (2550) ที่ศึกษาการใช้แป้งข้าวหอมนิลทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์คุกกี้ โดยแปรปริมาณแป้งข้าวหอมนิลร้อยละ 0 10 20 30 40 50 และ 60 ของน้ำหนักแป้งสาลีทั้งหมดในสูตร พบว่า การผลิตคุกกี้โดยการทดแทนแป้งข้าวสาลีด้วยแป้งข้าวหอมนิลที่ร้อยละ 50 ให้คุณลักษณะทางกายภาพเป็นที่ยอมรับสูงสุด โดยผลจากการใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (texture analyzer) วัดค่าแรงกดของคุกกี้ชี้ให้เห็นว่า ค่าแรงกดของคุกกี้สูตรมาตรฐานมีค่าสูงกว่าคุกกี้ที่ทดแทนด้วยแป้งข้าวหอมนิลร้อยละ 50

สรุปผล

การใช้แป้งข้าวหอมนิลทดแทนแป้งสาลีร้อยละ 50 เหมาะสมต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมกลีบลำดวน โดยมีผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสสูงที่สุดในด้านสี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม ช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ สร้างมูลค่าเพิ่มให้กับขนมไทยและข้าวหอมนิลในเชิงพาณิชย์

ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาแนวทางการปรับปรุงเนื้อสัมผัสในสูตรที่มีการทดแทนแป้งข้าวหอมนิลระดับสูงร้อยละ 75 ขึ้นไป โดยทดลองใช้สารช่วยเกาะตัวหรือสารเพิ่มความเหนียวจากธรรมชาติ เช่น ไฮโดรคอลลอยด์ หรือกัมชนิดต่าง ๆ เพื่อช่วยลดความร่วนและความสากกระด้างของโครงสร้างโด (dough) หรือการศึกษาผลของขนาดอนุภาค (particle size) โดยแปรผันขนาดตะแกรกร่อนแป้ง (Mesh size) ที่ส่งผลต่อความรู้สึกในปาก (mouthfeel) ของผู้บริโภค
2. ควรมีการวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ สารแอนโทไซยานิน และใยอาหารที่คงเหลืออยู่จริงในผลิตภัณฑ์
3. ควรมีการศึกษาอายุการเก็บรักษาและการเปลี่ยนแปลงทางเคมี-จุลชีววิทยา ควบคู่กับการเลือกบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมเพื่อยืดอายุการวางจำหน่าย
4. ควรมีการทดลองนำแป้งข้าวหอมนิลไปทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมไทยหรือขนมอบประเภทเนื้อร่วนชนิดอื่น ๆ เช่น ขนมฝักรูป คุกกี้สังคโปร์ หรือทาร์ต เพื่อสร้างความหลากหลายในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อสุขภาพต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- ฐิติมาพร หนูเนียม และวิภาวรรณ วงศ์สุตาลักษณ์. (2559) การประยุกต์ใช้แป้งข้าวสังข์หยดในผลิตภัณฑ์ขนมกลีบลำดวน. ใน การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ครั้งที่ 6. (หน้า 977-985). สงขลา: มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา.
- พรพรรณ พัวไพบุลย์, กุสุมาวดี ฐานเจริญ, สุชาลักษณ์ ธรรมดวงศรี, ธนิชฐนันท์ บุญศรีชนะ, กมลรัตน์ พลพิมพ์ และอารยา ตะนัยศรี. (2565). ผลของการใช้แป้งข้าวหอมนิลทดแทนแป้งสาลีต่อคุณภาพของชิฟฟอนเค้ก. วารสารเกษตรพระวรุณ, 19(2), 128-137.
- พัชรพงษ์ สุ่มขำ, ธมลวรรณ จันทฤทธิ์ และโสรัจจ์ วิสุทธิแพทย์. (2562). การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมกรอบเค็มแป้งข้าวสังข์หยด. วารสารวัฒนธรรมอาหารไทย, 1(1-2), 29-38.
- สุพัตรา หวามาก, วนิดา ช่วยเรือง และธัชพร ไชยเจริญ. (2561). ผลของการทดแทนแป้งสาลีบางส่วนด้วยแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ต่อคุณภาพของหมั่นโถว. ใน การประชุมวิชาการระดับชาติพิบูลสงครามวิจัย ครั้งที่ 4. (หน้า 61-64). พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม.
- อริสรา รอดมัย และอรอุมา จิตรวโรภาส. (2550). การผลิตคุกกี้โดยใช้แป้งข้าวหอมนิลทดแทนแป้งสาลีบางส่วน. วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม, 3(1), 37-43.
- Khoo, H. E., Azlan, A., Tang, S. T., & Lim, S. M. (2017). Anthocyanidins and anthocyanins: Colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits. *Food & Nutrition Research*, 61(1), Article 1361779. <https://doi.org/10.1080/16546628.2017.1361779>

กรณีศึกษา: ระบบขับเคลื่อนรถรางไฟฟ้าด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า เหนี่ยวนำขนาด 10 กิโลวัตต์

จักรกฤษณ์ จันทรเชียว^{1*} ณพวัฒน์ ทองพันซัง² ภัทรวัต ชัยคุณสมบัติ³ และวรวิทย์ สีสาวรรณ⁴

บทคัดย่อ

ระบบขับเคลื่อนรถรางไฟฟ้าเป็นเทคโนโลยีสำคัญของระบบขนส่งมวลชนสมัยใหม่ ที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเดินทาง ลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล และลดการปล่อยมลพิษสู่สิ่งแวดล้อม งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาหลักการทำงานของระบบขับเคลื่อนรถรางไฟฟ้า และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้า โดยใช้ชุดทดลองระบบขับเคลื่อนรถรางไฟฟ้าในการทดสอบที่ความถี่ 27.5 30 35 40 45 และ 50 เฮิร์ตซ์ ผลการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มความถี่ของระบบแรงดันไฟฟ้า และความเร็วรอบของมอเตอร์จะเพิ่มขึ้น ตามลำดับ ส่งผลให้ระยะทางที่รถรางสามารถเดินทางได้ในระยะเวลา 1 ชั่วโมงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ ให้ความเร็วรอบสูงสุด 242 รอบต่อนาที และสามารถเดินทางได้ประมาณ 19.747 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า การควบคุมความถี่ของระบบขับเคลื่อนมีผลโดยตรงต่อสมรรถนะการเดินรถ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาระบบรถไฟฟ้าและรถรางไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นในอนาคต

คำสำคัญ: ระบบขับเคลื่อน รถรางไฟฟ้า มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

^{2,3} สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการระบบราง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

⁴ สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

* ผู้ประสานงานหลัก e-mail: Jrukkrit@siam.edu

วันที่รับบทความ 19 มิถุนายน 2569

วันที่แก้ไขบทความ 28 มิถุนายน 2569

วันที่ตอบรับบทความ 29 มิถุนายน 2569

Case Study: Electric Tram Propulsion System with a 10 kW Induction Electric Motor

Jrukkrit Chankiew^{1*} Noppawath Thongbhundchang²
Phatarawat Chaikhunsombat³ and Wolawit Leelawan⁴

ABSTRACT

The electric tram propulsion system is an important technology in modern mass transit systems that helps improve transportation efficiency, reduce fossil fuel consumption, and decrease environmental pollution. This research aimed to study the operating principles of an electric tram propulsion system and to analyze the relationship between electrical frequency, voltage, and motor rotational speed. An electric railway propulsion system training set was used to conduct experiments at frequencies of 27.5, 30, 35, 40, 45, and 50 Hz. The experimental results showed that as the system frequency increased, both the voltage and the motor rotational speed increased accordingly. As a result, the distance that the tram could travel within one hour increased significantly. At a frequency of 50 Hz, the motor achieved the highest rotational speed of 242 rpm and enabled the tram to travel approximately 19.747 km/h. The findings indicated that frequency control of the propulsion system directly affected the operational performance of the tram. The results could be applied to the development of electric railway and electric tram systems to achieve higher efficiency in the future.

Keywords: propulsion system, electric tram, induction electric motor

¹ Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Siam University

^{2,3} Railway System Management Engineering, Faculty of Science and Technology, Dhonburi Rajabhat University

⁴ Industrial Technology, Faculty of Science and Technology, Dhonburi Rajabhat University

* Corresponding author e-mail: Jrukkrit@siam.edu

Received: Jun 19, 2026

Revised: Jun 29, 2026

Accepted: Jun 29, 2026

บทนำ

ปัจจุบันการขนส่งมวลชนด้วยระบบรางได้รับความสำคัญเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากสามารถรองรับผู้โดยสารจำนวนมาก ลดปัญหาการจราจร และช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่สิ่งแวดล้อม รถรางไฟฟ้าถือเป็นระบบขนส่งที่มีประสิทธิภาพสูง ใช้พลังงานไฟฟ้าซึ่งเป็นพลังงานสะอาด สามารถควบคุมการเร่งความเร็วและการชะลอความเร็วได้อย่างราบรื่น เพื่อให้รถไฟขบวนที่มาถึงสามารถใช้ความเร็วสูงสุดได้ หลักการนี้ก็เพื่อพยายามที่จะป้องกันรถไฟชนกันในเวลากลางคืนก็ใช้โคมไฟหรือตะเกียง (lantern) แทน (Zhang, Peng & Tao, 2021) ระบบขับเคลื่อนรถรางไฟฟ้าเริ่มมีการพัฒนาขึ้นครั้งแรกในปลายศตวรรษที่ 19 โดย แวร์เนอร์ ฟอน ซีเมนส์ (Werner Von Siemens) ได้พัฒนารถรางไฟฟ้าต้นแบบในประเทศเยอรมนี เมื่อปี ค.ศ. 1879 หลังจากนั้นเทคโนโลยีดังกล่าวได้แพร่หลายไปยังประเทศต่าง ๆ ทั่วโลก และได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนกลายเป็นระบบขนส่งหลักในหลายเมืองใหญ่ หมวดยานพาหนะและตัวรถขนส่งทางราง (Rolling Stock, R) มุ่งเน้นเรื่อง “ขบวนรถและส่วนประกอบของรถไฟ” เพื่อให้มั่นใจว่ารถทุกคันที่ให้บริการมีความปลอดภัย แข็งแรง และให้ความสะดวกสบายแก่ผู้โดยสาร ระบบขนส่งทางรางของประเทศไทยได้ขยายตัวอย่างต่อเนื่องทั้งรถไฟ รถไฟฟ้า และระบบขนส่งสินค้าทางราง เพื่อให้การพัฒนาเหล่านี้ดำเนินไปอย่างมีทิศทางเดียวกัน และมีมาตรฐาน จึงได้มีการจัดทำ “มาตรฐานการขนส่งทางราง” ขึ้น เพื่อใช้เป็นกรอบอ้างอิงทางเทคนิคและความปลอดภัยในการออกแบบ ก่อสร้าง และดำเนินงานระบบรางของประเทศอย่างเป็นระบบและสอดคล้องกับมาตรฐานสากล (กรมการขนส่งทางราง, 2566)

การขับเคลื่อนรถรางไฟฟ้าส่วนมากจะใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส โดยมีหลักการทำงานเมื่อขดลวดไฟฟ้าสเตเตอร์สามเฟสเชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าสามเฟส กระแสไฟฟ้าสามเฟสจะไหลในขดลวด ด้วยเหตุนี้จึงทำให้สเตเตอร์มีพลังงานเกิดการหมุนของฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดขึ้นในช่องว่างอากาศ ฟลักซ์แม่เหล็กทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้า (Chapman, 2018) ระบบไฟฟ้าสามเฟสมีความสำคัญต่อการใช้งานในระบบขับเคลื่อนรถรางไฟฟ้าเป็นอย่างยิ่ง โดยทั่วไปมอเตอร์ไฟฟ้าสามเฟสจะต่อใช้งานแบบสตาร์ในระบบ 3 เฟส 4 สาย และระบบ 3 เฟส 3 สาย (Mohan, 2020) โดยเมื่อต่อกับโหลดได้สมดุลแบบสตาร์ จะได้กระแสที่เฟสเท่ากับกระแสที่สาย และทุกเฟสจะมีขนาดกระแสเท่ากัน แต่ในส่วนองแรงดันระหว่างสายจะมีค่าเป็น 1.73 เท่าของแรงดันเฟส และถ้าโหลดได้สมดุลต่อแบบเดลต้า กระแสที่สายจะมีค่าเป็น 1.73 เท่าของกระแสเฟส ในขณะเดียวกันแรงดันเฟสจะเท่ากับกับแรงดันที่สาย กรณีที่โหลดไม่ได้สมดุล เงื่อนไขในการวิเคราะห์จะพิจารณาเป็นเฟสอันเนื่องมาจากค่าอิมพีแดนซ์แต่ละเฟสมีค่าไม่เท่ากัน ในการหาค่ากำลังไฟฟ้าที่ต่อโหลดได้สมดุลสามารถทำได้เหมือนกับวงจรในระบบหนึ่งเฟส คือให้พิจารณาเพียงเฟสเดียว แล้วคูณด้วย 3 จะได้กำลังไฟฟ้าสามเฟส แต่ถ้าโหลดไม่ได้สมดุลต้องพิจารณาที่แต่ละเฟสแล้วนำมาบวกกันจึงจะได้ กำลังไฟฟ้า

สามเฟสที่ถูกต้อง (Hayt, Kemmerly & Durbin, 2019) องค์ประกอบสำคัญของระบบขับเคลื่อนรถรางไฟฟ้า ได้แก่ มอเตอร์ไฟฟ้า แหล่งจ่ายพลังงาน ระบบควบคุม และระบบเบรก ซึ่งทำงานร่วมกันเพื่อให้รถรางสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย

ปัจจุบันประเทศไทยมีการขนส่งมวลชนด้วยระบบรางที่มีอยู่ในปัจจุบัน ทั้งรถไฟฟ้าระหว่างเมืองและรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน รถไฟฟ้าทางไกล โดยการรถไฟแห่งประเทศไทย (รฟท.) ให้บริการเส้นทางเดินรถที่เปิดการเดินรถแล้ว รวมทั้งสิ้น 4,346 กิโลเมตร ซึ่งรวมถึงทางคู่ช่วง-รังสิต ระยะทาง 31 กิโลเมตร และทางสามช่วง รังสิต-ชุมทางบ้านภาชี ระยะทาง 59 กิโลเมตร นอกจากนี้ยังมีการสร้างทางรถไฟฟ้าอีกสองเส้นทางคือ รถไฟฟ้าชานเมืองสายสีแดงอ่อน และรถไฟฟ้าชานเมืองสายสีแดงเข้ม หรือเรียกรวม ๆ ได้ว่า โครงการระบบรถไฟฟ้าชานเมือง (สายสีแดง) การขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้าหนึ่งเฟสที่ใช้วงจรเอช-เอช เมตริกคอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสที่มีการแปลงผันพลังงานไฟฟ้าเพียงขั้นตอนเดียวโดยตรงจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับหนึ่งเฟสที่ไม่มีส่วนเชื่อมโยงไฟฟ้าดีซี ซึ่งจะทำการแปลงผันไฟฟ้าเอชอินพุตหนึ่งเฟสที่ความถี่ และขนาดคงที่ให้เป็นไฟฟ้าเอชเอาต์พุตหนึ่งเฟสที่สามารถปรับได้ทั้งความถี่เอาต์พุตและขนาดแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตได้ด้วยสัญญาณพัลส์บิตวึม แบบไซน์ซวยดอล (SPWM) ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของสวิตช์สองทิศทางที่ใช้ในการตัดต่อไฟฟ้าเอชอินพุต ด้วยหลักการอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าต่อความถี่คงที่สามารถปรับความถี่ทางด้านเอาต์พุตที่ค่า 12.5 เฮิร์ตซ์ 25 เฮิร์ตซ์ และ 50 เฮิร์ตซ์ เพื่อใช้ในการปรับความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้าหนึ่งเฟส (สันติสุข สว่างกล้า, สถาพร เสือเทศ และประสพโชค ให้อทองคำ, 2566)

ดังนั้น การวิจัยในครั้งนี้มุ่งเน้นการศึกษาระบบขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามเฟสความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ไฟฟ้าและสมรรถนะของระบบขับเคลื่อน ที่มีความสำคัญต่อการออกแบบและพัฒนากระบวนรางไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพสูงสุดในการใช้งาน

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. การศึกษาข้อมูลเบื้องต้น

- 1.1 ศึกษาหลักการทำงานของระบบขับเคลื่อนรถรางไฟฟ้า
- 1.2 ศึกษาองค์ประกอบของระบบมอเตอร์ไฟฟ้าและระบบควบคุม
- 1.3 วิเคราะห์ข้อมูลจากเอกสาร งานวิจัย และมาตรฐานระบบรางที่เกี่ยวข้อง

2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- 2.1 ชุดทดลองระบบขับเคลื่อนรถไฟฟ้า
- 2.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ
- 2.3 ชุดควบคุมพีแอลซี (PLC)
- 2.4 อินเวอร์เตอร์ควบคุมความถี่ไฟฟ้า (Hz)
- 2.5 เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้า (V)
- 2.6 เครื่องวัดความเร็วรอบ (rpm)

3. ขั้นตอนการทดลอง

- 3.1 ตรวจสอบการเชื่อมต่อสายไฟฟ้า สายสัญญาณ และระบบลม
- 3.2 ตรวจสอบระบบ PLC และระบบควบคุมก่อนเริ่มใช้งาน
- 3.3 เปิดโปรแกรมควบคุมและทดสอบการทำงานของระบบเบรก
- 3.4 ปรับค่าความถี่ของอินเวอร์เตอร์ที่ 27.5 30 35 40 45 และ 50 เฮิรตซ์
- 3.5 วัดค่าแรงดันไฟฟ้า (V) และความเร็วรอบของมอเตอร์ (rpm)
- 3.6 บันทึกผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล



รูปที่ 1 Programi-Class



รูปที่ 2 ชุดควบคุมอินเวอร์เตอร์



รูปที่ 3 วัดความเร็วรอบมอเตอร์ (rpm)



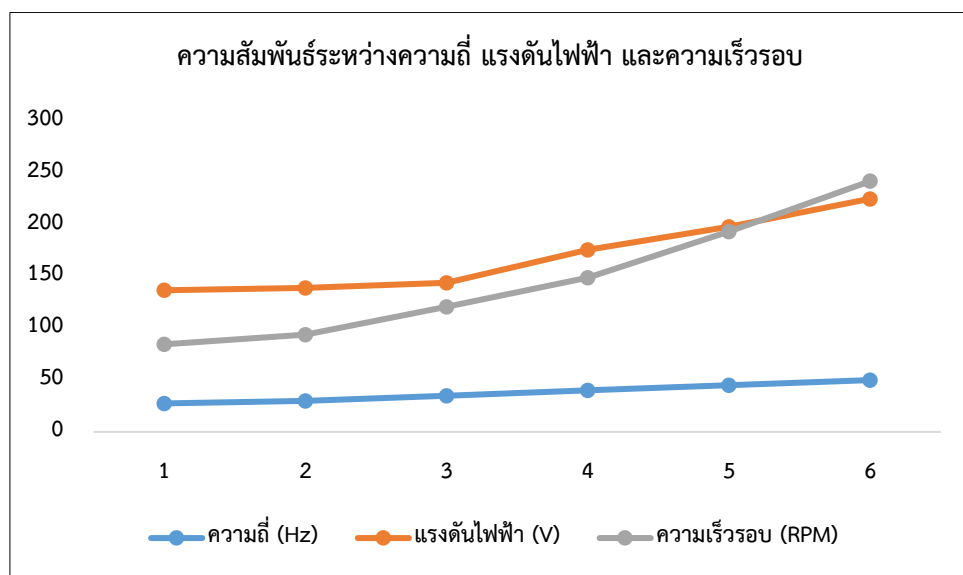
รูปที่ 4 วัดแรงดันไฟฟ้า (V) และความถี่ (Hz)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการทดลองพบว่า ความถี่ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าและความเร็วรอบของมอเตอร์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การทดลองขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำระหว่างความถี่ แรงดันไฟฟ้า และความเร็วรอบ

ความถี่ (Hz)	แรงดันไฟฟ้า (V)	ความเร็วรอบ (rpm)
27.5	136.7	84.5
30	139.0	94.0
35	144.0	120.8
40	175.7	149.0
45	198.0	193.3
50	225.0	242.0



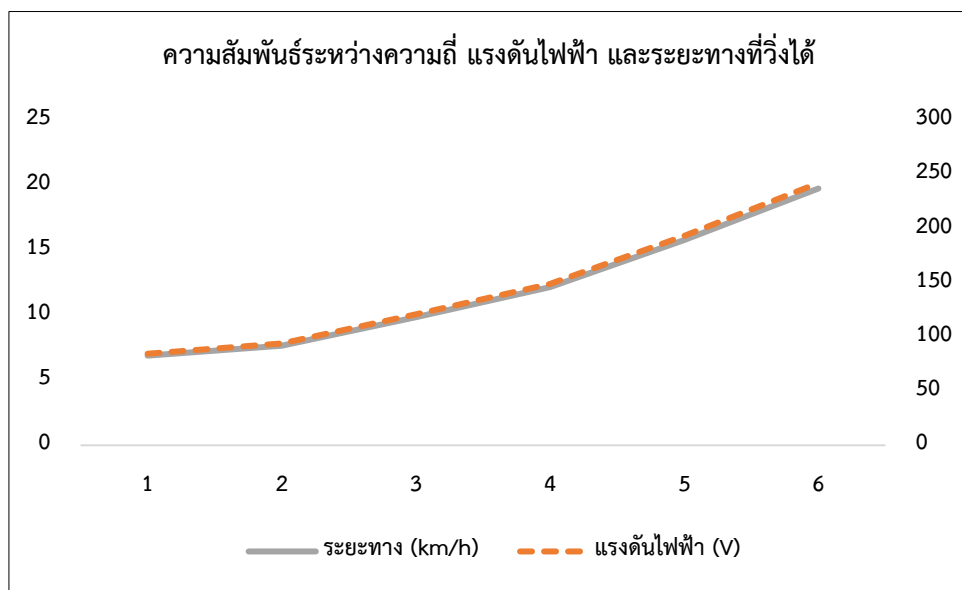
รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ แรงดันไฟฟ้า และความเร็วรอบ

จากกราฟจะเห็นแนวโน้มว่า เมื่อความถี่เพิ่มขึ้น ทั้งแรงดันไฟฟ้าและความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยเฉพาะช่วง 40-50 เฮิร์ตซ์ ที่ความเร็วรอบเพิ่มขึ้นค่อนข้างรวดเร็ว เมื่อเทียบกับช่วงความถี่ต่ำกว่า ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่สรุปว่า ความถี่มีผลโดยตรงต่อสมรรถนะของระบบขับเคลื่อนรถรางไฟฟ้า

เมื่อคำนวณระยะทางที่รถรางไฟฟ้าสามารถเดินทางได้ภายในเวลา 1 ชั่วโมง จะได้ข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ แรงดันไฟฟ้า และระยะทางที่วิ่งได้ในเวลา 1 ชั่วโมง

ความถี่ (Hz)	แรงดันไฟฟ้า (V)	ระยะทาง (km)
27.5	84.5	6.895
30	94.0	7.670
35	120.8	9.857
40	149.0	12.158
45	193.3	15.773
50	242.0	19.747



ภาพที่ 6 ผลการทดลองการขับเคลื่อนไฟฟ้า

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ความถี่ไฟฟ้ามีความสัมพันธ์โดยตรงกับความเร็วรอบของมอเตอร์และระยะทางการเดินทาง

สรุปผล

จากผลการทดลองพบว่า การเพิ่มความถี่ของแหล่งจ่ายไฟส่งผลให้ความเร็วรอบของมอเตอร์เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสที่ระบุว่า ความเร็วเชิงโคจรของมอเตอร์แปรผันตรงกับความถี่ไฟฟ้า เมื่อความถี่เพิ่มจาก 27.5 เฮิร์ตซ์ เป็น 50 เฮิร์ตซ์ ความเร็วรอบของมอเตอร์เพิ่มจาก 84.5 รอบต่อนาที เป็น 242 รอบต่อนาที ระยะทางที่รถรางสามารถเดินทางได้ใน 1 ชั่วโมงเพิ่มจาก 6.895 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เป็น 19.747 กิโลเมตรต่อชั่วโมง หรือเพิ่มขึ้นประมาณ 186 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่า การควบคุมความถี่ด้วยอินเวอร์เตอร์เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการควบคุมความเร็วของรถรางไฟฟ้า อย่างไรก็ตามในการใช้งานจริงยังต้องพิจารณาปัจจัยอื่นร่วมด้วย เช่น น้ำหนักบรรทุก ความลาดชันของเส้นทาง ประสิทธิภาพของระบบส่งกำลัง และการใช้พลังงานไฟฟ้า เพื่อให้เกิดความเหมาะสมทั้งด้านประสิทธิภาพและความปลอดภัย แนวโน้มของทั้งความเร็วรอบ และระยะทางเป็นความสัมพันธ์เชิงบวก (positive relationship) กับความถี่ช่วง 45–50 เฮิร์ตซ์ มีอัตราการเพิ่มขึ้นของความเร็วรอบและระยะทางค่อนข้างสูง แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มความถี่ส่งผลต่อสมรรถนะของระบบขับเคลื่อนอย่างชัดเจน ข้อมูลนี้สามารถใช้สนับสนุนการอภิปรายผลว่า ความถี่ของระบบขับเคลื่อนมีผลโดยตรงต่อความเร็วรอบมอเตอร์และสมรรถนะการเคลื่อนที่ของรถรางไฟฟ้า

การศึกษาระบบขับเคลื่อนรถรางไฟฟ้าพบว่าความถี่ไฟฟ้ามีผลโดยตรงต่อแรงดันไฟฟ้า ความเร็วรอบของมอเตอร์ และระยะทางการเดินทาง โดยเมื่อเพิ่มความถี่จาก 27.5 เฮิร์ตซ์ เป็น 50 เฮิร์ตซ์ ความเร็วรอบเพิ่มจาก 84.5 รอบต่อนาที เป็น 242 รอบต่อนาที และสามารถเพิ่มระยะทางการเดินทางจาก 6.895 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เป็น 19.747 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ผลการศึกษานี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการออกแบบและพัฒนาระบบขับเคลื่อนรถรางไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น และรองรับการพัฒนาาระบบขนส่งมวลชนในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

กรมการขนส่งทางราง. (2566). **มาตรฐานระบบรถไฟฟ้าและรถรางในประเทศไทย**. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงคมนาคม.

สันติสุข สว่างกล้า, สถาพร เสือเทศ และประสพโชค ให่ทองคำ. (2566). การจำลองการขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้าหนึ่งเฟสด้วยวงจรเอชไอ-เอชไอคอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสโดยใช้หลักการอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าต่อความถี่คงที่. ใน **การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 15**. (หน้า 238-241). จังหวัดนครพนม: โรงแรมฟอร์จูน ริเวอร์วิว นครพนม.

- Chapman, S. J. (2018). **Electric Machinery Fundamentals**. (5th ed.). New York: McGraw-Hill.
- Hayt, W. H., Kemmerly, J. E., & Durbin, S. M. (2019). **Engineering Circuit Analysis**. (9th ed.). New York: McGraw-Hill Education.
- Mohan, N. (2020). **Electric Power Systems: A First Course**. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Zhang, R., Peng, Y., & Tao, Y. F. (2021). Research and Design of Switch Control Module of Railway Signaling Based on Power Electronics Technology. **Journal of Physics: Conference Series**, 1972(1), [5 p.]. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1972/1/012045>

การวิเคราะห์การลดพลังงานส่วนเกินจากระบบผลิตไฟฟ้า พลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบกักเก็บพลังงาน

ณัชพล เรืองทรัพย์¹ ศุภวุฒิ เนตรโพธิ์แก้ว² และนัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ^{3*}

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอการวิเคราะห์การลดพลังงานส่วนเกินจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา ร่วมกับระบบกักเก็บพลังงาน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาศักยภาพของระบบกักเก็บพลังงานในการลดพลังงานส่วนเกินและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้า การศึกษาที่ใช้ข้อมูลโหลดโปรไฟล์เฉลี่ยรายผู้ใช้ของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภท 1.2 ร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 1 กิโลวัตต์ และระบบกักเก็บพลังงานขนาด 2.56 กิโลวัตต์ชั่วโมง ผลการศึกษาพบว่า ในกรณีที่ไม่มีระบบกักเก็บพลังงาน จะเกิดพลังงานไฟฟ้าส่วนเกิน 3.04 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อวัน ขณะที่การติดตั้งระบบกักเก็บพลังงานสามารถลดพลังงานส่วนเกินเหลือ 0.97 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อวัน หรือลดลงร้อยละ 68.09 นอกจากนี้ยังช่วยลดปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่นำเข้าจากระบบโครงข่ายไฟฟ้าได้ 2.22 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อวัน ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการบูรณาการระบบกักเก็บพลังงานร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถเพิ่มการใช้พลังงานที่ผลิตได้เอง ลดการสูญเสียพลังงานส่วนเกิน และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานหมุนเวียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: พลังงานส่วนเกิน ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ระบบกักเก็บพลังงาน

^{1,2,3} สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

* ผู้ประสานงานหลัก e-mail: Nattachote.r@rmutp.ac.th

วันที่รับบทความ 8 มิถุนายน 2569

วันที่แก้ไขบทความ 28 มิถุนายน 2569

วันที่ตอบรับบทความ 29 มิถุนายน 2569

Analysis of Electrical Surplus Energy Reduction from Photovoltaic Generation System with Battery Energy Storage Systems

Natchapol Ruangsap¹ Supawud Nedphokaew² and Nattachote Rugthaicharoenchep^{3*}

ABSTRACT

This paper presents an analysis of surplus energy reduction in a photovoltaic rooftop system integrated with a battery energy storage system. The objective of this study was to investigate the potential of energy storage in reducing surplus energy and improving electricity utilization efficiency. The study utilized the average load profile of type 1.2 electricity consumers, together with a 1 kW rooftop PV system and a 2.56 kWh BESS. The results showed that, without energy storage, the PV system generated a surplus energy of 3.04 kWh/day. By integrating the BESS, the surplus energy was reduced to 0.97 kWh/day, representing a reduction of 68.09%. In addition, the amount of electricity imported from the utility grid was reduced by 2.22 kWh/day. The findings indicated that integrating a BESS with a rooftop PV system could increase self-consumption, reduce surplus energy losses, and enhance the utilization efficiency of renewable energy.

Keywords: surplus energy, photovoltaic generation system, energy storage systems

^{1,2,3} Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon

* Corresponding author e-mail: Nattachote.r@rmutp.ac.th

Received: Jun 8, 2026

Revised: Jun 28, 2026

Accepted: Jun 29, 2026

บทนำ

ปัจจุบันการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน โดยเฉพาะระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ได้รับความนิยมในการผลิตไฟฟ้าทั่วโลกและขยายตัวอย่างต่อเนื่อง (Ang et al, 2022) เนื่องจากเป็นพลังงานสะอาดที่ช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและลดการพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิล (Sohaib, Majeed, Liu & Oláh, 2025) อย่างไรก็ตามลักษณะการผลิตไฟฟ้าของระบบพลังงานแสงอาทิตย์มีความผันผวนตามสภาพอากาศและช่วงเวลา (Hou, Wild, Folini, Kazadzis & Wohland, 2021) ส่งผลให้การผลิตพลังงานไฟฟ้าไม่สอดคล้องกับความต้องการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ในแต่ละช่วงเวลา โดยเฉพาะในช่วงเวลากลางวันที่มีการผลิตพลังงานไฟฟ้าเกินความต้องการ และช่วงเวลากลางคืนที่ไม่มีการผลิตพลังงานไฟฟ้าเลย ปัญหาดังกล่าวส่งผลให้เกิดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าในเชิงระบบ ไม่ว่าจะเป็นการสูญเสียจากการส่งพลังงานย้อนกลับเข้าสู่โครงข่ายไฟฟ้า (reverse power flow) (Gulraiz et al., 2025) หรือการพึ่งพาการนำเข้าพลังงานจากโครงข่ายไฟฟ้าในช่วงที่ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้อย่างเพียงพอ

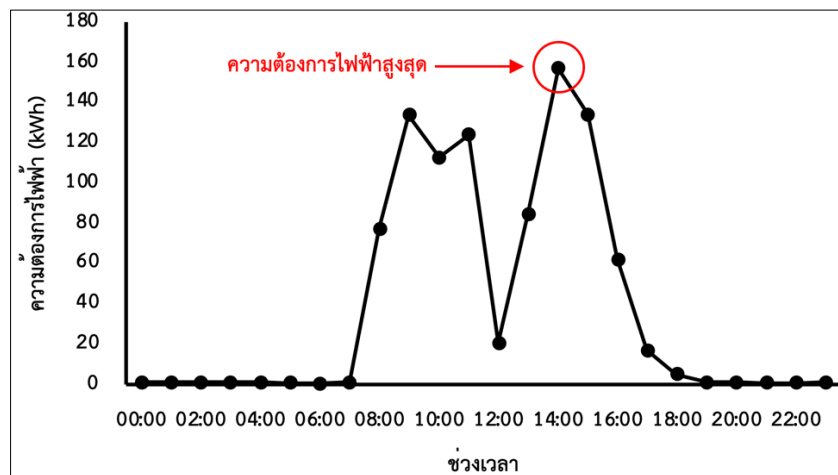
จากงานวิจัยของธีระภัทร์ แมนมิตร และปานจิต ดำรงกุลกำจร (2558) ศึกษาการออกแบบขนาดระบบกักเก็บพลังงานสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อให้เกิดประโยชน์ทางด้านเศรษฐศาสตร์สูงสุด ด้วยโปรแกรม MATLAB กรณีศึกษาผู้ใช้ไฟกลุ่มการผลิตผลิตภัณฑ์คอนกรีตที่มีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 250 กิโลวัตต์ ผลการศึกษาพบว่า การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับแบตเตอรี่ จะมีผลตอบแทนทางการเงินที่มากขึ้นจากค่าไฟฟ้าที่ลดลงในแต่ละเดือน จากการศึกษาของ Torres, Casas, Castillo, & Rodríguez (2025) ศึกษาการจัดการพลังงานแบบใหม่สำหรับระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่พลังงานแสงอาทิตย์ ในการติดตั้งที่มีการใช้พลังงานสูง แนวทางนี้ได้บูรณาการการลดค่าปรับจากการใช้พลังงานส่วนเกิน การเก็บค่าใช้ไฟฟ้าส่วนเกิน และการพิจารณาถึงอายุการใช้งานของแบตเตอรี่โดยใช้การเขียนโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม (MILP) ผลลัพธ์พบว่า การลดลงของพลังงานที่นำเข้าจากกริดโดยเฉพาะในช่วงความต้องการสูงสุด สำหรับระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ขนาด 300 กิโลวัตต์ชั่วโมง พลังงานที่นำเข้าจากโครงข่ายลดลง ร้อยละ 16 และลดลงได้ในช่วง ร้อยละ 29 ถึง ร้อยละ 51 ในช่วงเวลาที่มีความต้องการสูงสุด

ดังนั้นงานวิจัยนี้มีจุดเด่น คือ ใช้ข้อมูลโหลดจริงของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภท 1.2 ของการไฟฟ้านครหลวง วิเคราะห์การลดพลังงานส่วนเกินด้วยระบบกักเก็บพลังงาน และประเมินผลทั้งด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม

วิธีดำเนินการวิจัย

1. วิเคราะห์ความต้องการไฟฟ้าสูงสุด

เนื่องจากปัญหาความไม่สมดุลระหว่างอุปสงค์ (demand) และอุปทาน (supply) พลังงาน ในช่วงเวลาที่มีการใช้ไฟฟ้าสูงสุดกำลังทวีความรุนแรงขึ้นเรื่อย ๆ ส่งผลให้ต้นทุนการดำเนินงาน ของระบบส่งไฟฟ้าสูงขึ้น ความต้องการไฟฟ้าสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 1



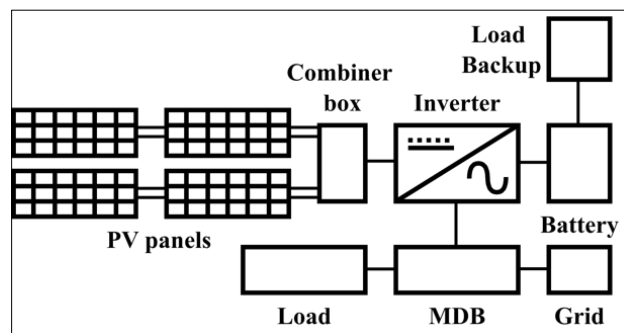
รูปที่ 1 ความต้องการไฟฟ้าสูงสุด

การประยุกต์ใช้ระบบกักเก็บพลังงานไม่เพียงช่วยลดปริมาณพลังงานที่สูญเสียไปในระบบ แต่ยังช่วยลดการพึ่งพาการนำเข้าพลังงานจากโครงข่ายไฟฟ้าในช่วงเวลาสูงสุด ลดความแออัด ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า และส่งเสริมเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าโดยรวม (Aslam, Miah, Amin, Shah & Amjady, 2025) นอกจากนี้ยังมีศักยภาพในการช่วยลดต้นทุนค่าไฟฟ้าและเพิ่มความมั่นคง ทางพลังงานในระดับผู้ใช้ไฟฟ้า

2. การชดเชยโหลดด้วยระบบกักเก็บพลังงาน

ระบบกักเก็บพลังงานมีบทบาทสำคัญในการชดเชยโหลดในระบบผลิตไฟฟ้าพลังงาน แสงอาทิตย์ โดยทำหน้าที่รักษาสมดุลพลังงาน ระหว่างกำลังผลิตและความต้องการใช้ไฟฟ้าในแต่ละ ช่วงเวลา เมื่อกำลังผลิตจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มากกว่าความต้องการใช้พลังงาน จะเกิดพลังงานส่วนเกิน ซึ่งสามารถนำไปเก็บสะสมในระบบกักเก็บพลังงาน ในทางกลับกันเมื่อกำลัง ผลิตไม่เพียงพอ เช่น ในช่วงเวลากลางคืน ระบบกักเก็บพลังงานจะคายประจุเพื่อชดเชยโหลด ส่งผลให้สามารถลดการพึ่งพาพลังงานจากโครงข่ายไฟฟ้า และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานโดยรวม ของระบบ

ระบบกักเก็บพลังงานสามารถทำหน้าที่สำรองพลังงานในช่วงไฟฟ้าดับ (backup mode) ลดภาระโหลดช่วงพีค (peak shaving) และเพิ่มการใช้พลังงานผลิตเอง (self-consumption) หัวใจสำคัญของการออกแบบระบบสำรองโหลดคือ การคำนวณความจุแบตเตอรี่ (battery capacity sizing) และการกำหนดเวลาชาร์จ (charging time) ให้เหมาะสมกับรูปแบบการใช้ไฟฟ้า ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

3. การลดก๊าซเรือนกระจกจากพลังงานหมุนเวียน

ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เป็นโครงการที่เข้าข่ายลักษณะของกิจกรรมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนหรือทดแทนการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิล เพื่อใช้เองหรือจำหน่ายเข้าระบบสายส่งของระเบียบวิธีการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจสำหรับการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน กรณีที่ 2 ผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้เอง/ส่ง หรือจำหน่ายให้แก่ผู้ประกอบการรายอื่น (ลดการซื้อไฟฟ้าจากระบบสายส่ง) (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), 2568) การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากโครงการ สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (1)-(2)

$$ER_y = BE_y - PE_y - LE_y \quad (1)$$

จากสมการที่ (1) ER_y คือ การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (tCO_2eq) BE_y คือ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐาน PE_y คือ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการ LE_y คือ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกนอกขอบเขตโครงการ

$$BE_{EG,y} = (EG_{consumer, PJ,y} \times 10^{-3}) \times EF_{EC,PJ,y} \quad (2)$$

จากสมการที่ (2) $BE_{EG,y}$ คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิล $EG_{consumer, PJ,y}$ คือ ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตจากการดำเนินโครงการพลังงานหมุนเวียน $EF_{EC,PJ,y}$ คือ ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการใช้ไฟฟ้า (0.4682)

4. กรณีศึกษา

งานวิจัยครั้งนี้ศึกษาศักยภาพของระบบกักเก็บพลังงานในการลดพลังงานส่วนเกินและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยมีกรณีศึกษา ดังนี้

กรณีที่ 1 การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 1 กิโลวัตต์

กรณีที่ 2 การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 1 กิโลวัตต์ ร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานขนาด 2.56 กิโลวัตต์ชั่วโมง คายประจุและอัดประจุสูงสุด 0.5 คุลอมป์ โดยขนาดของระบบกักเก็บพลังงานถูกกำหนดให้สอดคล้องกับระดับโหลดพื้นฐานของผู้ใช้ไฟฟ้า โดยในงานวิจัยนี้กำหนดขนาดการคายประจุที่ 0.15 กิโลวัตต์ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เพื่อรองรับโหลดในช่วงเวลาที่ไม่มีการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ และกำหนดความจุของระบบกักเก็บพลังงานที่ 2.56 กิโลวัตต์ชั่วโมง โดยขนาดดังกล่าวถูกกำหนดให้มีความจุสูงกว่าพลังงานส่วนเกินที่เกิดขึ้นเพื่อรองรับความไม่แน่นอนของการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

การศึกษานี้ดำเนินการวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองพลังงานในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง โดยมีขั้นตอน ดังนี้

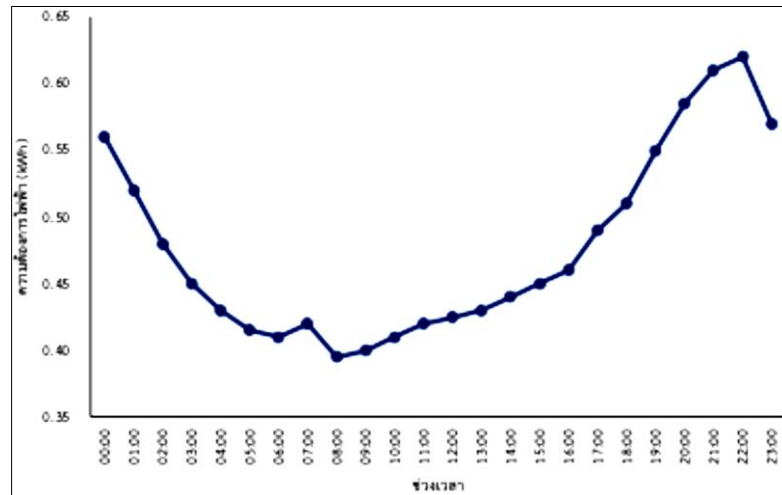
1. กำหนดโหลดโปรไฟล์ของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภท 1.2

อัตราค่าไฟฟ้าประเภท 1 คือ บ้านอยู่อาศัย ลักษณะการใช้สำหรับการใช้ไฟฟ้าในบ้านเรือนที่อยู่อาศัย แบ่งออกเป็น 3 อัตรา ได้แก่ 1.1 อัตราปกติปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน 1.2 อัตราปกติปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเกินกว่า 150 หน่วยต่อเดือน และ 1.3 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (การไฟฟ้านครหลวง, 2566) อัตราปกติปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเกินกว่า 150 หน่วยต่อเดือน ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราปกติปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเกินกว่า 150 หน่วยต่อเดือน

ค่าพลังงานไฟฟ้า	หน่วยละ (บาท)
150 หน่วย (กิโลวัตต์ชั่วโมง) แรก (หน่วยที่ 1-150)	3.2484
250 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 151-400)	4.2218
เกินกว่า 400 หน่วย (หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป)	4.4217

โหลดโปรไฟล์เฉลี่ยรายผู้ใช้ของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภท 1.2 ของการไฟฟ้านครหลวง ดังแสดง
ในรูปที่ 3



รูปที่ 3 โหลดโปรไฟล์เฉลี่ยรายผู้ใช้ของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภท 1.2 ของการไฟฟ้านครหลวง

จากรูปที่ 3 พบว่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ 0.62 กิโลวัตต์ชั่วโมง ช่วงเวลา 22.00 น. เนื่องจากช่วงเวลา 17.00 น. – 22.00 น. เป็นช่วงเวลาที่ผู้ใช้ไฟฟ้ากลับที่พัก โหลดทางไฟฟ้าส่วนใหญ่จะถูกเปิดใช้งาน ในทางกลับกันช่วงเวลา 08.00 น. – 16.00 น. เป็นช่วงเวลาที่ผู้ใช้ไฟฟ้าออกจากที่พักเพื่อไปทำงานโหลดทางไฟฟ้าจึงน้อย และในช่วงเวลา 23.00 น. – 07.00 น. เป็นช่วงเวลาที่ผู้ใช้ไฟฟ้าพักผ่อน โหลดทางไฟฟ้าบางส่วนจะยังคงใช้งาน

2. คำนวณพลังงานที่ผลิตได้จากระบบ PV ในแต่ละช่วงเวลา
3. เปรียบเทียบพลังงานผลิตกับโหลด เพื่อหาพลังงานส่วนเกิน

$$E_{surplus} = E_{PV} - E_{load} \quad (3)$$

4. กำหนดกลยุทธ์การทำงานของระบบกักเก็บพลังงาน โดยให้ชาร์จเมื่อมีพลังงานส่วนเกิน และคายประจุเมื่อโหลดสูง

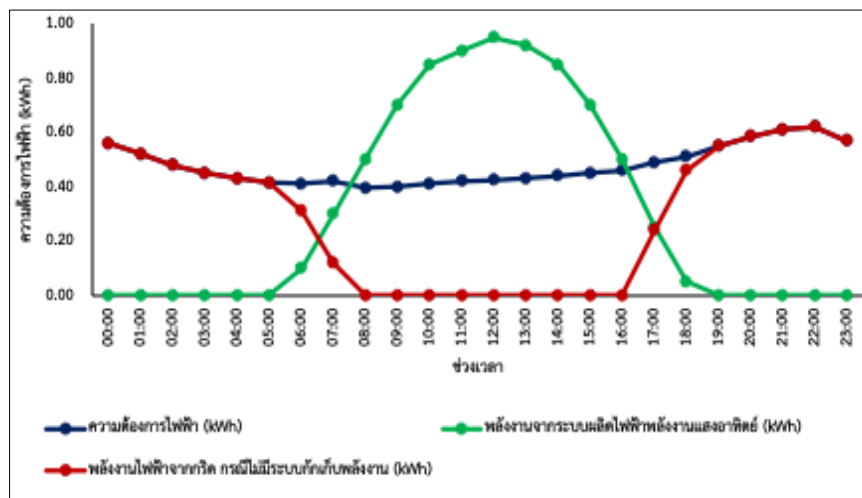
5. คำนวณพลังงานที่นำเข้าจากโครงข่ายไฟฟ้า

$$E_{grid} = E_{load} - (E_{PV} + E_{BESS}) \quad (4)$$

6. เปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่างกรณีมีและไม่มีระบบกักเก็บพลังงาน

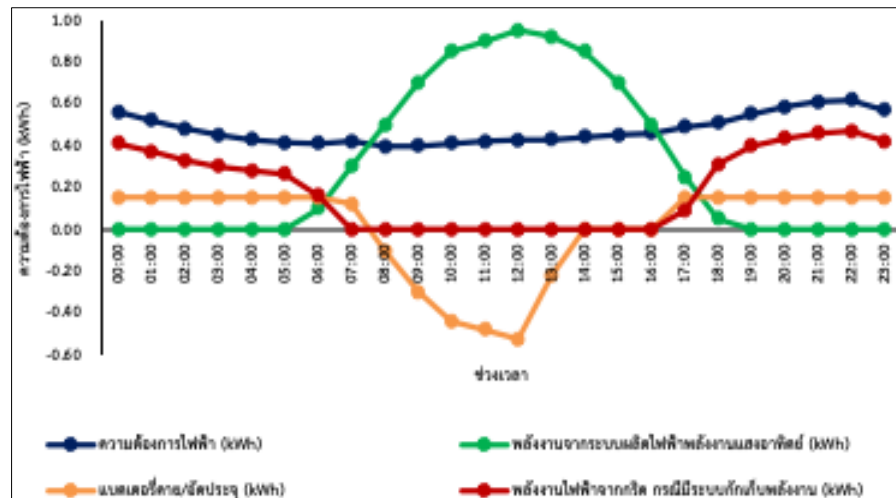
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ข้อมูลการผลิตไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ถูกกำหนดในรูปแบบโปรไฟล์รายชั่วโมงของระบบขนาด 1 กิโลวัตต์ ซึ่งสะท้อนลักษณะการผลิตไฟฟ้าตามช่วงเวลาการได้รับรังสีดวงอาทิตย์ในแต่ละวัน และนำมาใช้ในการวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าส่วนเกินและการทำงานของระบบกักเก็บพลังงาน ผลการวิเคราะห์กรณีติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ผลการวิเคราะห์กรณีติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

จากรูปที่ 4 ในช่วงเวลา 06.00 น. และ 18.00 น. เป็นช่วงเวลาที่ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เริ่มและหยุดทำงานตามลำดับส่งผลให้ผู้ใช้ไฟฟ้าใช้งานจากกริดลดลง ในช่วงเวลา 08.00 น. – 16.00 น. พลังงานส่วนเกินที่ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สูญเสียอยู่ที่ 3.04 กิโลวัตต์ชั่วโมง ผลการวิเคราะห์กรณีติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบกักเก็บพลังงาน ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 ผลการวิเคราะห์กรณีติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบกักเก็บพลังงาน

จากรูปที่ 5 ระบบกักเก็บพลังงานทำหน้าที่คายประจุเพื่อสำรองโหลดขนาด 0.15 กิโลวัตต์ ในช่วงเวลา 18.00 น. – 06.00 น. เนื่องจากไม่มีการผลิตพลังงานจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ในช่วงเวลา 08.00 น. – 13.00 น. ซึ่งเป็นช่วงที่มีความเข้มรังสีแสงอาทิตย์สูง ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานได้มากกว่าความต้องการ ส่งผลให้เกิดพลังงานส่วนเกิน และระบบกักเก็บพลังงานทำการอัดประจุรวม 2.07 กิโลวัตต์ชั่วโมง โดยยังมีพลังงานส่วนเกินคงเหลือประมาณ 0.97 กิโลวัตต์ชั่วโมง ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าการติดตั้งระบบกักเก็บพลังงานสามารถลดการนำเข้าพลังงานจากโครงข่ายไฟฟ้าได้ 2.22 กิโลวัตต์ชั่วโมง

ผลการวิเคราะห์ค่าไฟฟ้ากรณีฐาน คือ 1,304.18 บาทต่อเดือน ค่าไฟฟ้ากรณีติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ คือ 730.44 บาทต่อเดือน คิดเป็นร้อยละ 43.99 สามารถลดก๊าซเรือนกระจก 0.78 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี ต่อปีและค่าไฟฟ้ากรณีติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบกักเก็บพลังงาน คือ 458.02 บาทต่อเดือน คิดเป็นร้อยละ 64.88 สามารถลดก๊าซเรือนกระจก 1.13 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี

สรุปผล

บทความวิจัยนี้นำเสนอการวิเคราะห์การลดพลังงานส่วนเกินในระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบกักเก็บพลังงาน โดยใช้ข้อมูลโหลดโปรไฟล์เฉลี่ยรายผู้ใช้ของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภท 1.2 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มีกำลังการผลิต 1 กิโลวัตต์ และระบบกักเก็บพลังงานมีขนาดความจุ 2.56 กิโลวัตต์ชั่วโมง ผลการศึกษาพบว่าพลังงานส่วนเกินที่ระบบผลิตไฟฟ้า

พลังงานแสงอาทิตย์สูญเสียอยู่ที่ 3.04 กิโลวัตต์ชั่วโมง เมื่อติดตั้งระบบกักเก็บพลังงานเพื่ออัดประจุพลังงานที่เหลือจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ รวม 2.07 กิโลวัตต์ชั่วโมง จะเหลือพลังงานสูญเสียอยู่ที่ 0.97 กิโลวัตต์ชั่วโมง ส่งผลให้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่นำเข้าจากระบบโครงข่ายไฟฟ้าในกรณีที่ติดตั้งระบบกักเก็บพลังงานลดลง 2.22 กิโลวัตต์ชั่วโมง ดังนั้นการติดตั้งระบบกักเก็บพลังงานร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน โดยลดพลังงานส่วนเกินในช่วงเวลากลางวัน และลดการพึ่งพาพลังงานจากโครงข่ายไฟฟ้าในช่วงเวลาที่มีความต้องการสูง ช่วยลดภาระของระบบจำหน่ายไฟฟ้า และเพิ่มเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าโดยรวม

ข้อเสนอแนะ

ควรพิจารณาการประยุกต์ใช้อัตราค่าไฟฟ้าแบบตามช่วงเวลา (Time of Use Tariff : TOU) ร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และระบบกักเก็บพลังงาน เพื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ และกำหนดกลยุทธ์การชาร์จ-คายประจุของระบบกักเก็บพลังงานให้เหมาะสมกับช่วงเวลาที่อัตราค่าไฟฟ้าแตกต่างกัน นอกจากนี้ควรศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพขนาดของระบบกักเก็บพลังงานและรูปแบบการบริหารจัดการพลังงาน เพื่อให้สามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน ลดการพึ่งพาไฟฟ้าจากโครงข่าย และเพิ่มการใช้พลังงานหมุนเวียนที่ผลิตได้ภายในระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

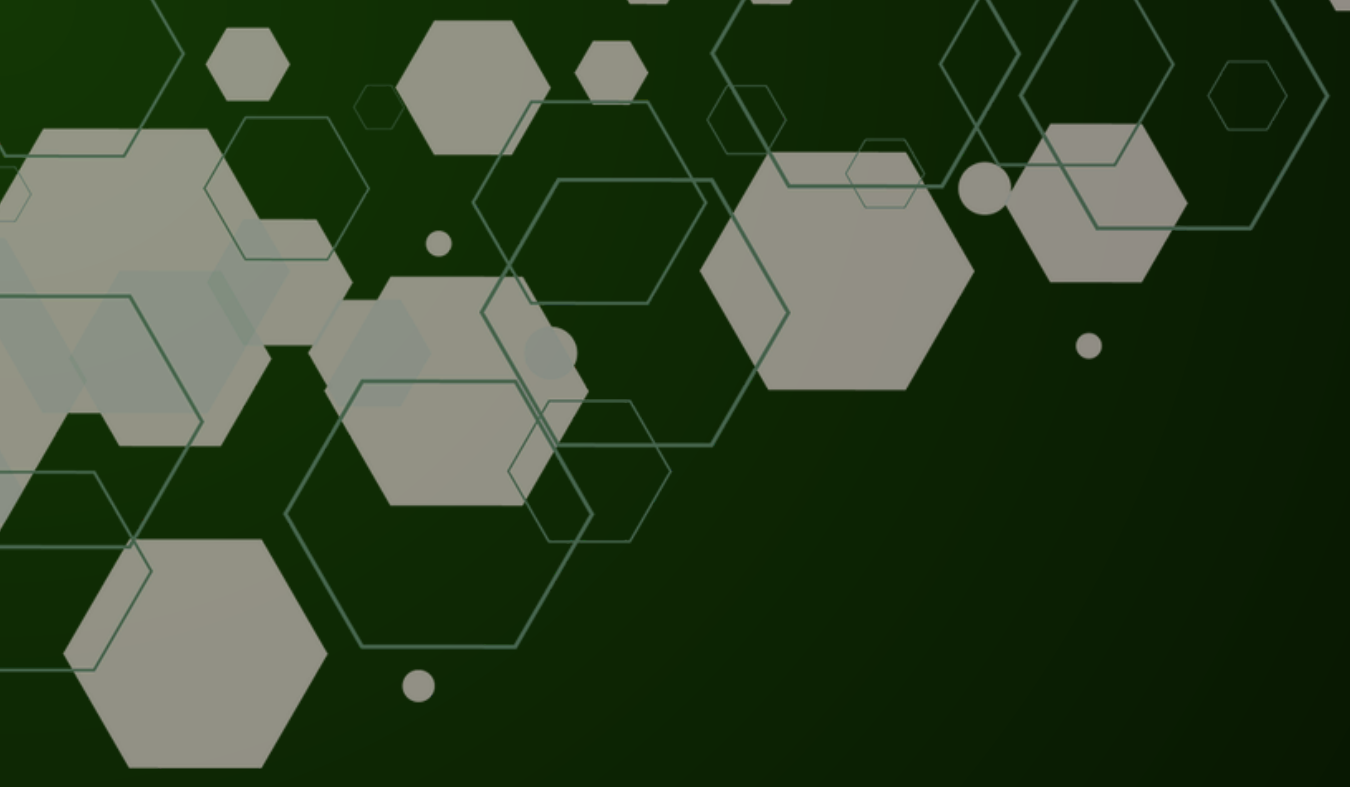
กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้การสนับสนุน

เอกสารอ้างอิง

- การไฟฟ้านครหลวง. (2566). **ประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย**. ค้นเมื่อ 1 พฤษภาคม 2569. จาก <https://www.mea.or.th/our-services/tariff-calculation/other/D5xEaEwgU>.
- ธีระภัทร์ แมนมิตร และปานจิต ดำรงกุลกำจร. (2558). ระบบกักเก็บพลังงานโดยใช้แบตเตอรี่ที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ สำหรับผู้ใช้ไฟที่มีการคิดอัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาการใช้งาน. **วารสารวิจัยพลังงาน**, 12(2), 75-94.

- องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). (2568). T-VER-S-METH-01-01 ระเบียบ
วิธีการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจสำหรับการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน.
ค้นเมื่อ 1 พฤษภาคม 2569, จาก <https://ghgreduction.tgo.or.th/th/tver-method/t-ver-classify-methodology/t-ver-methodology1/item/3554-electricity-generation-from%20renewable-energy.html>.
- Ang, T. Z., Salem, M., Kamarol, M., Das, H. S., Nazari, M. A., & Prabakaran, N. (2022). A comprehensive study of renewable energy sources: Classifications, challenges and suggestions. **Energy Strategy Reviews**, 43, 100939. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.100939>.
- Aslam, M. U., Miah, M. S., Amin, B. M. R., Shah, R., & Amjady, N. (2025). Application of Energy Storage Systems to Enhance Power System Resilience: A Critical Review. **Energies**, 18(14), 3883; <https://doi.org/10.3390/en18143883>
- Gulraiz, A., Zaidi, S. S. H., Ashraf, M., Ali, M., Lashab, A., Guerrero, J. M., & Khan, B. (2025). Impact of photovoltaic ingress on the performance and stability of low voltage Grid-Connected Microgrids. **Results in Engineering**, 26, 105030. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.105030>
- Hou, X., Wild, M., Folini, D., Kazadzis, S., & Wohland, J. (2021). Climate change impacts on solar power generation and its spatial variability in Europe based on CMIP6. **Earth System Dynamics**, 12(4), 1099-1113.
- Sohaib, M., Majeed, A., Liu, J., & Oláh, J. (2025). The role of renewable energy in mitigating carbon emissions: Insights from China's energy consumption patterns. **Energy Strategy Reviews**, 61, 101860. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2025.101860>.
- Torres, C. G., Casas, C. R., Castillo, G. J., & Rodríguez, F. J. M. (2025). Photovoltaic systems with battery storage: A novel and comprehensive scheduling method for high-consumption facilities. **Journal of Energy Storage**, 139, Part B, 118858. <https://doi.org/10.1016/j.est.2025.118858>.



กองบรรณาธิการ
วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี
E-mail: journal-scidru@dru.ac.th

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี
172 ถนนนิสรภาพ แขวงวัดกัลยาณ์ เขตธนบุรี กรุงเทพมหานคร 10600
โทร. 02-890-1801 ต่อ 10710 <https://sci.dru.ac.th>

