



วารสารวิชาการ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี
Academic Journal of Science and Technology
Dhonburi Rajabhat University

ปีที่ 3 ฉบับที่ 2
(กรกฎาคม - ธันวาคม 2568)

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
นางสาวสรีนา	ศรีแสง

ฝ่ายออกแบบและจัดพิมพ์รูปเล่ม

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

ฝ่ายเผยแพร่ทางอิเล็กทรอนิกส์และประชาสัมพันธ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิวัฒน์	จุราหะวงศ์
นางสาววรรณวิสาข์	สุกปลั่ง

ฝ่ายประสานงาน

นางสาวปราณี	แซ่เจ็ง
นางสาววันดี	ศรีสำอางค์

ฝ่ายการเงินและงานพัสดุ

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

บทบรรณาธิการ

วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี ฉบับนี้ เป็นปีที่ 3 ฉบับที่ 2 ประจำเดือนกรกฎาคม-เดือนธันวาคม การตีพิมพ์เผยแพร่บทความวิจัยและวิชาการ มีจุดประสงค์ที่จะเผยแพร่องค์ความรู้ กระบวนการทางความคิด และการพัฒนาต่อยอดวิจัยต่าง ๆ อันได้จากการศึกษา ค้นคว้าวิจัย ตลอดจนแง่มุมต่าง ๆ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ทางบรรณาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่า บทความวิจัยที่ได้เผยแพร่ในวารสารฉบับนี้ จะก่อให้เกิดประโยชน์ในด้านวิชาการ สังคม และชุมชนต่อไป

กองบรรณาธิการ

สารบัญ

บทความวิจัย	หน้า
1. การประยุกต์ใช้กระบวนการวิศวกรรมสังคมในการพัฒนาขนมครกเสริมผงใบหม่อน ร่วมกับวิสาหกิจชุมชนประสานมิตร ไกรรัช เทศมี จันวิภา สุปะกิ่ง หฤทศ อภิรัตน์ ธนากร เมืองอารมณ และวรวิทย์ สีสาวรรณ	A1
2. การประเมินคุณภาพธาตุอาหาร ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ของวัสดุปลูกพืชอินทรีย์ที่มีส่วนผสมของใบทุเรียน โดยใช้วิธีการอย่างง่าย นภาพรรณ หนิมพานิช สุชาดา เทียนขาว และพรชัย เหลืองวารี	A13
3. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวเก็บประจุยิ่งยวดจากการชาร์จด้วยแรงดันไฟฟ้า หลายรูปแบบ วัชรไกร สนนุช	A25
4. เรือเก็บขยะพลังงานแสงอาทิตย์ควบคุมการทำงานด้วย IoT จักรกฤษณ์ จันทรพิเชียร ณพวัฒน์ ทองพันซัง และณัฐคมณ์ ไพศาลวิสัยศ	A39
5. การเปรียบเทียบการใช้หม้อแปลงแบบรวมและแบบแยกในระบบโซลาร์เซลล์ สำหรับอาคารเดียวกัน ศุภวุฒิ เนตรโพธิ์แก้ว ศุภณัฐ อัยกัม และณัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ	A57

การประยุกต์ใช้กระบวนการวิศวกรรมสังคมในการพัฒนา ขนมครกเสริมผงใบหม่อนร่วมกับวิสาหกิจชุมชนประสานมิตร

ไกรรัช เทตมี^{1*} จันวิภา สุปะกิ่ง² หฤทศ อภิรัตน์³ ธนากร เมืองอารมณ์⁴ และวรวิทย์ สีสาวรรณ⁵

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์แบบมีส่วนร่วมของชุมชน โดยใช้กระบวนการวิศวกรรมสังคมในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมครกเสริมผงใบหม่อนและถ่ายทอดผลิตภัณฑ์สู่ชุมชน โดยพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ขนมครกเติมผงใบหม่อน ที่อัตราส่วนแตกต่างกัน คือ ร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนัก ทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9-point hedonic scale) ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส ความรู้สึกลังลิ้น และความชอบโดยรวม

ผลการวิจัยพบว่า การประยุกต์ใช้กระบวนการวิศวกรรมสังคมในการพัฒนาขนมครกเสริมผงใบหม่อนร่วมกับวิสาหกิจชุมชนประสานมิตร ทำให้เกิดการผลิตสินค้าใหม่ของชุมชนที่มีลักษณะเฉพาะ โดยสมาชิกชุมชนมีการรับรู้ถึงแนวทางดังกล่าวสามารถดึงดูดความสนใจของผู้บริโภคและช่วยเพิ่มรายได้ให้กับชุมชน ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่า ขนมครกเสริมผงใบหม่อนที่อัตราส่วนร้อยละ 5 ได้รับคะแนนสูงกว่าขนมครกเสริมผงใบหม่อนในอัตราส่วนร้อยละ 10 และ 15 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในทุกคุณลักษณะ ผลการถ่ายทอดเทคโนโลยีให้แก่วิสาหกิจชุมชนประสานมิตร พบว่า ผู้เข้าร่วมโครงการมีความพึงพอใจโดยภาพรวมต่อการจัดอบรมเชิงปฏิบัติการอยู่ในระดับมากที่สุด และมีความคิดเห็นว่าการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมครกเสริมผงใบหม่อนมีศักยภาพที่จะพัฒนาเป็นอาชีพและสนับสนุนการสร้างวิถีชีวิตที่ยั่งยืนแก่ชุมชนได้

คำสำคัญ : การพัฒนาผลิตภัณฑ์ ขนมครก ผงใบหม่อน กระบวนการวิศวกรรมสังคม

^{1,2} สาขาวิชาอุตสาหกรรมอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

^{3,4,5} สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

* ผู้ประสานงานหลัก e-mail: krairuch.t@dru.ac.th

วันที่รับบทความ 2 สิงหาคม 2568

วันที่แก้ไขบทความ 21 สิงหาคม 2568

วันที่ตอบรับบทความ 9 กันยายน 2568

Applying the Social Engineering Process in the Development of Thai Coconut Rice Pancakes Fortified with Mulberry Leaf Powder in Collaboration with the Prasanmit Community Enterprise

Krairuch Thetmee^{1*} Janwipa Supaking² Harittapak Apirat³
Thanakorn Miengarrom⁴ and Wolawit Leelawan⁵

ABSTRACT

This study aimed to investigate community-based participatory approaches for product development using the social engineering process, with a focus on development of Thai coconut-rice pancakes (Khanom Krok) fortified with mulberry (*Morus alba* L.) leaf powder. The formulations were developed with mulberry leaf powder at levels of 5%, 10%, and 15% by weight. The sensory evaluation (9-point hedonic scale) was conducted to assess appearance, color, aroma, taste, texture, aftertaste, and overall acceptability.

The findings revealed that the application of the social engineering process in collaboration with the Prasanmit Community Enterprise successfully facilitated the creation of a new product with distinctive characteristics. This approach was perceived by community members as a strategic for stimulating consumer interest and enhance local income generation. Sensory evaluation results indicated that the 5%

^{1,2} Department of Food Industry, Faculty of Science and Technology, Dhonburi Rajabhat University

^{3,4,5} Department of Industrial Technology, Faculty of Science and Technology, Dhonburi Rajabhat University

* Corresponding author e-mail: krairuch.t@dru.ac.th

Received: Aug 2, 2025

Revised: Aug 21, 2025

Accepted: Sep 9, 2025

mulberry leaf powder formulation received significantly higher scores ($p \leq 0.05$) than the 10% and 15% formulations in all evaluated attributes. The technology transfer workshop achieved the highest satisfaction ratings among participants, who expressed confidence in the product's potential for income generation and sustainable livelihood development.

Keywords: product development, Thai coconut rice pancake, mulberry leaf powder, social engineering process

บทนำ

มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี มีภารกิจหลักคือการจัดการเรียนการสอน การวิจัย บริการวิชาการ ทำนุบำรุงศิลปวัฒนธรรม พัฒนาชุมชน และท้องถิ่น ซึ่งมีจุดมุ่งหมายสำคัญคือผลิตบัณฑิตให้มีความสามารถทั้งทักษะด้านสมรรถนะหลักซึ่งใช้ในการประกอบอาชีพ รวมถึงทักษะที่จำเป็นในการดำเนินชีวิต และอยู่ร่วมกับชุมชน (มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี, 2566) ปัจจุบันกลุ่มมหาวิทยาลัยราชภัฏได้ร่วมสร้างเครื่องมือที่ใช้พัฒนาทักษะให้กับนักศึกษา โดยใช้ชื่อว่า “เครื่องมือวิศวกรสังคม” และได้ทำการขยายผลในกลุ่มมหาวิทยาลัยราชภัฏ ภายใต้การส่งเสริมสนับสนุนจากฯ หน่วยงาน ออคมณตรี ดาวพงษ์ รัตนสุวรรณ เพื่อให้นักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏ เป็นนักคิด นักสื่อสาร นักประสาน และนวัตกรรม รองรับความต้องการของตลาดแรงงาน และการพัฒนาสังคมที่ยั่งยืน คำว่า “วิศวกรสังคม” มาใช้เพื่อการสร้างให้นักศึกษาคิดวิเคราะห์เป็นระบบมีเหตุและผลสามารถลงพื้นที่ในชุมชน เพื่อสร้างความเชื่อมโยงต่อชุมชนเพื่อตอบสนองความต้องการของบุคลากรในการพัฒนาประเทศ รองรับความต้องการของตลาดแรงงาน และการพัฒนาสังคมที่ยั่งยืน (สุภาสพงษ์ รุ้งทอง, 2566)

หม่อน (*Morus alba* L.) เป็นไม้พุ่มขนาดกลาง ใบหม่อนใช้เป็นทั้งอาหารสำหรับเลี้ยงไหม และเป็นสมุนไพร ตำราสรรพคุณยาไทย ใบหม่อน มีรสจืดเย็น ต้มดื่มแก้ไข้ตัวร้อน ร้อนใน กระหายน้ำ แก้ไอ ระงับประสาท หรือต้มเอาน้ำ ล้างตา แก้ตาแดง ตาแฉะ และฝ้าฟาง จากการศึกษาทางพฤกษเคมีของใบหม่อน พบว่า มีสารกลุ่มสารฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ แทนนิน และเทอร์ปีน ซึ่งมีฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา เช่น ฤทธิ์ต้านเบาหวาน ต้านมะเร็ง ต้านการอักเสบ และลดไขมันในเลือด การตรวจสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด ยืนยันว่าสารสกัดจากใบหม่อนมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในระดับสูง (Wen et al., 2019)

วิสาหกิจชุมชนประสานมิตร มีการนำผลกับใบหม่อนมาใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ โดยนำใบอ่อนของต้นหม่อนไปผลิตชา ขนมหองพับผสมผงใบหม่อน ขนมหองพับผสมน้ำใบหม่อน ส่วนลูกหม่อนนำมาผลิตเป็นขนมสาเล่ผสมลูกหม่อน น้ำลูกหม่อน กัมมี่เยลลี่ลูกหม่อน และพุดดิ้งหน้าลูกหม่อน เป็นต้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์แบบมีส่วนร่วมของวิสาหกิจชุมชนประสานมิตร โดยใช้กระบวนการวิศวกรรมสังคม ในการพัฒนาขนมครกเสริมผงใบหม่อนซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าและการอนุรักษ์ขนมไทย เพื่อก่อให้เกิดการสร้างได้และพัฒนาเศรษฐกิจ นำมาต่อยอดและสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่วิสาหกิจชุมชนโดยการถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตขนมครกเสริมผงใบหม่อนอันจะส่งผลต่อการพัฒนาเศรษฐกิจชุมชน เป็นพื้นฐานสำคัญของเศรษฐกิจชาติและคุณภาพชีวิตที่ดีต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. แนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์แบบมีส่วนร่วมของวิสาหกิจชุมชนประสานมิตร โดยใช้

กระบวนการวิศวกรรมสังคม

ผู้วิจัยทำการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (purposive sampling) ประกอบด้วย ผู้นำชุมชน จำนวน 1 คน ปราชญ์ชุมชนด้านการทำขนมหวาน จำนวน 3 คน ประชาชนในชุมชน จำนวน 20 คน ผู้เชี่ยวชาญด้านการพัฒนาผลิตภัณฑ์ จำนวน 3 คน และตัวแทนนักศึกษาที่ผ่านการอบรมวิศวกรรมสังคม จำนวน 13 คน เข้าเสวนาเพื่อศึกษาและแลกเปลี่ยนความคิดเห็น และกำหนดแนวทางรูปแบบผลิตภัณฑ์ โดยใช้กระบวนการวิศวกรรมสังคม

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ แบบการสัมภาษณ์ที่เป็นทางการ (formal interview) ในการสอบถามจะมีการซักถามข้อมูลในประเด็นด้านทรัพยากรชุมชน วัฒนธรรมภูมิปัญญาท้องถิ่น รูปแบบผลิตภัณฑ์ที่สนใจ นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการโดยใช้วิธีการสังเกตแบบมีส่วนร่วม (participatory observation) เพื่อเก็บข้อมูล

2. การคัดเลือกสูตรต้นแบบของขนมครก

ในการศึกษาครั้งนี้ ดำเนินการการคัดเลือกสูตรต้นแบบของขนมครก จาก 3 สูตร คือ สูตรที่ 1 โดย สุนันทา ชาแสน (2560) สูตรที่ 2 โดย ลัดดา เจตะภัย (2559) และ สูตรที่ 3 โดย กรมส่งเสริมการเกษตร (2560) ผลิตขนมครกตามสูตรต้นแบบจากนั้นนำไปทดสอบทางประสาทสัมผัส (sensory evaluation) กับผู้บริโภครว้ไป จำนวน 50 คน โดยวิธีการให้คะแนนความชอบ (1-9 point hedonic scale) โดย 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด และ 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด ให้คะแนนความชอบคุณลักษณะด้านต่าง ๆ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และ

ความชอบโดยรวม พร้อมคำถามปลายเปิด เพื่อคัดเลือกสูตรที่เหมาะสมในการประยุกต์ใช้และหาแนวทางในการปรับสูตรเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ สูตรขนมครกต้นแบบแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนผสมของขนมครกสูตรต้นแบบ

วัตถุดิบ	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3
ตัวขนม			
แป้งข้าวเจ้า	400 กรัม	300 กรัม	500 กรัม
แป้งสาลีอเนกประสงค์	80 กรัม	80 กรัม	60 กรัม
แป้งข้าวเหนียว	20 กรัม	50 กรัม	10 กรัม
หัวกะทิ	720 กรัม	600 กรัม	500 กรัม
น้ำตาลทราย	40 กรัม	30 กรัม	50 กรัม
น้ำปูนใส	60 กรัม	50 กรัม	60 กรัม
เกลือ	5 กรัม	5 กรัม	5 กรัม
หน้าขนม			
หัวกะทิ	250 กรัม	280 กรัม	240 กรัม
แป้งข้าวเจ้า	40 กรัม	30 กรัม	40 กรัม
เกลือ	5 กรัม	5 กรัม	5 กรัม

3. การศึกษาปริมาณผงใบหม่อนที่เหมาะสมในขนมครก

ผู้วิจัยทำการศึกษาปริมาณผงใบหม่อนที่เหมาะสมสำหรับการเติมในขนมครก โดยผู้วิจัยใช้ผงใบหม่อนที่ผลิตในชุมชน เสริมในขนมครกอัตราส่วนร้อยละ 5 10 และ 15 ของน้ำหนักแป้งในส่วนผสมของตัวขนมทั้งหมด นำขนมครกเสริมผงใบหม่อนไปทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยใช้จำนวนผู้ทดสอบ 50 คน โดยวิธีการให้คะแนนความชอบ 9 คะแนน (9-point hedonic scale) ให้คะแนนความชอบคุณลักษณะด้านต่าง ๆ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส ความรู้สึกหลังกลืน และความชอบโดยรวม วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (randomized complete block design, RCBD) วิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

4. การถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตขนมครกเสริมผงใบหม่อน

การถ่ายทอดเทคโนโลยี โดยการนำองค์ความรู้ที่ได้จากการผลิตขนมครกเสริมผงใบหม่อน ถ่ายทอดให้แก่วิสาหกิจชุมชนประสานมิตร ตามความสมัครใจ จำนวน 40 คน เมื่อเสร็จสิ้นโครงการ ทำการประเมินผลโดยใช้แบบสอบถาม และวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. แนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์แบบมีส่วนร่วมของวิสาหกิจชุมชนประสานมิตร โดยใช้กระบวนการวิศวกรรมสังคม

จากการเสวนากำหนดรูปแบบแนวพัฒนาผลิตภัณฑ์ โดยกระบวนการวิศวกรรมสังคม ซึ่งนักศึกษามีส่วนร่วมในการแก้ปัญหาแบบเป็นระบบเพื่อสร้างนวัตกรรมชุมชน พบว่า วิสาหกิจชุมชนประสานมิตร ตั้งอยู่ในแขวงหิรัญรุจี เขตธนบุรี กรุงเทพมหานคร ชุมชนได้รับการสนับสนุนให้นำภูมิปัญญาท้องถิ่นมาพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุมชน โดยเฉพาะ “ชาใบหม่อน” ซึ่งกลายเป็นผลิตภัณฑ์เด่นของกลุ่ม ชุมชนมีการรวมตัวของครัวเรือนกว่า 200 ครัวเรือน เพื่อปลูกต้นหม่อนในเมือง และจัดการแปรรูปใบหม่อนเป็นผลิตภัณฑ์อื่น ๆ อย่างมีคุณภาพ โดยใช้วิธีปลูกแบบอินทรีย์ ไม่มีสารเคมี และควบคุมคุณภาพอย่างพิถีพิถัน จากการที่ชุมชนเสวนาร่วมกับนักศึกษาเพื่อสอบถามแนวทางการต้องการการพัฒนาสินค้าของชุมชนโดยใช้กระบวนการวิศวกรรมสังคม พบว่า ประธานชุมชน และสมาชิกในชุมชนมีความต้องการพัฒนาผลิตภัณฑ์เพิ่มเติม โดยนักศึกษาคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้เสนอแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมครกเสริมผงใบหม่อน โดยนำวัตถุดิบจากชุมชน คือ ผงใบหม่อน ที่คุณสมบัติช่วยลดระดับไขมันคอเลสเตอรอลในเลือด มีสารเคอซีติน (quercetin) และเคมเฟอรอล (kaempferol) ซึ่งเป็นสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ (flavonoids) ที่มีคุณสมบัติต้านป้องกันการดูดซึมน้ำตาลในลำไส้ ทั้งนี้คนในชุมชนมีความคิดเห็นว่าการผลิตขนมครกเสริมผงใบหม่อนให้เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ของชุมชน ที่มีลักษณะที่แตกต่างจากสินค้าทั่วไปในตลาด ทำให้ผู้บริโภคเกิดความสนใจ สามารถสร้างอาชีพและสร้างรายได้ให้แก่คนในชุมชน อันจะส่งผลต่อการพัฒนาเศรษฐกิจชุมชนเป็นพื้นฐานสำคัญของเศรษฐกิจชาติและคุณภาพชีวิตที่ดีต่อไป

2. การคัดเลือกสูตรต้นแบบของขนมครก

จากการนำสูตรต้นแบบมาทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม พบว่าขนมครก สูตรที่ 3 แตกต่างกับสูตรที่ 1 และ 2 ($p \leq 0.05$) โดยสูตรที่ 3 มีคะแนนเฉลี่ยด้านลักษณะปรากฏเท่ากับ 7.28 ± 0.45 ด้านสี 7.42 ± 0.60 ด้าน

กลิ่น 7.06 ± 0.70 ด้านรสชาติ 7.54 ± 0.70 ด้านเนื้อสัมผัส 7.32 ± 0.81 และด้านความชอบโดยรวม 7.32 ± 0.47 แสดงดังตารางที่ 2 ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกสูตรที่ 3 มาพัฒนาเป็นขนมครกเสริมผงใบหม่อนต่อไป

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของสูตรต้นแบบของขนมครก

คุณลักษณะ	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3
ลักษณะปรากฏ	6.16 ± 0.97^b	6.19 ± 1.12^b	7.28 ± 0.45^a
สี	6.08 ± 0.93^b	6.14 ± 1.00^b	7.42 ± 0.60^a
กลิ่น	6.06 ± 0.88^b	6.10 ± 0.83^b	7.06 ± 0.70^a
รสชาติ	6.14 ± 1.08^b	6.14 ± 0.75^b	7.54 ± 0.70^a
เนื้อสัมผัส	6.04 ± 0.45^b	6.18 ± 0.95^b	7.32 ± 0.81^a
ความชอบโดยรวม	6.18 ± 0.59^b	6.16 ± 1.07^b	7.32 ± 0.47^a

หมายเหตุ ^{a, b} อักษรที่ต่างในแนวนอนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

3. การศึกษาปริมาณผงใบหม่อนที่เหมาะสมในขนมครก

การประเมินทางประสาทสัมผัสของขนมครกเสริมผงใบหม่อนในอัตราส่วนร้อยละ 5 10 และ 15 พบว่าขนมครกเสริมผงใบหม่อนในอัตราส่วนร้อยละ 5 ได้รับคะแนนสูงกว่าขนมครกเสริมผงใบหม่อนในอัตราส่วนร้อยละ 10 และ 15 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยอัตราส่วนร้อยละ 5 มีคะแนนเฉลี่ยด้านลักษณะปรากฏเท่ากับ 7.22 ± 0.50 ด้านสี 7.22 ± 0.67 ด้านกลิ่น 7.44 ± 0.57 ด้านรสชาติ 7.36 ± 0.69 ด้านเนื้อสัมผัส 7.32 ± 0.58 ด้านความรู้สึกล้นกลืน 7.32 ± 0.71 และด้านความชอบโดยรวม 7.26 ± 0.44 แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการประเมินทางประสาทสัมผัสขนมครกเสริมผงใบหม่อน

คุณลักษณะ	ค่าเฉลี่ยผลการประเมินทางประสาทสัมผัส		
	ปริมาณผงใบหม่อน ร้อยละ 5	ปริมาณผงใบหม่อน ร้อยละ 10	ปริมาณผงใบหม่อน ร้อยละ 15
ลักษณะปรากฏ	7.22 ± 0.50^a	6.38 ± 0.98^b	6.36 ± 0.97^b
สี	7.22 ± 0.67^a	5.22 ± 0.78^b	5.18 ± 0.74^b
กลิ่น	7.44 ± 0.57^a	5.68 ± 0.55^b	5.66 ± 0.51^b
รสชาติ	7.36 ± 0.69^a	6.10 ± 0.67^b	6.14 ± 0.69^b
เนื้อสัมผัส	7.32 ± 0.58^a	5.96 ± 0.66^b	5.94 ± 0.68^b

คุณลักษณะ	ค่าเฉลี่ยผลการประเมินทางประสาทสัมผัส		
	ปริมาณผงใบหม่อน ร้อยละ 5	ปริมาณผงใบหม่อน ร้อยละ 10	ปริมาณผงใบหม่อน ร้อยละ 15
ความรู้สึกหลังกลืน	7.32±0.71 ^a	5.64±0.48 ^b	5.66±0.47 ^b
ความชอบโดยรวม	7.26±0.44 ^a	6.12±1.07 ^b	6.10±0.88 ^b

หมายเหตุ ^{a, b} อักษรที่ต่างในแนวนอนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

4. การถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตขนมครกเสริมผงใบหม่อน

เมื่อเสร็จสิ้นการศึกษาดูทดลองขนมครกเสริมผงใบหม่อนในห้องปฏิบัติการ ผู้วิจัยได้มีการนำองค์ความรู้ที่ได้จากการผลิตขนมครกเสริมผงใบหม่อน ถ่ายทอดให้แก่วิสาหกิจชุมชนประสานมิตรตามความสนใจ จำนวน 40 คน ในรูปแบบการจัดโครงการอบรมเชิงปฏิบัติการ เรื่อง การพัฒนาขนมครกเสริมผงใบหม่อน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อถ่ายทอดกระบวนการทำขนมครกเสริม ผงใบหม่อนเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มผ่านกระบวนการวิศวกรรมสังคม พบว่า ผู้เข้าร่วมโครงการเป็นเพศหญิง จำนวน 35 คน (ร้อยละ 87.50) เป็นเพศชาย จำนวน 5 คน (ร้อยละ 12.50) แบ่งเป็นสมาชิกวิสาหกิจชุมชนประสานมิตร จำนวน 30 คน (ร้อยละ 75.00) และนักศึกษา (วิศวกรรมสังคม) จำนวน 10 คน (ร้อยละ 25.00) มีอายุน้อยกว่า 30 ปี จำนวน 10 คน (ร้อยละ 25.00) อายุ 30 - 39 ปี จำนวน 6 คน (ร้อยละ 15.00) อายุ 40 - 49 ปี จำนวน 4 คน (ร้อยละ 10.00) และอายุ 50 - 59 ปี จำนวน 4 คน (ร้อยละ 10.00) และอายุ 60 ปีขึ้นไป จำนวน 16 คน (ร้อยละ 40.00) แสดงผลดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ข้อมูลทั่วไปของผู้เข้าร่วมโครงการ

ข้อมูลทั่วไป	จำนวน (n=40)	ร้อยละ
เพศ		
หญิง	35	87.50
ชาย	5	12.50
สถานภาพ		
สมาชิกวิสาหกิจชุมชนประสานมิตร	30	75.00
นักศึกษา (วิศวกรรมสังคม)	10	25.00
อายุ		
น้อยกว่า 30 ปี	10	25.00
30 - 39 ปี	6	15.00

ข้อมูลทั่วไป	จำนวน (n=40)	ร้อยละ
40 - 49 ปี	4	10.00
50 - 59 ปี	4	10.00
60 ปีขึ้นไป	16	40.00

ความพึงพอใจต่อการถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตขนมครกเสริมผงไบหม่อน พบว่า ผู้เข้าร่วมโครงการมีความพึงพอใจในภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.70$) โดยด้านความพร้อมของสถานที่และอุปกรณ์ในการอบรม ด้านการถ่ายทอดและการตอบคำถามของวิทยากร ด้านเนื้อหาการอบรมเข้าใจได้ง่าย ด้านความรู้ที่ได้รับเพิ่มขึ้นหลังการจัดอบรม ด้านการนำความรู้ไปใช้ประโยชน์ได้ และด้านการถ่ายทอดองค์ความรู้ที่ได้รับให้แก่ผู้อื่น มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.65 - 4.75$) ส่วนด้านเอกสารประกอบการฝึกอบรมมีความเหมาะสมและเป็นประโยชน์ และด้านการนำผลิตภัณฑ์ขนมครกเสริมผงไบหม่อนไปสร้างอาชีพได้ มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.22 - 4.45$) โดยค่าเฉลี่ยความพึงพอใจต่อการถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตขนมครกเสริมผงไบหม่อนอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.61$) แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ความพึงพอใจต่อการถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตขนมครกเสริมผงไบหม่อน

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D	การแปลผล
1. ความพร้อมของสถานที่ และอุปกรณ์ในการอบรม	4.70	0.47	ระดับมากที่สุด
2. การถ่ายทอดและการตอบคำถามของวิทยากร	4.66	0.50	ระดับมากที่สุด
3. เนื้อหาการอบรมเข้าใจได้ง่าย	4.65	0.49	ระดับมากที่สุด
4. เอกสารประกอบการฝึกอบรมมีความเหมาะสมและเป็นประโยชน์	4.45	0.69	ระดับมาก
5. ท่านได้รับความรู้เพิ่มขึ้นหลังการจัดอบรม	4.75	0.43	ระดับมากที่สุด
6. ท่านสามารถนำความรู้ไปใช้ประโยชน์ได้	4.70	0.47	ระดับมากที่สุด
7. ท่านคิดว่าสามารถนำผลิตภัณฑ์ขนมครกเสริมผงไบหม่อนไปสร้างอาชีพได้	4.22	0.45	ระดับมาก
8. ท่านสามารถถ่ายทอดองค์ความรู้ที่ได้รับให้แก่ผู้อื่นได้	4.65	0.49	ระดับมากที่สุด
9. ความพึงพอใจโดยภาพรวมต่อการจัดอบรมครั้งนี้	4.70	0.49	ระดับมากที่สุด
เฉลี่ย	4.61	0.17	ระดับมากที่สุด

การพัฒนาผลิตภัณฑ์แบบมีส่วนร่วมโดยใช้กระบวนการวิศวกรสังคม พบว่า วิสาหกิจชุมชน ประสานมิตร มีความต้องการผลิตขนมครกเสริมผงใบหม่อน ให้เป็นผลิตภัณฑ์สินค้าใหม่ของชุมชน สอดคล้องกับทุนทางความรู้ ภูมิปัญญา อีกทั้งผงใบหม่อนที่เป็นสินค้าของชุมชน ซึ่งกระบวนการผลิต มีการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ที่หาง่ายมีภายในครัวเรือน ตอบโจทย์วิถีชีวิตและความต้องการของคน ในชุมชน สอดคล้องกับอัจฉราวรรณ สุขเกิด และวรุณี เชาวนัสสุขม (2565) พบว่า เป้าหมายสำคัญ ในการผลิตสินค้าชุมชน วัตถุดิบในชุมชนผสมผสานกับวัฒนธรรม องค์ความรู้ ทักษะคน และภูมิปัญญา ท้องถิ่นที่มีอยู่มาใช้พัฒนาต่อยอดให้เกิดประโยชน์ นำมาสร้างสรรค์ให้กลายเป็นผลิตภัณฑ์ ที่มีเอกลักษณ์ของชุมชน สามารถสร้างรายได้ให้กับคนในชุมชน และสอดคล้องกับงานวิจัยของ ไกรรัช เทพมี (2563) กล่าวว่า การพัฒนาผลิตภัณฑ์สินค้าของวิสาหกิจชุมชน ต้องพัฒนาความรู้ และทักษะในการแปรรูปสินค้าที่อาศัยวัตถุดิบหลักภายในชุมชน กับองค์ความรู้ภูมิปัญญาท้องถิ่น และคำนึงถึงหลักโภชนาการทางด้านอาหาร ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในการผลิตผลิตภัณฑ์ให้มีมาตรฐาน สามารถสร้างอาชีพและสร้างรายได้ให้แก่คนในชุมชน

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมครกเสริมผงใบหม่อน ลักษณะของตัวขนมมีความหวานพอดี ลักษณะภายนอกรูปทรงกลมครึ่งวงกลม สวยงาม เส้นขอบคมชัด ผิวด้านล่างเป็นสีน้ำตาลทองหรือ เหลืองเข้มอย่างสม่ำเสมอ ผิวด้านบนสีเขียวอ่อนเนียน มีความเงาเล็กน้อยจากกะทิ ไม่แตกหรือยุบตัว หนึ่ไม่แฉะ ไม่เยิ้ม เนื้อสัมผัสด้านล่าง กรอบ (แบ่งข้างล่างหรือขอบ) ด้านบนเนียนนุ่ม ละมุนลิ้น ไม่แข็งหรือละ ตรงกลางมีความยืดหยุ่น ไม่แห้งแตกหรือยุบแบน รสชาติหวาน มัน เค็ม กลมกล่อม พอดี มีกลิ่นหอมของผงใบหม่อนและกะทิ สอดคล้องกับวัฒนา วิริวุฒิก (2560) พบว่า การเสริม ใบหม่อนในผลิตภัณฑ์จะช่วยปรับปรุงรสชาติให้เป็นที่ต้องการสำหรับผู้บริโภคในยุคปัจจุบัน โดยเฉพาะผู้ที่ต้องการดูแลสุขภาพและแต่ยังชอบรับประทานขนมหวาน เพราะในใบหม่อนจะมีกลิ่น ที่เป็นเอกลักษณ์ มีคาเทชิน (catechin) เป็นสารประกอบฟีนอลิก (phenolic compound) ลดการ เกิดลิ้มเลือด ซึ่งทำให้เส้นเลือดอุดตัน ปรับความดันโลหิตให้อยู่ในเกณฑ์ปกติ เพิ่มการไหลเวียนของ โลหิตและของเหลวในร่างกาย ทำให้ปอด กระเพาะอาหาร กระเพาะปัสสาวะไตและลำไส้ทำงานได้ อย่างต่อเนื่อง ลดการปวดเมื่อยเป็นตะคริว

ผลความพึงพอใจต่อการจัดอบรมการถ่ายทอดผลิตภัณฑ์ขนมครกเสริมผงใบหม่อน สู่ชุมชนโดยใช้กระบวนการวิศวกรสังคม พบว่า ผู้เข้าร่วมโครงการมีความพึงพอใจเรื่องในภาพรวมอยู่ ในระดับมากและมากที่สุด สอดคล้องกับงานวิจัยของประมุข ศรีชัยวงษ์ และกรกมล ไวยราบุตร (2561) พบว่า การต่อยอดภูมิปัญญาและทรัพยากรท้องถิ่นมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ สะท้อนให้เห็น การเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่ดีขึ้นในชุมชน ได้แก่ พื้นฟูคุณค่าขององค์ความรู้ภูมิปัญญาท้องถิ่นและ การถ่ายทอดภูมิปัญญาชาวบ้าน ส่งเสริมและพัฒนาเศรษฐกิจฐานรากของชุมชน เพิ่มทางเลือกและ โอกาสในการสร้างรายได้ให้กับประชาชน สามารถพัฒนาเป็นอาชีพ ให้กับตนเองและชุมชนได้

ตลอดจนเกิดกระบวนการเรียนรู้ แลกเปลี่ยนระหว่างประชาชน นักวิชาการ และนักวิจัย เกิดความรู้ใหม่ที่สามารถนำมาใช้ได้ในชีวิตประจำวัน

สรุปผล

การประยุกต์ใช้กระบวนการวิศวกรสังคมในการพัฒนาขนมครกเสริมผงไบหม่อนร่วมกับวิสาหกิจชุมชนประสานมิตร พบว่า คนในชุมชนมีความคิดเห็นว่าการผลิตสินค้าตัวใหม่ชุมชนที่มีลักษณะที่แตกต่างจากสินค้าทั่วไปในตลาด ทำให้ผู้บริโภคเกิดความสนใจ สามารถสร้างอาชีพและสร้างรายได้ให้แก่คนในชุมชน สูตรต้นแบบของขนมครกได้จากกรมส่งเสริมการเกษตร (2560) ซึ่งได้คะแนนเฉลี่ยด้านความชอบโดยรวมที่ระดับขอบปานกลาง (7.32 ± 0.47) โดยผลการศึกษาปริมาณผงไบหม่อนที่เหมาะสมในขนมครก พบว่า ขนมครกเสริมผงไบหม่อนในอัตราส่วนร้อยละ 5 ได้รับคะแนนสูงกว่าขนมครกเสริมผงไบหม่อนในอัตราส่วนร้อยละ 10 และ 15 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยได้คะแนนเฉลี่ยด้านความชอบโดยรวมที่ระดับขอบปานกลาง (7.26 ± 0.44) ผลความพึงพอใจต่อการถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตขนมครกเสริมผงไบหม่อน พบว่า มีความพึงพอใจเฉลี่ยทุกด้านอยู่ในระดับมากที่สุด (4.61 ± 0.17)

ข้อเสนอแนะ

ควรมีการวิเคราะห์ต้นทุนในแต่ละกระบวนการผลิตเพื่อให้ชุมชนนำไปพิจารณาประกอบการตัดสินใจในการลงทุน

เอกสารอ้างอิง

- กรมส่งเสริมการเกษตร. (2560). การพัฒนาเศรษฐกิจชุมชน. ค้นเมื่อ 1 พฤษภาคม 2566, จาก http://file.siam2web.com/trdm/article/2013328_38208.pdf.
- ไกรรัช เทตมี. (2563). รายงานการวิจัยการพัฒนาผลิตภัณฑ์กล้วยกรอบเคลือบคาราเมล. กรุงเทพฯ: คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี.
- ประมุข ศรีชัยวงศ์ และกรกมล ไวยราบุตร. (2561). การพัฒนาต่อยอดภูมิปัญญาชาวบ้านจากย่านางเป็นผลิตภัณฑ์อาหารชุมชน. *Area Based Development Research Journal*, 10(2), 160–170.

- มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี. (2566). **แผนยุทธศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี 2566-2570**.
ค้นเมื่อ 1 ตุลาคม 2566, จาก https://plan.dru.ac.th/dataupload/Plan_35481449_2023-03-14.pdf.
- ลัดดา เจตะภัย. (2559). **ขนมไทยเมนูสำหรับค้าขาย**. กรุงเทพฯ: แสงแดด.
- วัฒนา วิรุฒิก. (2560). ผลของผงชาเขียวต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมหม้อแกงนมสดเสริมผงชาเขียว. **วารสารคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชชมงคลธัญบุรี**, 19(2), 164-173.
- สุนันทา ชาแสน. 2560. **ขนมไทย**. (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: แม่บ้าน.
- สุภาสพงษ์ ฐ์ทำนอง. (2566). การพัฒนาวิศวกรสังคมด้านการวิจัยเพื่อพัฒนาพื้นที่โดยใช้ภูมิสารสนเทศ ตำบลนาบ่อคำ อำเภอเมืองกำแพงเพชร จังหวัดกำแพงเพชร. **วารสารพิภูล คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร**, 21(2), 109-131.
- อัจฉราวรรณ สุขเกิด และวรุณี เขาวนัสสุขม. (2565). การพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อเพิ่มมูลค่าอาหารจากภูมิปัญญาและทุนวัฒนธรรมมอญ จังหวัดปทุมธานี. **วารสารวไลยอลงกรณ์ปริทัศน์**, 12(3), 128-141.
- Wen, P., Hu,T.G., Linhardt, R.J., Liao, S.T., Wu, H., & Zou, Y.X. (2019). Mulberry: A review of bioactive compounds and advanced processing technology. **Trends in Food Science & Technology**, 83(4), 138-158.

การประเมินคุณภาพธาตุอาหาร ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ของวัสดุปลูกพืชอินทรีย์ที่มีส่วนผสมของใบทุเรียน โดยใช้วิธีการอย่างง่าย

นภาพรณ หนิมพานิช^{1*} สุชาดา เทียนขาว² และพรชัย เหลืองวาริ³

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินคุณภาพธาตุอาหาร ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ของวัสดุปลูกพืชอินทรีย์ที่มีใบทุเรียนเป็นส่วนประกอบ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์อย่างง่ายที่สามารถประยุกต์ใช้ในระดับภาคสนาม การประเมินคุณภาพธาตุอาหารไนโตรเจนประเมินในรูปแอมโมเนียม ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) และไนเตรต ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) ธาตุฟอสฟอรัสประเมินในรูปฟอสเฟต (PO_4^{3-}) และธาตุโพแทสเซียมประเมินในรูปโพแทสเซียมไอออน (K^+) วัสดุปลูกพืชอินทรีย์ประกอบด้วยดินขุยมะพร้าว และกาบมะพร้าวสับ เป็นวัสดุหลักร่วมกับอินทรีย์วัตถุที่แตกต่างชนิดกัน ได้แก่ ใบทุเรียน มูลไส้เดือน และมูลไก่ รวมทั้งสิ้น 12 สูตร วัสดุปลูกทุกสูตรนำไปหมักเป็นระยะเวลา 60 วัน ก่อนสุ่มตัวอย่างเพื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหาร โดยใช้ชุดตรวจสอบดินภาคสนาม KU soil test kit ผลการวิจัยพบว่า วัสดุปลูกพืชอินทรีย์ทุกสูตรมีปริมาณแอมโมเนียมอยู่ในระดับต่ำ ในขณะที่สูตรที่มีมูลไก่เป็นองค์ประกอบให้คุณภาพของไนเตรตอยู่ในระดับปานกลาง สำหรับคุณภาพของฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม พบว่าสูตรที่ผสมมูลไก่และมูลไส้เดือนมีคุณภาพของธาตุอาหารทั้งสองชนิดอยู่ในระดับสูงในทุกอัตราส่วนผสม อย่างไรก็ตาม สูตรที่มีใบทุเรียนเพียงอย่างเดียวมีคุณภาพธาตุอาหารต่ำ นอกจากนี้ ยังพบว่าชนิดของอินทรีย์วัตถุมีผลต่อคุณภาพธาตุอาหารมากกว่าสัดส่วนการผสม อาจกล่าวโดยสรุปได้ว่าวัสดุปลูกพืชอินทรีย์ที่มีส่วนผสมของมูลไก่และมูลไส้เดือนมีคุณภาพทางเคมีเหมาะสมและมีศักยภาพในการนำไปประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเป็นวัสดุปลูกพืชในระบบเกษตรอินทรีย์ได้

คำสำคัญ: วัสดุปลูกอินทรีย์ ธาตุอาหารพืช การทำปุ๋ยหมัก วิธีการอย่างง่าย

^{1,2,3} คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

* ผู้ประสานงานหลัก e-mail: napapan.n@rbru.ac.th

วันที่รับบทความ 11 ธันวาคม 2568

วันที่แก้ไขบทความ 18 ธันวาคม 2568

วันที่ตอบรับบทความ 24 ธันวาคม 2568

Assessment of Nitrogen, Phosphorus, and Potassium Nutrient Quality of Organic Growing Media Containing Durian Leaves by Using Simple Methods

Napapan Nimpanich^{1*} Suchada Thainkhao² and Pornchai Luangvaree³

ABSTRACT

This study aimed to assess the quality of nitrogen, phosphorus, and potassium nutrients in organic growing media containing durian leaves using simple analytical methods applicable at the field level. Nitrogen quality was assessed in the forms of ammonium ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) and nitrate ($\text{NO}_3^-\text{-N}$), while phosphorus and potassium were assessed as phosphate (PO_4^{3-}) and potassium ions (K^+), respectively. The organic growing media consisted of soil, coconut coir, and chopped coconut husk as base materials, combined with different types of organic amendments, including durian leaves, vermicompost, and chicken manure, resulting in a total of 12 formulations. All formulations were composted for 60 days prior to random sampling for nutrient analysis using the KU soil test kit. The results showed that all organic growing media formulations contained low levels of ammonium, whereas formulations containing chicken manure exhibited moderate nitrate levels. For phosphorus and potassium, formulations incorporating chicken manure and vermicompost showed high nutrient quality across all mixing ratios. In contrast, formulations containing durian leaves as the sole organic amendment exhibited low nutrient quality. Additionally, the type of organic amendment had a greater impact on nutrient quality than the mixing ratio.

^{1,2,3} Faculty of Agricultural Technology, Rambhai Barni Rajabhat University

* Corresponding author e-mail: napapan.n@rbru.ac.th

Received: Dec 11, 2025

Revised: Dec 18, 2025

Accepted: Dec 24, 2025

In conclusion, organic growing media formulated with chicken manure and vermicompost exhibited suitable chemical properties. They demonstrated strong potential for application as a growing medium to enhance production efficiency in organic farming systems.

Keywords: organic growing media, plant nutrients, composting, simple methods

บทนำ

วัสดุปลูก (growing media) เป็นปัจจัยพื้นฐานที่มีบทบาทสำคัญยิ่งต่อความสำเร็จในระบบการผลิตพืชโดยเฉพาะในบริบทของเกษตรอินทรีย์และเกษตรแม่นยำ วัสดุปลูกที่ดีต้องมีคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพที่เหมาะสม อาทิ ความสามารถในการอุ้มน้ำ ความพรุน การระบายอากาศ และค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (cation exchange capacity; CEC) ที่เอื้อต่อการดูดซับและปลดปล่อยธาตุอาหาร ในปัจจุบันความต้องการวัสดุปลูกคุณภาพสูงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพื่อทดแทนการใช้ดินที่มีปัญหาความเสื่อมโทรมและโรคพืชสะสม (Lim et al., 2015) อย่างไรก็ตาม วัสดุปลูกทางการค้ามักมีราคาสูงจึงส่งผลกระทบต่อต้นทุนการผลิตของเกษตรกร

ประเทศไทยในฐานะประเทศเกษตรกรรมมีวัสดุเหลือใช้ในปริมาณมหาศาลที่ยังไม่ถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างเต็มประสิทธิภาพ อาทิ ขุยมะพร้าว กาบมะพร้าว ใบไม้แห้ง และมูลสัตว์ การนำวัสดุเหล่านี้มาหมุนเวียนใช้เป็นวัสดุปลูกพืชจึงเป็นการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรกลับใช้ใหม่สอดคล้องกับแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน ข้อจำกัดสำคัญของการนำวัสดุอินทรีย์มาใช้สด คือ ปัญหาความเป็นพิษจากกระบวนการย่อยสลาย (Bernal et al., 2009) ความร้อนที่เกิดขึ้น และการแย่งชิงไนโตรเจน N-immobilization ดังนั้น กระบวนการหมักปุ๋ย หรือ composting จึงเป็นขั้นตอนที่ช่วยปรับปรุงเสถียรภาพของวัสดุและลดความเป็นพิษก่อนนำไปใช้งาน ในขณะที่มูลสัตว์อย่างมูลไส้เดือนและมูลไก่ จัดเป็นอินทรีย์วัตถุคุณภาพสูงที่เป็นแหล่งของธาตุอาหารหลัก ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ นอกจากนี้ เศษพืชชนิดต่าง ๆ อย่างใบทุเรียนจะมีลิกนินในปริมาณที่สูง (Edwards & Bohlen, 1996) ถึงแม้จะย่อยสลายยากแต่มีส่วนช่วยในการปรับปรุงโครงสร้างทางกายภาพของดินปลูก เมื่อมีการผสมผสานวัสดุเหล่านี้ในอัตราส่วนที่เหมาะสมจากข้อมูลดังกล่าว เป็นประเด็นท้าทายในการวิจัย เพื่อให้ได้สูตรวัสดุปลูกที่มีความสมดุลทั้งทางโครงสร้างและธาตุอาหาร

อย่างไรก็ตาม การศึกษาเชิงเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวัสดุอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ในสัดส่วนที่แตกต่างกัน ภายใต้การประเมินแบบภาคสนามโดยเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน

ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ที่ได้จากชุดตรวจสอบภาคสนามกับวิธีวิเคราะห์มาตรฐาน พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของผลการวิเคราะห์อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้สำหรับการประเมินคุณภาพดิน และวัสดุปลูกในระดับการจัดการ โดยเฉพาะในระบบเกษตรอินทรีย์และการใช้วัสดุปลูกที่ผลิตจากวัสดุอินทรีย์ที่มีความแปรปรวนสูง (Mylavarapu et al., 2014) ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินคุณภาพธาตุอาหาร ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ของวัสดุปลูกพืชอินทรีย์ที่มีส่วนผสมของใบทุเรียนโดยใช้วิธีการวิเคราะห์อย่างง่ายที่สามารถประยุกต์ใช้ได้ในระดับภาคสนาม

วิธีดำเนินการวิจัย

1. สถานที่ทดลองและวิธีการทดลอง

การทดลองดำเนินการ ณ โรงเรือนทดลอง มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ตำบลท่าช้าง อำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี ระหว่างเดือนกรกฎาคม ถึง เดือนกันยายน 2568 วัสดุปลูกพืชอินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย ดิน ขุยมะพร้าว และกาบมะพร้าวสับเป็นวัสดุหลัก ร่วมกับอินทรีย์วัตถุที่แตกต่างกัน ได้แก่ ใบทุเรียน มูลไส้เดือน และมูลไก่ รวมทั้งสิ้นจำนวน 12 สูตร โดยกำหนดอัตราส่วนของวัสดุแต่ละชนิดตามที่แสดงในตารางที่ 1 เป็นอัตราส่วนโดยปริมาตร

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบและอัตราส่วนผสมของวัสดุปลูกทั้ง 12 สูตร

สูตร	ส่วนประกอบ	อัตราส่วนโดยปริมาตร
1	ใบทุเรียน	1
2	ดิน : ขุยมะพร้าว : กาบมะพร้าวสับ : ใบทุเรียน	1:1:1:0.5
3	ดิน : ขุยมะพร้าว : กาบมะพร้าวสับ : ปุ๋ยมูลไส้เดือน	1:1:1:0.5
4	ดิน : ขุยมะพร้าว : กาบมะพร้าวสับ : ปุ๋ยมูลไก่	1:1:1:0.5
5	ดิน : ขุยมะพร้าว : กาบมะพร้าวสับ : ใบทุเรียน : ปุ๋ยมูลไก่	1:1:1:0.5:0.5
6	ดิน : ขุยมะพร้าว : กาบมะพร้าวสับ : ใบทุเรียน : ปุ๋ยมูลไส้เดือน	1:1:1:0.5:0.5
7	ดิน : ขุยมะพร้าว : กาบมะพร้าวสับ	1:1:1
8	ดิน : ขุยมะพร้าว : กาบมะพร้าวสับ : ใบทุเรียน	1:1:1:0.25
9	ดิน : ขุยมะพร้าว : กาบมะพร้าวสับ : ปุ๋ยมูลไส้เดือน	1:1:1:0.25
10	ดิน : ขุยมะพร้าว : กาบมะพร้าวสับ : ปุ๋ยมูลไก่	1:1:1:0.25
11	ดิน : ขุยมะพร้าว : กาบมะพร้าวสับ : ใบทุเรียน : ปุ๋ยมูลไก่	1:1:1:0.25:0.25
12	ดิน : ขุยมะพร้าว : กาบมะพร้าวสับ : ใบทุเรียน : ปุ๋ยมูลไส้เดือน	1:1:1:0.25:0.25

วัสดุปลูกพีชอินทรีย์ทุกสูตรถูกนำไปหมักเป็นระยะเวลา 60 วัน เพื่อให้เกิดกระบวนการย่อยสลายและปรับสภาพอินทรีย์วัตถุให้เหมาะสม หลังจากสิ้นสุดระยะเวลาการหมัก ทำการสุ่มตัวอย่างวัสดุปลูกพีชอินทรีย์จากทุกสูตรนำมาวิเคราะห์หาคุณภาพธาตุอาหารหลัก ประกอบด้วย ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม

การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารแต่ละชนิดดำเนินการโดยใช้ชุดตรวจสอบธาตุอาหารหลักในดิน (N-P-K) แบบภาคสนาม (KU soil test kit) ซึ่งเป็นวิธีการวิเคราะห์อย่างง่ายและเหมาะสมสำหรับการประเมินคุณภาพดินและวัสดุปลูกในระดับภาคสนาม เนื่องจากสามารถให้ผลการวิเคราะห์ได้อย่างสะดวกรวดเร็ว ให้ผลในระดับเบื้องต้นน่าเชื่อถือ ใช้งานง่าย และมีต้นทุนต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับ การวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการมาตรฐาน

2. การหมักวัสดุปลูกพีชอินทรีย์

การเตรียมกองปุ๋ยหมักดำเนินการโดยนำวัสดุปลูกพีชอินทรีย์ตามสูตรที่กำหนดในตารางที่ 1 มาคลุกเคล้าให้เข้ากันอย่างสม่ำเสมอ จากนั้นเตรียมน้ำผสมสารเร่งจุลินทรีย์ พด.1 ซึ่งเป็นสารเร่งการย่อยสลายที่พัฒนาโดยกรมพัฒนาที่ดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553) โดยละลายสารเร่งจุลินทรีย์จำนวน 1 ชอง ในน้ำสะอาดปริมาตร 20 ลิตร และพักทิ้งไว้เป็นเวลา 20 นาที เพื่อกระตุ้นและฟื้นฟูกิจกรรมของจุลินทรีย์ก่อนนำไปใช้รดบนกองวัสดุปลูก การใช้สารเร่งจุลินทรีย์ดังกล่าวช่วยเพิ่มจำนวนและกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ โดยเฉพาะกลุ่มที่สามารถย่อยสลายเซลลูโลสและลิกนินส่งผลให้กระบวนการหมักเกิดขึ้นได้รวดเร็วขึ้น

ในระหว่างกระบวนการหมักมีการควบคุมความชื้นของกองปุ๋ยหมักให้อยู่ในช่วงประมาณ ร้อยละ 50-60 ซึ่งเป็นระดับความชื้นที่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจน โดยหากความชื้นต่ำเกินไปจะทำให้กิจกรรมของจุลินทรีย์ลดลง ขณะที่ความชื้นสูงเกินไปจะทำให้ช่องว่างอากาศภายในกองปุ๋ยหมักลดลงและอาจก่อให้เกิดสภาวะไม่ใช้ออกซิเจน อาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพของปุ๋ยหมัก ระหว่างกระบวนการหมักทั้ง 60 วัน มีการกลับกองปุ๋ยหมักทุก ๆ 7 วัน เพื่อเติมอากาศให้แก่กองปุ๋ยหมักอย่างสม่ำเสมอ การกลับกองช่วยเพิ่มปริมาณออกซิเจน ลดการสะสมของก๊าซที่ไม่พึงประสงค์ และช่วยให้ความร้อนและความชื้นกระจายตัวอย่างทั่วถึง ส่งผลให้กระบวนการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ จนกระทั่งกระบวนการหมักดำเนินการครบระยะเวลา 60 วัน

3. การเก็บตัวอย่างและการประเมินคุณภาพของธาตุ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม

ภายหลังจากสิ้นสุดกระบวนการหมักวัสดุปลูกเป็นระยะเวลา 60 วัน ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างวัสดุปลูกโดยสุ่มเก็บจากตำแหน่งต่าง ๆ ของกองหมัก ได้แก่ บริเวณส่วนบน ส่วนกลาง และส่วนล่าง เพื่อให้ได้ตัวอย่างที่เป็นตัวแทนของกองวัสดุปลูกอย่างเหมาะสม จากนั้นนำตัวอย่างย่อยมาผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน ก่อนนำไปวิเคราะห์ประเมินคุณภาพ ประกอบด้วย

3.1 คุณภาพธาตุไนโตรเจนประเมินในรูปแอมโมเนียม ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) และไนเตรต ($\text{NO}_3^-\text{-N}$)

3.2 คุณภาพธาตุฟอสฟอรัสประเมินในรูปฟอสเฟต (PO_4^{3-})

3.3 คุณภาพธาตุโพแทสเซียมประเมินในรูปโพแทสเซียมไอออน (K^+)

การวิเคราะห์ดำเนินการโดยใช้ชุดตรวจสอบธาตุอาหารหลักในดิน (N-P-K) แบบภาคสนาม (KU soil test kit) พัฒนาจากภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2565) โดยทำการเตรียมตัวอย่างดินที่สุ่มเก็บตามขั้นตอนข้างต้น จากนั้นใช้ช้อนตวงตักดินที่ต้องการตรวจของตัวอย่างแต่ละสูตรประมาณ 1 ช้อนชา แล้วใส่ลงในขวดพลาสติก เติมน้ำยาสกัดเบอร์ 1 ลงในขวดที่ใส่ดินแล้ว ประมาณ 20 มิลลิลิตร ปิดฝาขวดให้แน่นแล้วเขย่า ให้ดินทำปฏิกิริยากับน้ำยาประมาณ 5 นาที เมื่อครบเวลานำสารละลายดินไปกรองด้วยกระดาษกรองที่เตรียมไว้จนได้น้ำสารละลายใส จากนั้นนำน้ำสารละลายที่ได้ไปทดสอบตามขั้นตอนสำหรับธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม แต่ละธาตุจะมีน้ำยาเฉพาะและขั้นตอนแตกต่างกันไปตามคู่มือหยดน้ำยาเคมีที่ตรงกับธาตุที่จะทดสอบลงบนสารละลายที่กรองได้สังเกตการเปลี่ยนแปลงของสีที่เกิดขึ้น นำสีที่ได้ไปเปรียบเทียบกับแผ่นเทียบสีมาตรฐาน (standard color chart) ที่มาพร้อมกับชุดทดสอบแล้วอ่านค่าคุณภาพธาตุอาหารของดินตามธาตุต่างในหน่วย มิลลิกรัม/กิโลกรัม (mg/kg) หรือประเมินระดับ ต่ำ ปานกลาง และสูง ตามค่าในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าเชิงคุณภาพของธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียม ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) และไนเตรต ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) ฟอสฟอรัสในรูปฟอสเฟต (PO_4^{3-}) และโพแทสเซียมในรูป โพแทสเซียมไอออน (K^+) ที่ประเมินจากค่าที่อ่านได้จากชุดตรวจสอบธาตุอาหารหลักในดิน (N-P-K) แบบภาคสนาม (KU soil test kit) ซึ่งจำแนกระดับคุณภาพเป็น สูง ปานกลาง และต่ำ

ค่าวิเคราะห์คุณภาพ	ปริมาณความเข้มข้นในดิน			
	($\text{NH}_4^+\text{-N}$)	($\text{NO}_3^-\text{-N}$)	(PO_4^{3-})	(K^+)
สูง	80-100	80-100	30-60	160-400
ปานกลาง	40-60	40-60	18-24	100-120
ต่ำ	0-20	0-20	0-12	0-60

ที่มา: ภาควิชาปฐพีวิทยา (2565)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากการวิเคราะห์เพื่อประเมินคุณภาพธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมของ
วัสดุปลูกอินทรีย์ทั้ง 12 สูตร ภายหลังกระบวนการหมักสมบูรณ์ระยะเวลา 60 วัน แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าเชิงคุณภาพของธาตุอาหารหลักในดิน ได้แก่ ไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียม ($\text{NH}_4^+\text{-N}$)
และไนเตรต ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) ฟอสฟอรัสในรูปฟอสเฟต (PO_4^{3-}) และโพแทสเซียม
ในรูปโพแทสเซียมไอออน (K^+) ที่ประเมินจากค่าที่อ่านได้จากชุดตรวจสอบธาตุอาหาร
หลักในดิน (N-P-K) แบบภาคสนาม (KU soil test kit) แปลผลเป็นระดับคุณภาพ
เป็น สูง ปานกลาง และต่ำ ของคุณภาพธาตุอาหารของวัสดุปลูกสูตรต่าง ๆ ทั้ง 12 สูตร
ที่หมักจนครบ 60 วัน

สูตร วัสดุ ปลูก	ส่วนประกอบ อัตราส่วนโดยปริมาตร	ค่าเชิงคุณภาพของธาตุอาหารหลักในดิน			
		($\text{NH}_4^+\text{-N}$)	($\text{NO}_3^-\text{-N}$)	(PO_4^{3-})	(K^+)
1	ใบทุเรียน (1)	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ
2	ดิน:ขุยมะพร้าว:กาบมะพร้าวสับ:ใบทุเรียน (1:1:1:0.5)	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ
3	ดิน:ขุยมะพร้าว:กาบมะพร้าวสับ:ปุ๋ยมูลไส้เดือน (1:1:1:0.5)	ต่ำ	ต่ำ	สูง	สูง
4	ดิน:ขุยมะพร้าว:กาบมะพร้าวสับ:ปุ๋ยมูลไก่ (1:1:1:0.5)	ต่ำ	ปานกลาง	สูง	สูง
5	ดิน:ขุยมะพร้าว:กาบมะพร้าวสับ:ใบทุเรียน:ปุ๋ยมูลไก่ (1:1:1:0.5:0.5)	ต่ำ	ปานกลาง	สูง	สูง
6	ดิน:ขุยมะพร้าว:กาบมะพร้าวสับ:ใบทุเรียน:ปุ๋ยมูลไส้เดือน (1:1:1:0.5:0.5)	ต่ำ	ต่ำ	ปานกลาง	สูง
7	ดิน:ขุยมะพร้าว:กาบมะพร้าวสับ (1:1:1)	ต่ำ	ต่ำ	สูง	ต่ำ
8	ดิน:ขุยมะพร้าว:กาบมะพร้าวสับ:ใบทุเรียน (1:1:1:0.25)	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ

สูตร วัสดุ ปลูก	ส่วนประกอบ อัตราส่วนโดยปริมาตร	ค่าเชิงคุณภาพของธาตุอาหารหลักในดิน			
		(NH ₄ ⁺ -N)	(NO ₃ ⁻ -N)	(PO ₄ ³⁻)	(K ⁺)
9	ดิน:ขุยมะพร้าว:กากมะพร้าวสับ:ปุ๋ยมูลไส้เดือน (1:1:1:0.25)	ต่ำ	ต่ำ	สูง	สูง
10	ดิน:ขุยมะพร้าว:กากมะพร้าวสับ:ปุ๋ยมูลไก่ (1:1:1:0.25)	ต่ำ	ปานกลาง	สูง	สูง
11	ดิน:ขุยมะพร้าว:กากมะพร้าวสับ:ใบทุเรียน:ปุ๋ยมูลไก่ (1:1:1:0.25:0.25)	ต่ำ	ปานกลาง	สูง	สูง
12	ดิน:ขุยมะพร้าว:กากมะพร้าวสับ:ใบทุเรียน:ปุ๋ยมูลไส้เดือน (1:1:1:0.25:0.25)	ต่ำ	ต่ำ	สูง	ต่ำ

พบว่า ปริมาณไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียม (NH₄⁺-N) ในวัสดุปลูกทุกสูตรมีค่าอยู่ในระดับต่ำเป็นดัชนีชี้วัดสำคัญที่แสดงถึงเสถียรภาพของปุ๋ยหมัก เมื่อกระบวนการหมักแบบใช้อากาศ (aerobic composting) ดำเนินไปอย่างสมบูรณ์ เอื้อให้จุลินทรีย์กลุ่ม nitrifying bacteria สามารถเปลี่ยนรูปแอมโมเนียมที่เป็นพิษต่อพืชให้กลายเป็นไนเตรต (nitrification) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับ Bernal et al. (2009) และ Zhang et al. (2012) ที่รายงานว่าเมื่อผ่านระยะเวลาการหมัก 45-60 วัน ปริมาณแอมโมเนียมจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญจนอยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อระบบรากพืช

สำหรับปริมาณไนโตรเจนในรูปไนเตรต (NO₃⁻-N) พบความแตกต่างอย่างชัดเจนระหว่างชนิดของมูลสัตว์ โดยสูตรที่มีมูลไก่เป็นองค์ประกอบในสูตรที่ 4 สูตรที่ 5 สูตรที่ 10 และสูตรที่ 11 ให้ค่าไนเตรตอยู่ในระดับปานกลาง สูงกว่าสูตรที่ใช้มูลไส้เดือนหรือวัสดุจากใบทุเรียนเพียงอย่างเดียว ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับ Eghball (2000) เนื่องจากมูลไก่มีองค์ประกอบของกรดยูริกและสารประกอบไนโตรเจนที่เกิด mineralization ได้รวดเร็ว จึงปลดปล่อยไนเตรตได้ดีกว่า ในขณะที่ Lim et al. (2015) อธิบายว่า มูลไส้เดือนแม้จะมีธาตุอาหารสูง แต่ไนโตรเจนส่วนใหญ่อยู่ในรูปที่มีเสถียรภาพสูง (stabilized forms) ทำให้การปลดปล่อยออกมาในรูปไนเตรตเกิดขึ้นช้ากว่าเมื่อเทียบกับมูลไก่ในช่วงเวลาเดียวกัน

ผลการวิเคราะห์คุณภาพฟอสเฟต (PO₄³⁻) พบว่า การเติมมูลสัตว์ช่วยเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ได้ โดยสูตรที่มีส่วนผสมของมูลไก่อย่างสูตรที่ 4 สูตรที่ 5 สูตรที่ 10 และสูตรที่ 11 มีส่วนผสมของมูลไส้เดือนในสูตรที่ 3 สูตรที่ 9 ให้ค่าฟอสเฟตในระดับสูง ในทั้งสองอัตราส่วนผสม ยกเว้นสูตรที่ 6 มูลไส้เดือนร่วมกับใบทุเรียน อัตรา 1:0.5 ที่แสดงค่าฟอสเฟตในระดับปานกลาง อาจเป็นผลจากการเกิดการตรึงธาตุอาหารของวัสดุเศษพืช ในทางตรงกันข้ามสูตรควบคุมสูตรที่ 1

และสูตรที่ผสมเฉพาะใบทุเรียนร่วมกับวัสดุหลักในสูตรที่ 2 และสูตรที่ 8 กลับพบปริมาณฟอสเฟตในระดับต่ำ แม้ว่าใบทุเรียนล้วนในสูตรที่ 7 จะแสดงค่าฟอสเฟตในระดับสูง ตารางที่ 3 แต่เมื่อนำมาผสมในวัสดุปลูกโดยไม่มีมูลสัตว์กลับไม่สามารถรักษาระดับฟอสฟอรัสที่เพียงพอได้ ข้อมูลดังกล่าวนี้ยืนยันแนวคิดของ Sharpley & Moyer (2000) ที่กล่าวว่ามูลสัตว์เป็นแหล่งสำคัญของฟอสฟอรัสอินทรีย์ และอินทรีย์ที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันที

ในขณะที่ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable potassium) ชนิดของอินทรีย์วัตถุส่งผลโดยตรงต่อปริมาณโพแทสเซียม (K^+) โดยสูตรที่มีส่วนผสมของมูลไก่และมูลไส้เดือนในสูตรที่ 3 สูตรที่ 4 สูตรที่ 5 สูตรที่ 6 สูตรที่ 9 สูตรที่ 10 และสูตรที่ 11 ให้ค่าคุณภาพของโพแทสเซียมในระดับสูง อย่างสม่ำเสมอ สอดคล้องกับ Atiyeh et al. (2000) ที่รายงานว่าผลของกระบวนการย่อยสลายในลำไส้เดือน และการหมักมูลสัตว์ช่วยแปลงสภาพโพแทสเซียมให้อยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ดี ขณะที่กลุ่มวัสดุปลูกที่ไม่มีการผสมมูลสัตว์อย่างสูตรที่ใบทุเรียนล้วนในสูตรที่ 7 สูตรควบคุมสูตรที่ 1 และสูตรผสมใบทุเรียนในสูตรที่ 2 และสูตรที่ 8 ให้ค่าประเมินคุณภาพโพแทสเซียมในระดับต่ำ อย่างไรก็ตาม ระยะเวลาการหมักที่ใช้ในการศึกษานี้กำหนดอยู่ที่ 60 วัน อาจยังไม่สะท้อนศักยภาพการปลดปล่อยโพแทสเซียมในระยะยาวของวัสดุพืชที่มีลักษณะสูงอย่างใบทุเรียน จึงอาจต้องการระยะเวลาการย่อยสลายนานกว่านี้

นอกจากนี้ อิทธิพลของอัตราส่วนผสม เมื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ระหว่างอัตราส่วน 1:0.5 และ 1:0.25 พบว่าแนวโน้มของระดับธาตุอาหารไม่มีความแตกต่างกัน กล่าวคือ สูตรที่มีมูลไก่ยังคงให้ค่าไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูงสุด และสูตรที่มีมูลสัตว์ยังคงให้ค่าโพแทสเซียมสูง ไม่ว่าจะใช้อัตราส่วนผสมเท่าใด สิ่งนี้ชี้ให้เห็นว่า ชนิดของวัตถุดิบมีอิทธิพลต่อคุณภาพทางเคมีของวัสดุปลูกมากกว่าปริมาณสัดส่วนที่ใช้ในช่วงที่ทำการศึกษา ดังนั้น การใช้อัตราส่วน 1:0.25 ใช้วัสดุอินทรีย์น้อยกว่า จึงเป็นทางเลือกที่ช่วยลดต้นทุนการผลิตได้โดยยังคงรักษาคุณภาพธาตุอาหารไว้ได้ในระดับที่น่าพึงพอใจ

สรุปผล

ผลการประเมินคุณภาพธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ของวัสดุปลูกพืชอินทรีย์ที่มีส่วนผสมของใบทุเรียนโดยใช้วิธีการอย่างง่าย พบว่าวัสดุปลูกพืชอินทรีย์ทุกสูตรมีปริมาณไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียม (NH_4^+-N) อยู่ในระดับต่ำ วัสดุปลูกพืชอินทรีย์สูตรที่มีการผสมมูลไก่และมูลไส้เดือนให้คุณภาพธาตุอาหารหลักทั้งสามชนิดในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชสูงที่สุด โดยเฉพาะไนโตรเจนในรูปไนเตรต (NO_3^--N) ฟอสฟอรัสในรูปฟอสเฟต (PO_4^{3-}) และโพแทสเซียมในรูปโพแทสเซียมไอออน (K^+) ทั้งนี้ มูลไก่แสดงศักยภาพในการปลดปล่อยธาตุอาหารดังกล่าวได้เด่นชัดกว่า

มูลไส้เดือน ซึ่งอาจเนื่องมาจากปริมาณธาตุอาหารเริ่มต้นและอัตราการย่อยสลายที่แตกต่างกันของวัสดุอินทรีย์แต่ละชนิด ในทางตรงกันข้าม วัสดุปลูกสูตรที่ใช้ใบทุเรียนเป็นวัสดุอินทรีย์หลักเพียงอย่างเดียว หรือใช้ร่วมกับวัสดุปลูกชนิดอื่นโดยไม่มีการผสมมูลสัตว์ พบว่า มีปริมาณธาตุอาหารหลักอยู่ในระดับต่ำกว่าอย่างชัดเจน เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่มีการใช้มูลสัตว์เป็นองค์ประกอบหลัก แสดงให้เห็นว่า ใบทุเรียนเพียงอย่างเดียวมีข้อจำกัดด้านการให้ธาตุอาหารในระยะสั้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ที่ให้โอกาสและอำนวยความสะดวกในการดำเนินงานวิจัย รวมทั้งให้การสนับสนุนด้านสถานที่ เครื่องมือ และวัสดุอุปกรณ์ตลอดระยะเวลาการศึกษา

เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาที่ดิน. (2553). **คู่มือการปฏิบัติงานกระบวนการวิเคราะห์ตรวจสอบดินและน้ำเพื่อการเกษตร**. สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (2565). **คู่มือการใช้ชุดตรวจสอบธาตุอาหารหลักในดิน (N-P-K) แบบภาคสนาม (KU Soil Test Kit)**. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Atiyeh, R. M., Subler, S., Edwards, C. A., Bachman, G., Metzger, J. D., & Shuster, W. (2000). Effects of vermicomposts and composts on plant growth in horticultural container media. *Pedobiologia*, 44(5), 579–590. from [https://doi.org/10.1078/S0031-4056\(04\)70073-6](https://doi.org/10.1078/S0031-4056(04)70073-6)
- Bernal, M. P., Alburquerque, J. A., & Moral, R. (2009). Composting animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment: A review. *Bioresource Technology*, 100(22), 5444–5453. from <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.11.027>
- Edwards, C. A., & Bohlen, P. J. (1996). *Biology and Ecology of Earthworms*. (3rd ed.), Chapman & Hall.

- Eghball, B. (2000). Nitrogen mineralization from field-applied beef cattle feedlot manure. **Soil Science Society of America Journal**, 64(6), 2024–2030. from <https://doi.org/10.2136/sssaj2000.6462024x>
- Lim, S. L., Wu, T. Y., Lim, P. N., & Shak, K. P. Y. (2015). The use of vermicompost in organic farming: Overview, effects on soil and economics. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 95(6), 1143–1156. from <https://doi.org/10.1002/jsfa.6849>
- Mylavarapu, R. S., Sanchez, J. F., & Nguyen, J. H. (2014). Evaluation of rapid soil testing methods for nutrient management decisions. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 45, 193–204.
- Sharpley, A. N., & Moyer, B. (2000). Phosphorus forms in manure and compost and their release during simulated rainfall. **Journal of Environmental Quality**, 29(5), 1462–1469. from <https://doi.org/10.2134/jeq2000.00472425002900050023x>
- Zhang, L., Sun, X., Tian, Y., & Gong, X. (2012). Effects of brown sugar and calcium superphosphate on the secondary fermentation of green waste. **Bioresource Technology**, 118, 355–363. from <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.04.090>

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวเก็บประจุยิ่งยวด จากการชาร์จด้วยแรงดันไฟฟ้าหลายรูปแบบ

วัชรไกร สนนุช^{1*}

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบคุณลักษณะการเก็บและคายพลังงานของซูเปอร์คาปาซิเตอร์ และหาประสิทธิภาพของซูเปอร์คาปาซิเตอร์ จากการชาร์จด้วยแรงดันไฟฟ้าหลายรูปแบบ ซึ่งจะช่วยให้เข้าใจปัญหาในการชาร์จประจุของตัวเก็บประจุยิ่งยวดให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด วิธีการทดลองโดยการชาร์จตัวเก็บประจุยิ่งยวดขนาด 200 F 2.5 V จะใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณ (function generator) ป้อนสัญญาณให้กับวงจรที่มีความถี่เท่ากับ 1 kHz และเมื่อต้องการปล่อยประจุของตัวเก็บประจุยิ่งยวดจะปล่อยประจุให้กับความต้านทานขนาด 1 โอห์ม 5 วัตต์ และการหาประสิทธิภาพของตัวเก็บประจุยิ่งยวดจากการเก็บประจุและคายประจุ ผลการทดลองการชาร์จจากการป้อนสัญญาณแรงดันไฟฟ้า จากการชาร์จด้วยแหล่งกำเนิดแรงดันรูปคลื่นสามเหลี่ยม รูปคลื่นฟันเลื่อย รูปคลื่นสี่เหลี่ยม และรูปคลื่นไซน์ เวลาที่ใช้ในการชาร์จ 9,455 วินาที แรงดันไฟฟ้าตัวเก็บประจุยิ่งยวด (V_{SC}) ที่ป้อนด้วยแต่ละรูปคลื่นสัญญาณ คือ 0.924678 V 1.282828 V 1.057508 V และ 0.041566 V ตามลำดับ ผลการทดลองการปล่อยประจุ (discharging) ให้กับโหลดความต้านทานขนาด 1 โอห์ม 5 วัตต์ เวลาที่ใช้ในการปล่อยประจุ 30 วินาที แรงดันไฟฟ้าตัวเก็บประจุยิ่งยวด (V_{SC}) ที่จ่ายให้กับความต้านทานที่เริ่มคายประจุ คือ 0.062287 V 0.083918 V 0.051667 V และ 0.069476 V ตามลำดับ ประสิทธิภาพตัวเก็บประจุยิ่งยวดสูงสุดคือการป้อนด้วยสัญญาณสามเหลี่ยม คิดเป็นร้อยละ 98.45 และประสิทธิภาพต่ำสุดคือการป้อนด้วยสัญญาณสี่เหลี่ยม คิดเป็นร้อยละ 94.17

คำสำคัญ: ประสิทธิภาพ ตัวเก็บประจุยิ่งยวด แรงดันไฟฟ้าหลายรูปแบบ

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

* ผู้ประสานงานหลัก e-mail: watcharakaisonnut@gmail.com

วันที่รับบทความ 17 กรกฎาคม 2568

วันที่แก้ไขบทความ 23 ธันวาคม 2568

วันที่ตอบรับบทความ 25 ธันวาคม 2568

Comparison of Supercapacitor Performance with Various Charging Voltages

Watcharakai Sonnut^{1*}

ABSTRACT

This project aimed to compare the energy storage and discharge characteristics of supercapacitors and find the efficiency of supercapacitors by charging with various voltages. This would help to solve the problem of charging supercapacitors to achieve maximum efficiency. The experimental method was to charge a 200 F 2.5 V supercapacitor using a function generator to feed a signal to the circuit at the same frequency of 1 kHz. When the supercapacitor needed to be discharged, it would be charged to a 1 ohm 5 Watt resistance and find the efficiency of the supercapacitor from charging and discharging. The experimental results of charging by feeding a voltage signal from charging with a triangle wave, sawtooth wave, square wave and sine wave voltage source showed that the charging time was 9,455 seconds. The supercapacitor voltages (V_{SC}) fed by each waveform were 0.924678 V, 1.282828 V, 1.057508 V and 0.041566 V respectively. The results of the discharge experiment (discharging) to a 1 ohm 5 Watt resistance load, the discharge time was 30 seconds. The supercapacitor voltage (V_{SC}) supplied to the resistance that starts to discharge are 0.062287 V, 0.083918 V, 0.051667 V and 0.069476 V respectively. A supercapacitor's highest efficiency was 98.45% when fed with a triangle signal, while its lowest efficiency was 94.17% when fed with a square signal.

Keywords: performance, supercapacitors, various charging voltages

¹ Electrical Technology Program, Faculty of Science and Technology, Dhonburi Rajabhat University

* Corresponding author e-mail: watcharakaisonnut@gmail.com

Received: Jul 17, 2025

Revised: Dec 23, 2025

Accepted: Dec 25, 2025

บทนำ

ปัจจุบันการเติบโตทางเทคโนโลยีที่รวดเร็วแบบก้าวกระโดดทำให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดใหม่ ๆ จำเป็นต้องใช้พลังงานที่สูงขึ้นในการประมวลผล นอกจากนี้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบพกพาจำเป็นต้องอาศัยอุปกรณ์สำรองไฟฟ้าที่สามารถเก็บประจุไฟฟ้าในปริมาณที่สูงขึ้นเพื่อยืดอายุการใช้งาน ทำให้ตัวเก็บประจุไฟฟ้าทั่วไปมีประสิทธิภาพไม่เพียงพอสำหรับการใช้งาน ปัจจุบันแบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีส่วนสำคัญเป็นอย่างยิ่งในชีวิตประจำวัน แบตเตอรี่เข้ามามีบทบาทในการใช้ชีวิตของเราโดยไม่รู้ตัวจะเห็นได้ว่า แบตเตอรี่ถูกนำมาใช้ในอุปกรณ์ต่าง ๆ มากมาย อาทิเช่น แบตเตอรี่ไฟฉาย แบตเตอรี่ในรีโมทคอนโทรล แบตเตอรี่ของโทรศัพท์มือถือ แบตเตอรี่ของคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก แบตเตอรี่ในรถยนต์ และแบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น ซึ่งแบตเตอรี่ยังถูกนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานกับอุปกรณ์อื่น ๆ อีกมากมาย โดยแบตเตอรี่มีความสำคัญอย่างยิ่งในระบบการผลิตพลังงานจากแสงอาทิตย์เพราะไม่ว่าจะเป็นระบบเซลล์แสงอาทิตย์ใดก็ตาม หากต้องการจัดเก็บพลังงานที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไว้ใช้ต่อไป จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีอุปกรณ์ทำหน้าที่เก็บพลังงานที่ได้ไว้ แบตเตอรี่จึงเป็นส่วนหนึ่งของระบบการผลิตพลังงานจากแสงอาทิตย์ แบตเตอรี่เป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าของรถยนต์โดยมีหน้าที่ในการป้อนกระแสไฟฟ้าให้อุปกรณ์ต่าง ๆ ของเครื่องยนต์เพื่อให้ทำงานได้ เช่น มอเตอร์สตาร์ท ระบบจุดระเบิด ในขณะที่สตาร์ทรถยนต์ นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ป้อนพลังงานให้กับอุปกรณ์อำนวยความสะดวกหลาย ๆ อย่างด้วย เช่น ระบบไฟส่องสว่างวิทยุ เป็นต้น แบตเตอรี่ยังเป็นส่วนหนึ่งในการพัฒนารถยนต์ประหยัดพลังงานหรือรถไฟฟ้าระบบไฮบริด (Cao & Emadi, 2012)

การใช้แบตเตอรี่นั้นมีข้อจำกัดมากมายเพราะแบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่จัดเก็บพลังงานเพื่อไว้ใช้ต่อไป ถือเป็นอุปกรณ์ที่สามารถแปลงพลังงานเคมีให้เป็นไฟฟ้าได้โดยตรง แต่แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์สำหรับจัดเก็บพลังงานไฟฟ้าเท่านั้น ไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าเองได้ เมื่อหมดจะต้องทำการประจุพลังงานไฟฟ้าเข้าไปใหม่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการประจุพลังงานไฟฟ้านี้จะต้องใช้เวลาในการประจุที่นานในการประจุแต่ละครั้งโดยผลที่ได้รับจากการประจุนั้นจะไม่เต็มประสิทธิภาพ 100% จะอยู่ที่ประมาณ 80% โดยวิธีการประจุหรือชาร์จแบบช้า ยังมีวิธีการประจุหรือชาร์จแบบเร็วด้วยโดยที่การประจุแบบเร็วนี้ประสิทธิภาพที่ได้จะไม่ถึง 80% และทำให้อายุในการใช้งานสั้นลงด้วย ซึ่งเกิดจากการสูญเสียพลังงานบางส่วนไปในรูปความร้อน และปฏิกิริยาเคมีจากการประจุและคายประจุของแบตเตอรี่ ซึ่งเกิดจากการที่ใช้เวลาในการประจุและคายประจุในระยะเวลาที่นานเกินไปจนทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานขึ้น และยังต้องทิ้งไว้ประมาณ 5-10 ชั่วโมง โดยเฉพาะในการเปลี่ยนแบตเตอรี่ลูกใหม่ ทั้งนี้ก็เพื่อยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ และสำหรับแบตเตอรี่ทั่วไปที่ใช้ในการติดเครื่องยนต์ถูกออกแบบให้จ่ายพลังงานสูงในช่วงเวลาสั้น ๆ ถ้าใช้ไฟฟ้า

มากกว่า 20-30% ของพลังงานที่เก็บอยู่ จะทำให้อายุการใช้งานสั้นลงได้ เมื่อต้องทำการประจุพลังงาน ไฟฟ้าก็จะเป็นการเสียเวลาอย่างมากแทนประสิทธิภาพที่ได้มานั้นก็จะด้อยลงไปตามจำนวนครั้งที่ทำการประจุพลังงานใหม่แบตเตอรี่ที่ถูกเก็บไว้เป็นเวลานาน ก่อนที่จะนำไปใช้นั้นระดับของพลังงานที่ได้นั้น เมื่อนำมาใช้จะไม่เต็มประสิทธิภาพไม่เท่าเดิม เนื่องจากเกิดการคายประจุพลังงานในระดับอุณหภูมิต่าง ๆ ซึ่งทำให้เกิดข้อจำกัดในการเก็บรักษาพลังงานในแบตเตอรี่ และในการเลือกใช้แบตเตอรี่ (Schroeder, Wittig & Fuchs, 2010) ให้ตรงตามระดับแรงดันหรือระดับกระแสที่ต้องการ ถ้าต้องการระดับแรงดันที่สูงขึ้นหรือระดับกระแสที่มากขึ้นจำเป็นต้องใช้แบตเตอรี่จำนวนมากกว่าหนึ่งลูก หรือแบตเตอรี่มีออกแบบมาเฉพาะทางซึ่งมีราคาสูงทำให้เกิดข้อจำกัดในการใช้แรงดันและระดับกระแสด้วย แบตเตอรี่ยังจัดเป็นอุปกรณ์ที่มีราคาแพง และเสียหายได้ง่าย หากดูแลรักษาไม่ดีเพียงพอหรือใช้งานผิดวิธี รวมถึงอายุการใช้งานของแบตเตอรี่แต่ละชนิดก็จะแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับวิธีการใช้ การบำรุงรักษา การประจุพลังงาน การคายประจุ และอุณหภูมิ (Jayalakshmi & Balasubramanian, 2008)

ซูเปอร์คาปาซิเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่สามารถนำมาใช้ร่วมกับแบตเตอรี่ในการประจุพลังงาน ไฟฟ้าด้วยสมบัติของซูเปอร์คาปาซิเตอร์ที่สามารถประจุและคายประจุได้อย่างรวดเร็วนี้ จะนำมาใช้รวมกับการประจุพลังงานให้กับแบตเตอรี่ เพื่อลดระยะเวลาในการประจุพลังงานไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ และจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเก็บพลังงานของแบตเตอรี่ด้วย เนื่องจากใช้ระยะเวลาในการประจุพลังงานที่สั้น (Bodnar & Redman-White, 2011) ทำให้การเกิดความร้อนซึ่งนำไปสู่การสูญเสียพลังงานน้อยลง และยังช่วยยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่อีกด้วย งานวิจัยนี้ทำการศึกษาพฤติกรรม การประจุและการคายประจุของซูเปอร์คาปาซิเตอร์ โดยทำการศึกษาและเก็บข้อมูลการประจุ และการคายของซูเปอร์คาปาซิเตอร์ เพื่อนำไปสู่การพัฒนาระบบประจุแบตเตอรี่และนำไปสู่ระบบประจุแบตเตอรี่แบบผสมผสานต้นแบบสำหรับแหล่งจ่ายกระแสชั่วคราวต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

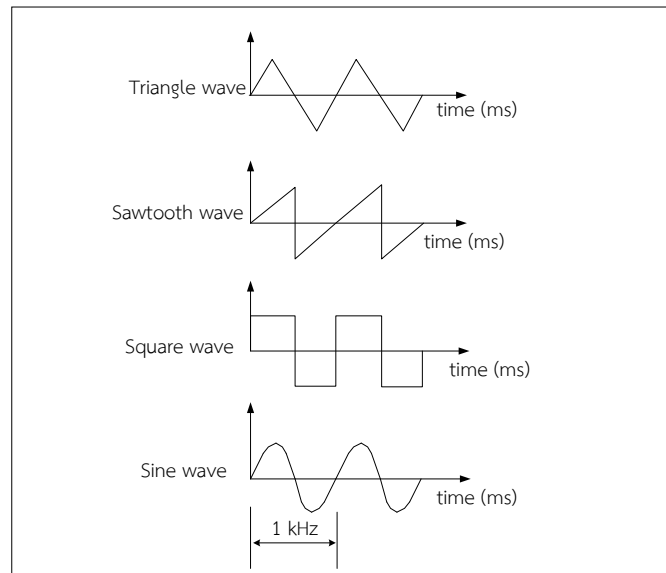
โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) เพื่อเปรียบเทียบคุณลักษณะการเก็บและคายพลังงานของซูเปอร์คาปาซิเตอร์ และ 2) เพื่อหาประสิทธิภาพของซูเปอร์คาปาซิเตอร์จากการชาร์จด้วยแรงดันไฟฟ้าหลายรูปแบบโดยการเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวเก็บประจุยิ่งยวดจากการชาร์จด้วยแรงดันไฟฟ้าหลายรูปแบบ ผู้จัดทำได้ดำเนินการและปฏิบัติตามขั้นตอนการดำเนินการ ดังนี้

1. การออกแบบวงจรชาร์จและดิสชาร์จของตัวเก็บประจุยิ่งยวด

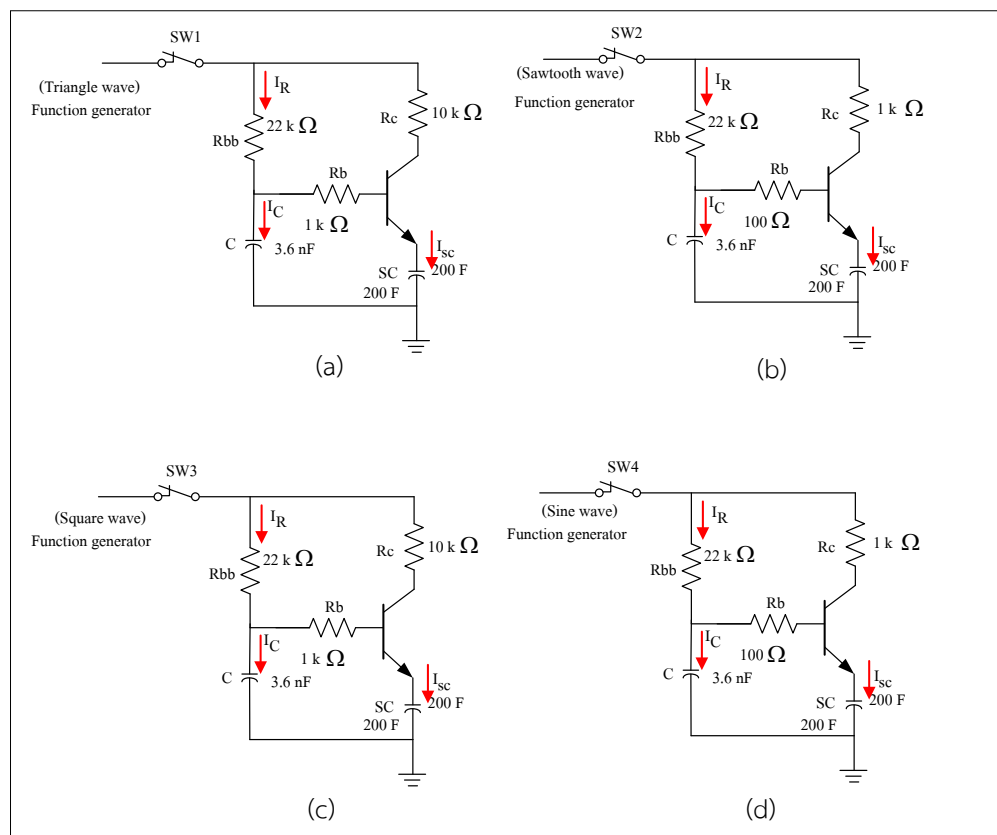
1.1 วงจรการชาร์จ

การทดลองการชาร์จตัวเก็บประจุยิ่งยวดขนาด 200 F 2.5 V (ELNA co., Ltd., 2011) จะใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณ (function generator) ป้อนสัญญาณให้กับวงจรที่ความถี่เท่ากัน คือ 1 kHz ประกอบด้วย ป้อนด้วยสัญญาณสามเหลี่ยม (triangle wave) ป้อนด้วยสัญญาณฟันเลื่อย

(sawtooth wave) ป้อนด้วยสัญญาณสี่เหลี่ยม (square wave) และป้อนด้วยสัญญาณไซน์ (sine wave) หลังจากนั้นนำข้อมูลการชาร์จไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Excel



รูปที่ 1 สัญญาณต่าง ๆ ที่ป้อนให้กับวงจรที่มีความถี่เท่ากันคือ 1 kHz

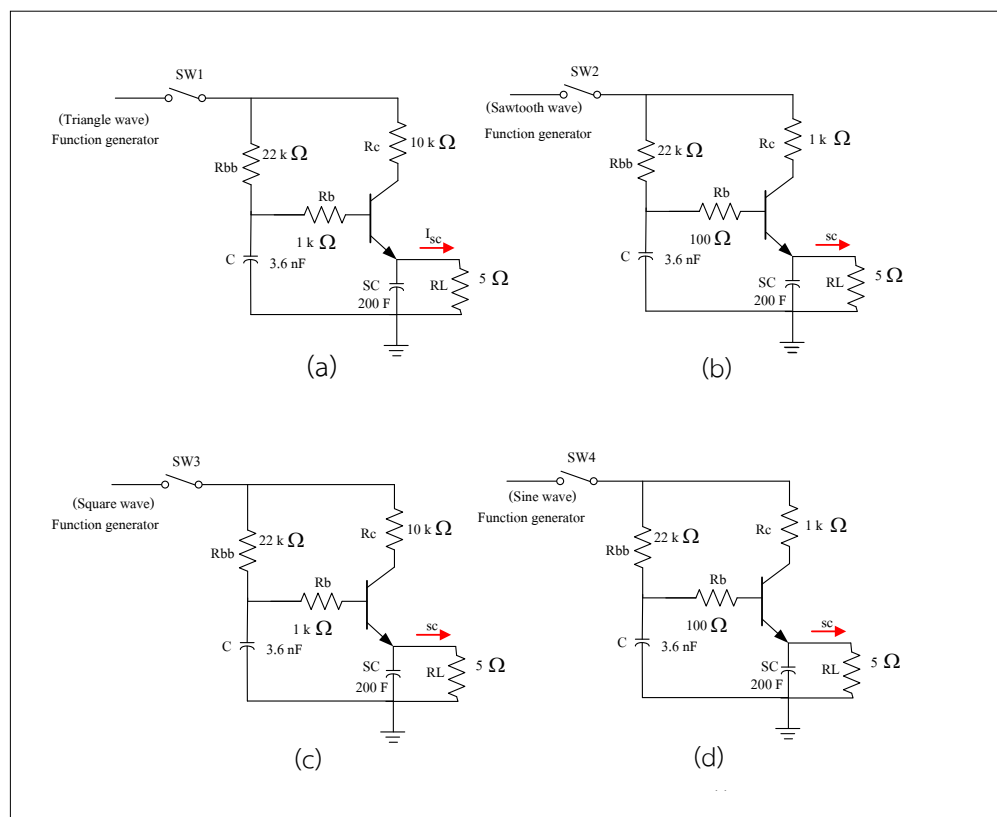


รูปที่ 2 วงจรชาร์จตัวเก็บประจุยิ่งยวดของแต่ละคลื่นสัญญาณ

การทำงานของวงจร เมื่อป้อนสัญญาณให้กับวงจร กระแสที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์เป็นตัวทริกให้ทรานซิสเตอร์ทำงานและเป็นเหมือนสวิตช์เปิดทำให้มีกระแส I_{sc} และทำให้ตัวเก็บประจุยิ่งยวดได้รับการชาร์จหรืออัดประจุ

1.2 วงจรปล่อยประจุ

การทำงานของวงจรปล่อยประจุหรือคายประจุ จะทำภายหลังจากชาร์จประจุจนเต็มพิกัด เมื่อต้องการปล่อยประจุของตัวเก็บประจุยิ่งยวดสวิตช์ 1-4 จะถูกเปิดและจะปล่อยประจุให้กับความต้านทานขนาด 1 โอห์ม 5 วัตต์ ดังรูปที่ 3 จากนั้นนำข้อมูลการดิสชาร์จไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Excel



รูปที่ 3 วงจรปล่อยประจุตัวเก็บประจุยิ่งยวดของแต่ละแหล่งกำเนิดที่อิสระต่อกัน



รูปที่ 4 เครื่องกำเนิดสัญญาณที่ป้อนให้วงจรการชาร์จตัวเก็บประจุยิ่งยวดที่อิสระต่อกัน

1.3 การทดสอบหาประสิทธิภาพตัวเก็บประจุยิ่งยวด

การศึกษาพฤติกรรมการเก็บพลังงานของตัวเก็บประจุยิ่งยวดโดยใช้เป็นแหล่งกำเนิดเครื่องกำเนิดสัญญาณ แล้วนำพลังงานที่ได้ไปเก็บไว้ในตัวเก็บประจุยิ่งยวด หลังจากนั้นตัวเก็บพลังงานทั้งสองจะจ่ายพลังงานให้กับโหลดความต้านทานขนาด 1 โอห์ม 5 วัตต์ และการหาประสิทธิภาพของตัวเก็บประจุยิ่งยวดนั้น ได้ดำเนินการ 2 ส่วน ได้แก่ การทดสอบหาประสิทธิภาพของตัวเก็บประจุยิ่งยวดจากการเก็บประจุและคายประจุ โดยมีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังต่อไปนี้

การทดสอบหาประสิทธิภาพของตัวเก็บประจุยิ่งยวดจากการเก็บประจุและคายประจุ

จากการศึกษาคุณลักษณะพฤติกรรมของตัวเก็บประจุยิ่งยวดที่ได้ในห้องปฏิบัติการ และจากการเก็บข้อมูลการเก็บประจุ (charge) และคายประจุ (discharge) (Zubieta & Bonert, 2000) ของตัวเก็บประจุยิ่งยวดดำเนินการทดลองดังต่อไปนี้

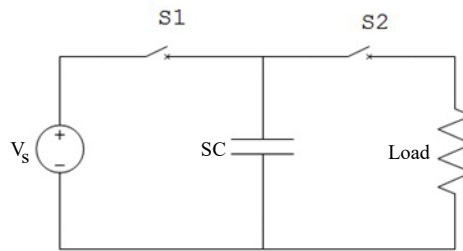
การทดลองเก็บประจุและคายประจุของตัวเก็บประจุยิ่งยวด

1) นำตัวเก็บประจุยิ่งยวดต่อกับเครื่องกำเนิดสัญญาณแหล่งกำเนิดแรงดันรูปคลื่นสามเหลี่ยม ฟันเลื่อย สี่เหลี่ยม และรูปคลื่นไซน์ และโหลดความต้านทานขนาด 1 โอห์ม 5 วัตต์ โดยกำหนดแรงดันในการเก็บประจุที่ 1.5 โวลต์

2) ทำการอัดประจุโดยควบคุมการทำงานด้วยสวิตช์ S_1 รูปที่ 5 และหยุดการประจุเมื่อแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุยิ่งยวดคงที่วัดและบันทึกค่าแรงดันและกระแสขณะเก็บประจุ

3) เมื่อเก็บประจุจนแรงดันคงที่ ทำการคายประจุให้กับโหลด โดยควบคุมการทำงานด้วยสวิตช์ S_2 บันทึกค่าแรงดันและกระแสขณะคายประจุ โดยหยุดการคายประจุ เมื่อแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุยิ่งยวดเริ่มคงที่

4) นำข้อมูลที่ได้จากการเก็บประจุและคายประจุ ไปหาค่าประสิทธิภาพของตัวเก็บประจุยิ่งยวด ตามสมการที่ 4



รูปที่ 5 วงจรที่ใช้ในการทดลองหาประสิทธิภาพของตัวเก็บประจุยิ่งยวด

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

โครงการนี้ได้ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

1. หาค่าประสิทธิภาพของตัวเก็บประจุยิ่งยวด จากสมการที่ 3 โดยนำข้อมูลแรงดันกระแสที่ได้จากเครื่องบันทึกข้อมูล (data logger) มาเขียนกราฟ เพื่อวิเคราะห์ถึงพฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงช่วงเก็บประจุและคายประจุเทียบกับเวลา โดยพลังงานที่สะสมในตัวเก็บประจุหาได้จาก

$$W_c = \frac{1}{2} C V_c^2 \quad (1)$$

เมื่อ	W_c	คือ พลังงานสะสมในตัวเก็บประจุ	มีหน่วยเป็น จูล (J) หรือ วัตต์-วินาที
	C	คือ ความจุ	มีหน่วยเป็น ฟารัด (F)
	V_c	คือ แรงดันไฟฟ้าที่ตัวเก็บประจุ	มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)

พลังงานที่เกิดจากความต้านทานภายในตัวเก็บประจุยิ่งยวดและหาค่ากำลังสูญเสีย (power loss) ได้จาก

$$W_R = I^2 R t \quad (2)$$

จากสมการที่ (1) และ (2) สามารถนำมาหาค่าประสิทธิภาพของตัวเก็บประจุยิ่งยวดได้ ดังนี้

$$\text{ประสิทธิภาพของตัวเก็บประจุยิ่งยวด} \quad (\eta) = \frac{W_c}{W_t} \quad (3)$$

$$\text{หรือ ประสิทธิภาพของตัวเก็บประจุยิ่งยวด} \quad (\eta) = \frac{W_c}{W_c + W_R} \quad (4)$$

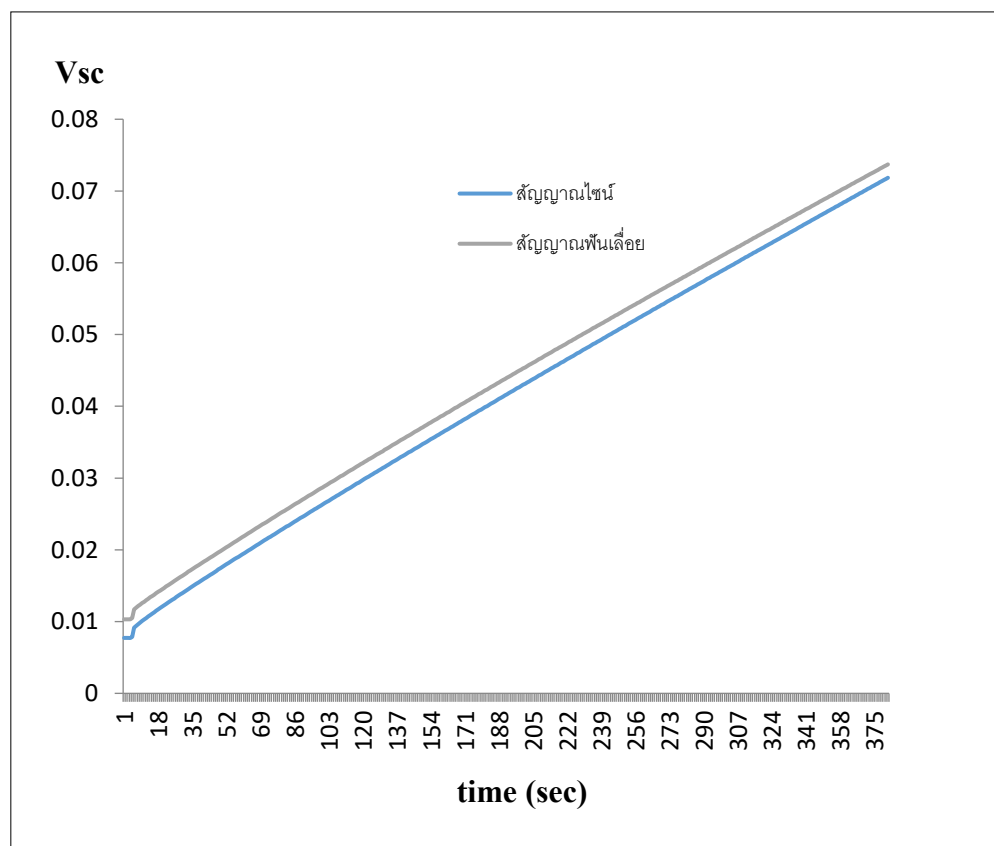
2. วิเคราะห์พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงช่วงการเก็บประจุและคายประจุเทียบกับเวลา โดยนำข้อมูลแรงดัน กระแส ที่ได้จากเครื่องบันทึกข้อมูล (data logger) มาเขียนกราฟ

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

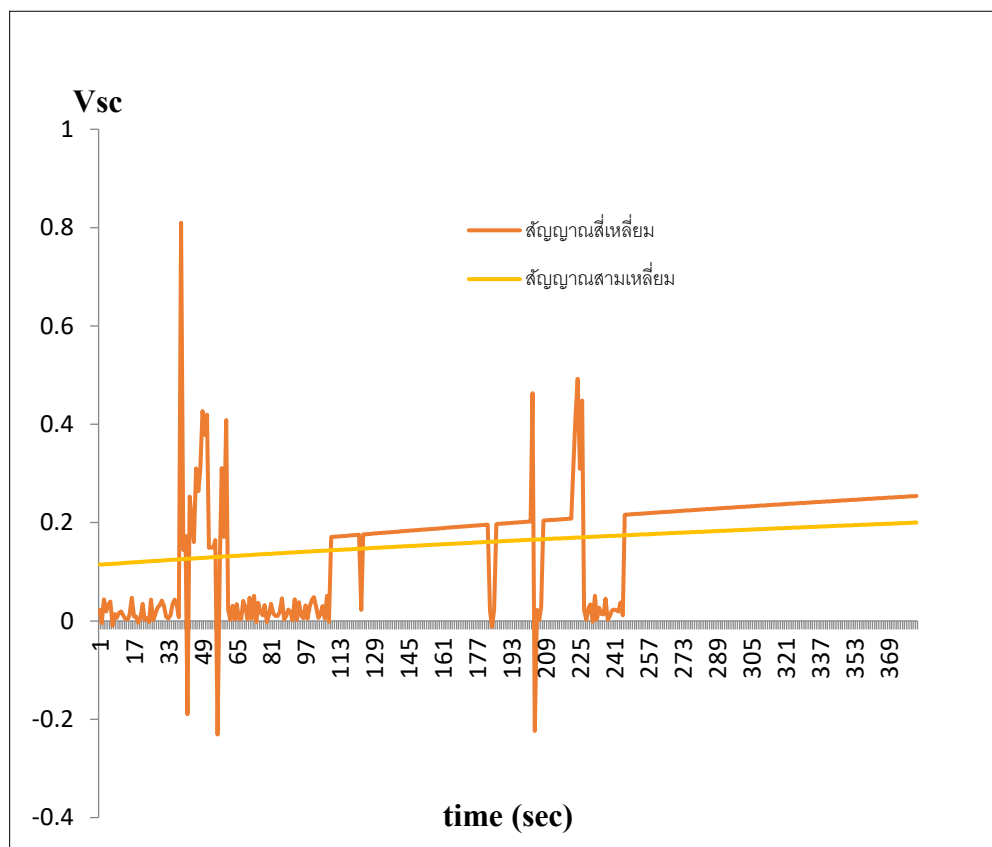
1. ผลการทดลองการชาร์จ

การทดลองจากการป้อนสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากการชาร์จด้วยแหล่งกำเนิดแรงดัน รูปคลื่นสามเหลี่ยม รูปคลื่นฟันเลื่อย รูปคลื่นสี่เหลี่ยม และรูปคลื่นไซน์ เวลาที่ใช้ในการชาร์จ 9,455 วินาที แรงดันไฟฟ้าตัวเก็บประจุยิ่งยวด (V_{SC}) ที่ป้อนด้วยแต่ละรูปคลื่นสัญญาณ คือ 0.924678 V 1.282828 V 1.057508 V และ 0.041566 V ตามลำดับ ค่าแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดและสูงสุดการเกิดของแรงดันไฟฟ้า V_{SC} แสดงดังรูปที่ 6

พลังงานที่ถูกใช้ไปในการชาร์จประจุให้กับตัวเก็บประจุยิ่งยวด ซึ่งพบว่า ค่าพลังงานที่ถูกใช้ไปมากที่สุด คือ การป้อนด้วยรูปคลื่นสัญญาณสี่เหลี่ยม ตามด้วยการป้อนด้วยรูปคลื่นสัญญาณสามเหลี่ยม การป้อนด้วยรูปคลื่นสัญญาณไซน์ และพลังงานที่ใช้น้อยสุดคือการป้อนด้วยรูปคลื่นสัญญาณฟันเลื่อย



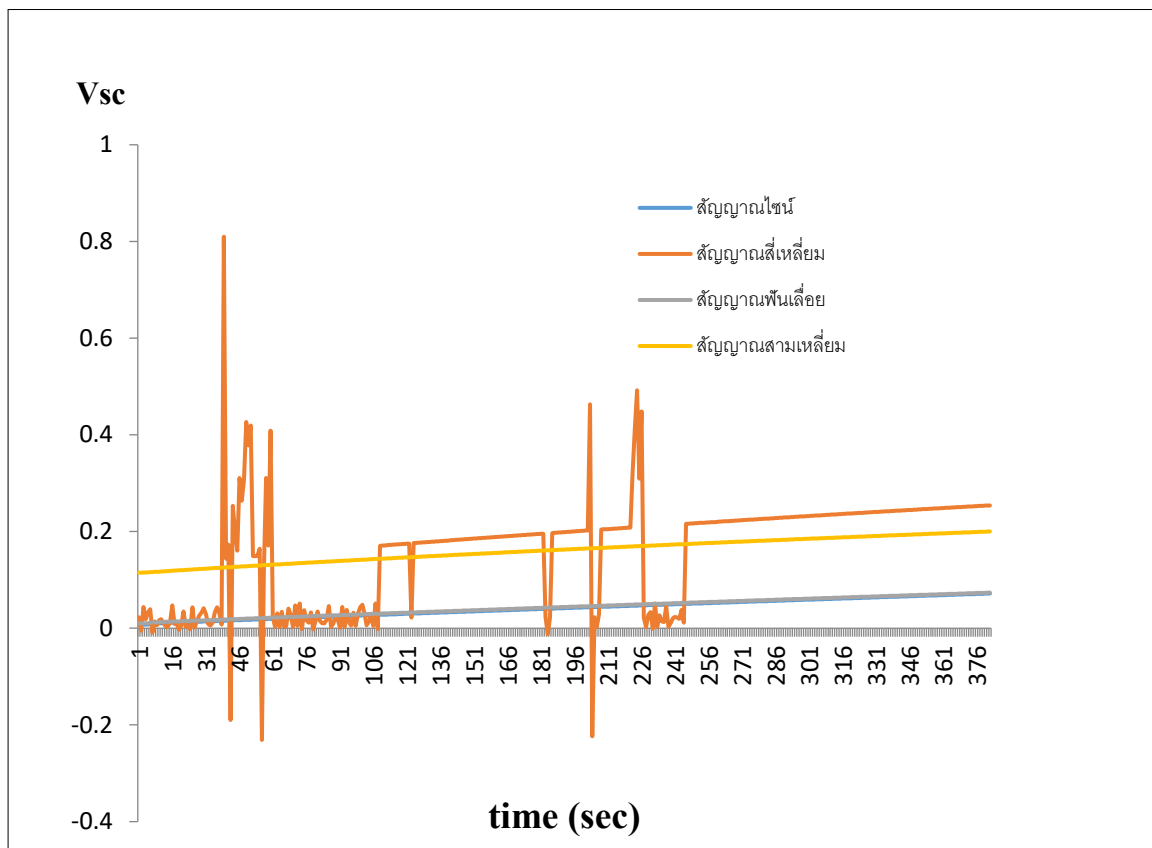
(a) เปรียบเทียบสัญญาณไซน์กับสัญญาณฟันเลื่อย



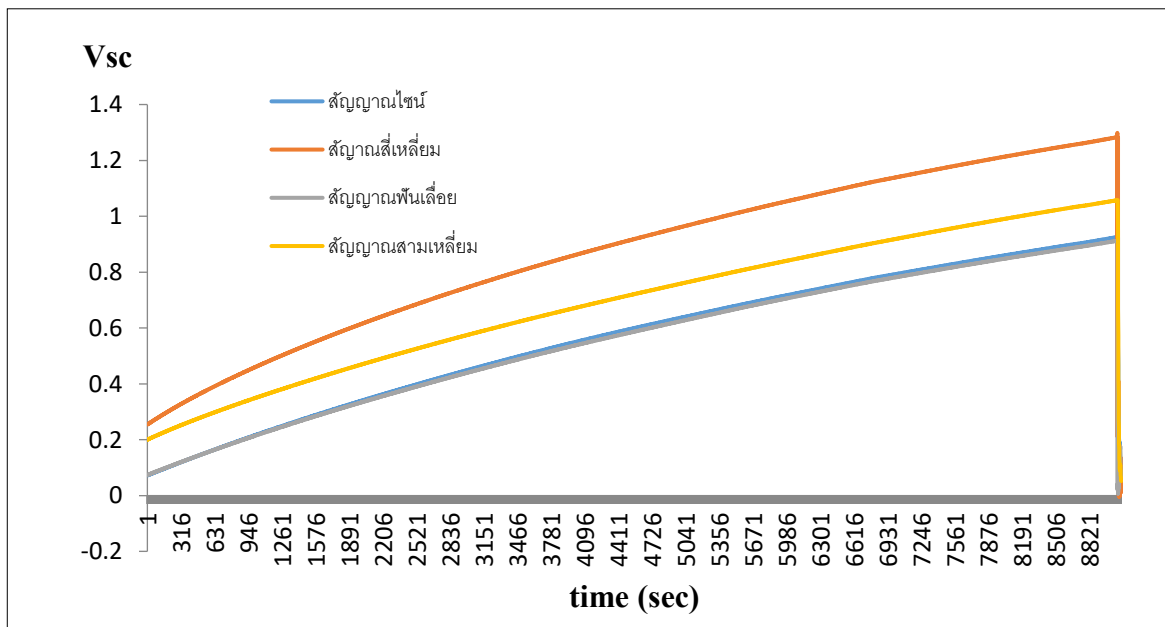
(b) เปรียบเทียบสัญญาณสี่เหลี่ยมกับสัญญาณสามเหลี่ยม

รูปที่ 6 เปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้า V_{sc} ช่วงเวลา 0 ถึง 369 วินาที

แรงดันไฟฟ้า V_{sc} จากการป้อนด้วยสัญญาณไซน์ สัญญาณสี่เหลี่ยม สัญญาณฟันเลื่อย และสัญญาณสามเหลี่ยม ช่วงเวลา 0 ถึง 376 วินาที จะพบว่า แรงดันไฟฟ้า V_{sc} ที่ป้อนด้วยสัญญาณสี่เหลี่ยมมีการเปลี่ยนแปลงแบบทรานเซียนช่วงเวลา 0 ถึง 244 วินาที เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนด้วยสัญญาณสี่เหลี่ยม ดังรูปที่ 7 (a) แต่เมื่อเวลาชาร์จผ่านไป 244 วินาที แรงดันไฟฟ้า V_{sc} จะเริ่มเข้าสู่สถานะเอกซ์โพเนนเชียลแบบต่อเนื่องจนถึงพิกัดของแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการชาร์จ คือ 1.28 โวลต์ ดังรูปที่ 7 (b)



(a) เปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้า V_{sc} ช่วงเวลา 0 ถึง 376 วินาที



(b) เปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้า V_{sc} ช่วงเวลา 376 ถึง 9469 วินาที

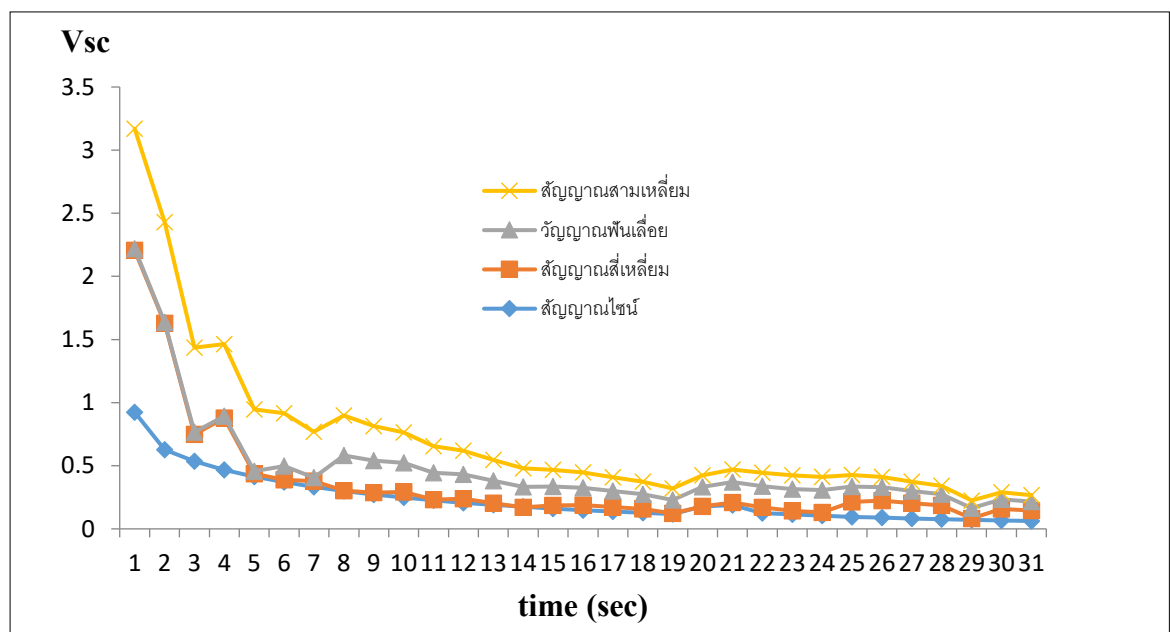
รูปที่ 7 เปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้า V_{sc} ช่วงชาร์จ

2. ผลการทดลองการคายประจุ

จากการป้อนด้วยรูปคลื่นสัญญาณสามเหลี่ยม รูปคลื่นสัญญาณสี่เหลี่ยม รูปคลื่นสัญญาณฟันเลื่อย และรูปคลื่นสัญญาณไซน์

ผลการทดลองการปล่อยประจุ (discharging) ให้กับโหลดความต้านทานขนาด 1 โอห์ม 5 วัตต์ เวลาที่ใช้ในการปล่อยประจุ 30 วินาที แรงดันไฟฟ้าตัวเก็บประจุยิ่งยวด (V_{SC}) ที่จ่ายให้กับความต้านทานที่เริ่มคายประจุ คือ 0.051667 V 0.083918 V 0.069476 V และ 0.062287 V ตามลำดับ ส่วนการเกิดของแรงดันไฟฟ้า V_{SC} แสดงดังรูปที่ 8

พลังงานที่ถูกใช้ไปของตัวเก็บประจุยิ่งยวดในการปล่อยประจุให้กับโหลดความต้านทานขนาด 1 โอห์ม 5 วัตต์ ซึ่งพบว่าค่าพลังงานที่ถูกใช้ไปมากที่สุดคือการป้อนด้วยรูปคลื่นสัญญาณสามเหลี่ยม ตามด้วยการป้อนด้วยรูปคลื่นสัญญาณไซน์ การป้อนด้วยรูปคลื่นสัญญาณสี่เหลี่ยม และพลังงานที่ใช้น้อยที่สุดคือการป้อนด้วยรูปคลื่นสัญญาณฟันเลื่อย ดังตารางที่ 1



รูปที่ 8 เปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้า V_{SC} ช่วงปล่อยประจุ ใช้เวลา 0 ถึง 30 วินาที

3. ประสิทธิภาพของซูเปอร์คาปาซิเตอร์

ประสิทธิภาพของซูเปอร์คาปาซิเตอร์หาได้จากการชาร์จจากแหล่งกำเนิดแรงดันไฟฟ้า รูปคลื่นสามเหลี่ยม รูปคลื่นฟันเลื่อย รูปคลื่นสี่เหลี่ยม และรูปคลื่นไซน์ โดยนำพลังงานที่ได้ในช่วงการชาร์จ และปล่อยประจุไปคำนวณหาประสิทธิภาพ (Jiang, Zhang & Jian, 2013)

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพของตัวเก็บประจุยิ่งยวดที่ป้อนด้วยเครื่องกำเนิดสัญญาณรูปคลื่นต่าง ๆ

พลังงาน	triangle wave	sawtooth wave	square wave	sine wave
W_c	72.86515	37.54007	39.49183	71.70438
W_R	1.15	1.15	1.15	1.15
W_t	74.01	38.69	40.64	72.85
$\eta\%$	98.45	97.03	94.17	98.43

จากผลการทดลองช่วงชาร์จและช่วงปล่อยประจุของตัวเก็บประจุยิ่งยวดแล้วนำมาคำนวณหาประสิทธิภาพจากการป้อนด้วยเครื่องกำเนิดสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยม รูปคลื่นฟันเลื่อย รูปคลื่นสี่เหลี่ยม และรูปคลื่นไซน์ ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพตัวเก็บประจุยิ่งยวดสูงสุด คือ การป้อนด้วยสัญญาณสามเหลี่ยมคิดเป็นร้อยละ 98.45 และประสิทธิภาพต่ำสุดคือป้อนด้วยสัญญาณสี่เหลี่ยมคิดเป็นร้อยละ 94.17

สรุปผล

จากการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวเก็บประจุยิ่งยวดจากการชาร์จด้วยแรงดันไฟฟ้าหลายรูปแบบ สามารถสรุปผลการทดลอง ได้ดังนี้

ผลการทดลองการชาร์จ (charging) จากการป้อนสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากการชาร์จด้วยแหล่งกำเนิดแรงดันรูปคลื่นสามเหลี่ยม รูปคลื่นฟันเลื่อย รูปคลื่นสี่เหลี่ยม และรูปคลื่นไซน์ เวลาที่ใช้ในการชาร์จ 9,455 วินาที แรงดันไฟฟ้าตัวเก็บประจุยิ่งยวด (V_{sc}) ที่ป้อนด้วยแต่ละรูปคลื่นสัญญาณ คือ 0.924678 V 1.282828 V 1.057508 V และ 0.041566 V ตามลำดับ ผลการทดลองการปล่อยประจุ (discharging) ให้กับโหลดความต้านทานขนาด 1 โอห์ม 5 วัตต์ เวลาที่ใช้ในการปล่อยประจุ 30 วินาที แรงดันไฟฟ้าตัวเก็บประจุยิ่งยวด (V_{sc}) ที่จ่ายให้กับความต้านทานที่เริ่มคายประจุ คือ 0.062287 V 0.083918 V 0.051667 V และ 0.069476 V ตามลำดับ ประสิทธิภาพตัวเก็บประจุยิ่งยวดจากการป้อนด้วยเครื่องกำเนิดสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยม รูปคลื่นฟันเลื่อย รูปคลื่นสี่เหลี่ยม และรูปคลื่นไซน์ ซึ่งพบว่า ประสิทธิภาพตัวเก็บประจุยิ่งยวดสูงสุดคือการป้อนด้วยสัญญาณสามเหลี่ยม คิดเป็นร้อยละ 98.45 และประสิทธิภาพต่ำสุด คือป้อนด้วยสัญญาณสี่เหลี่ยม คิดเป็นร้อยละ 94.17

เอกสารอ้างอิง

- Cao, J. & Emadi, A. (2012). A new battery/ultracapacitor hybrid energy storage system for electric, hybrid, and plug-in hybrid electric vehicles. **IEEE TRANSACTIONS ON Power Electronics**, 27(1), 122-132.
- ELNA co., Ltd. (2011). **Electric Double Layer Capacitor**. from http://www.elna.co.jp/en/capacitor/double_layer/catalog/pdf/dlc_tecnote_e.pdf
- Jayalakshmi, M. & Balasubramanian, K. (2008). Simple capacitors to supercapacitors-an overview. **International Journal of Electrochemical Science**, 3, 1196-1217.
- Schroeder, J. C., Wittig, B. & Fuchs, F. W. (2010). High efficient battery backup system for lift trucks using interleaved-converter and increased EDLC voltage range. **IECON 2010 - 36th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society, Glendale, AZ, USA**, 2334-2339. from doi: 10.1109/IECON.2010.5675142.
- Zubieta, L. & Bonert, R. (2000). Characterization of double-layer capacitors for power electronics applications. **IEEE Transactions on Industry Applications**, 36(1), 199-205.
- Bodnar, R. & Redman-White, W. (2011). A 250W/30A fast charger for ultracapacitors with direct mains connection, **20th European Conference on Circuit Theory and Design (ECCTD), Linköping, Sweden**, 813-816. from doi: 10.1109/ECCTD.2011.6043835.
- Jiang, X., Zhang, J. & Jian, W. (2013). The analysis of ultracapacitor charging efficiency, **International Conference on Computational and Information Sciences, Shiyang, China**, 1198-1201. from doi: 10.1109/ICCIS.2013.317.

เรือเก็บขยะพลังงานแสงอาทิตย์ควบคุมการทำงานด้วย IoT

จักรกฤษณ์ จันทร์เขียว^{1*} ณพวัฒน์ ทองพันชั่ง² และณัฐคมณ์ ไพศาลวิสัยศ³

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีเพื่อสร้างและออกแบบเรือเก็บขยะพลังงานแสงอาทิตย์ ควบคุมด้วยรีโมทคอนโทรล และเพื่อทดสอบหาประสิทธิภาพการเก็บขยะเรือเก็บขยะที่สร้างขึ้นนี้ จะนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่ แล้วใช้แบตเตอรี่จ่ายพลังงานไฟฟ้าสำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อขับเคลื่อนเรือ โดยระบบควบคุมของเรือมีส่วนประกอบที่สำคัญ 3 ส่วน คือ 1) ตัวเรือที่ออกแบบมาเพื่อให้สามารถลอยบนผิวน้ำได้ 2) ระบบขับเคลื่อนเรือซึ่งจะรวมถึงระบบพลังงานแสงอาทิตย์ และ 3) ระบบการจัดเก็บขยะ ซึ่งจะนำขยะจากผิวน้ำมาเก็บไว้ในถังเก็บขยะ โดยเรือเก็บขยะนี้ถูกออกแบบมาให้เป็นเรือไร้คนขับแต่จะถูกควบคุมการทำงานด้วยรีโมทคอนโทรลจากระยะไกลด้วยสัญญาณไวไฟ ผลการทดลองเก็บขยะโดยเรือเก็บขยะพลังงานแสงอาทิตย์ควบคุมการทำงานด้วยรีโมทคอนโทรล พบว่าระยะทางที่ควบคุมได้ไกลสุด 110 เมตร และเรือเก็บขยะสามารถเก็บขยะที่เป็นขวดน้ำได้จำนวน 3 กิโลกรัม ในเวลา 32 นาที

คำสำคัญ: เรือเก็บขยะ พลังงานแสงอาทิตย์ รีโมทคอนโทรล

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

² สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการระบบราง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

³ สาขาวิชาเทคโนโลยีดิจิทัล คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

* ผู้ประสานงานหลัก e-mail: jrukkrit@siam.edu

วันที่รับบทความ 9 ธันวาคม 2568

วันที่แก้ไขบทความ 26 ธันวาคม 2568

วันที่ตอบรับบทความ 28 ธันวาคม 2568

Solar-powered Garbage Collection Boat Controlled by IoT

Jrukkrit Chankiew^{1*} Noppawath Thongbhundchang²
and Nattakom Phaisanwatsayos³

ABSTRACT

This research aimed to build and design a solar-powered remote-controlled garbage collection boat and to test its efficiency. The garbage collection boat used solar energy to charge the batteries for providing the electrical energy to power the DC electric motor, which then propels the boat. The boat control system had 3 main components: 1) the boat vessel designed to be able to float on the water, 2) the boat propulsion system including the solar cell system, and 3) the garbage collection system which would collect garbage from the water's surface and store it in a waste bin. This boat was designed to be unmanned but to be controlled remotely via Wi-Fi. The results of collecting garbage using this solar-powered remote-controlled garbage collection boat revealed that the maximum controllable range was 110 meters, and the boat could collect 3 kilograms of plastic water bottles in 32 minutes.

Keywords: garbage collection boat, solar-powered, remote-controlled

¹ Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Siam University

² Railway System Management Engineering, Faculty of Science and Technology, Dhonburi Rajabhat University

³ Digital Technology, Faculty of Science and Technology, Dhonburi Rajabhat University

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

Received: Dec 9, 2025

Revised: Dec 26, 2025

Accepted: Dec 28, 2025

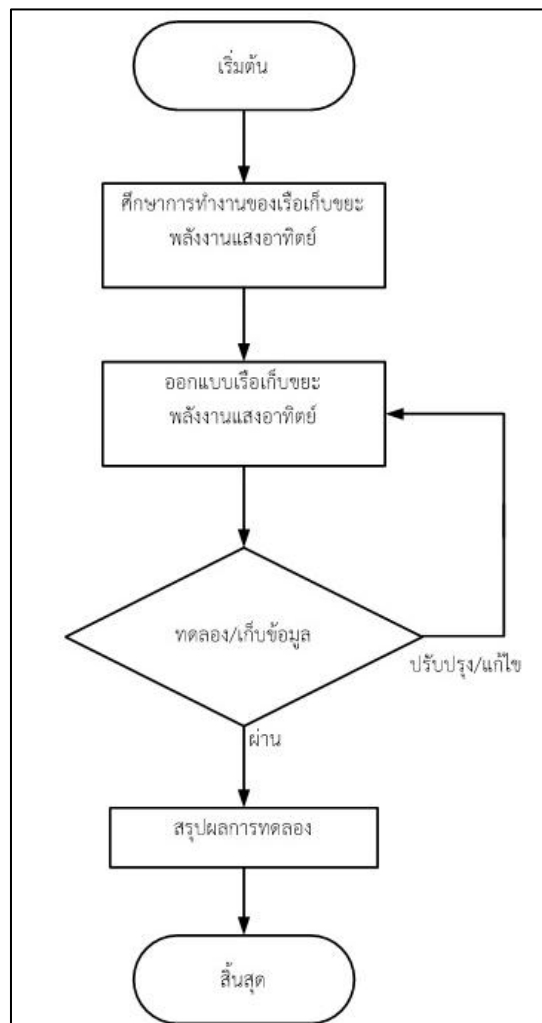
บทนำ

โลกของเราประกอบขึ้นด้วยพื้นดินและพื้นน้ำ โดยส่วนที่เป็นผิวน้ำนั้น มีอยู่ประมาณ 3 ส่วน (75%) และเป็นพื้นดิน 1 ส่วน (25%) น้ำมีความสำคัญอย่างยิ่งกับชีวิตของพืชและสัตว์บนโลกรวมทั้งมนุษย์เราด้วยน้ำ เป็นทรัพยากรที่สามารถเกิดหมุนเวียนได้เรื่อย ๆ ไม่มีวันหมดสิ้น เมื่อแสงแดดส่องมาบนพื้นโลก น้ำจากทะเล และมหาสมุทรก็จะระเหยเป็นไอน้ำลอยขึ้นสู่เบื้องบนเนื่องจากไอน้ำมีความเบากว่าอากาศ เมื่อไอน้ำลอยสู่ เบื้องบนแล้ว จะได้รับความเย็นและกลั่นตัวกลายเป็นละอองน้ำเล็ก ๆ ลอยจับตัวกันเป็นกลุ่มเมฆ เมื่อจับตัวกัน มากขึ้นและกระทบความเย็นก็จะกลั่นตัวกลายเป็นหยดน้ำตกลงสู่พื้นโลก น้ำบนพื้นโลกจะระเหยกลายเป็นไอน้ำอีกเมื่อได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์ ไอน้ำจะรวมตัวกันเป็นเมฆและกลั่นตัวเป็นหยดน้ำกระบวนการ เช่นนี้ เกิดขึ้นเป็นวัฏจักรหมุนเวียนต่อเนื่องกันตลอดเวลา เรียกว่า วัฏจักรน้ำ ทำให้มีน้ำเกิดขึ้นบนผิวโลกอยู่เสมอ

โดยประโยชน์ของทรัพยากรน้ำมีความจำเป็น เช่น ใช้ในการอุปโภค บริโภค การเกษตรกรรม ทั้งมนุษย์และสัตว์ อีกทั้งในการผลิตพลังงาน นายแพทย์ดนัย ธีวันดา รองอธิบดีกรมอนามัย กล่าวว่า ปัญหาน้ำเสียเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมใกล้ตัวที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพและคุณภาพชีวิตของประชาชน จากสถานการณ์ปัญหาการปล่อยน้ำเสียและการทิ้งขยะลงในแม่น้ำในปัจจุบัน ทำให้น้ำในแม่น้ำลำคลองเน่าเสียจนไม่สามารถนำมาใช้อุปโภคบริโภคได้ ขณะที่แหล่งน้ำในชุมชน เมื่อนำมาใช้ในการผลิตน้ำประปามีคุณภาพต่ำ ทำให้ภาครัฐมีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นในกระบวนการผลิต และปรับปรุงคุณภาพน้ำประปา ขณะเดียวกันทะเลไทยก็มีขยะตกค้างอยู่จำนวนมาก โดยข้อมูลจากกรมควบคุมมลพิษ ในปี 2559 พบปริมาณขยะในทะเลเท่ากับ 10.78 ตันต่อปี ซึ่งน้ำที่เน่าเสียเป็นแหล่งของเชื้อโรคและสารพิษที่เป็นอันตรายต่อพืชและสัตว์ ทำให้ระบบนิเวศและธรรมชาติเป็นพิษ เมื่อประชาชนบริโภคสัตว์น้ำและพืชผักที่มีสารพิษตกค้างเข้าไป สารพิษจะสะสมในร่างกาย ส่งผลให้เกิดโรคร้ายต่าง ๆ ตามมา นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อบรรยากาศและสภาพลักษณะ การท่องเที่ยวของประเทศไทยด้วย (กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, 2560) ปัจจุบันการจัดการขยะในแม่น้ำลำคลองจะอาศัยกำลังคนและเรือดำเนินการเก็บขยะตามแม่น้ำลำคลอง ทำให้ต้องอาศัยคนจำนวนมากและเชื้อเพลิง จากการศึกษาเรือเก็บขยะควบคุมไร้สายของประภาภรณ์ เพชรสม, อิสระพงศ์ พูลสุข และประกาศิต ตันตอลงการ (2559) ซึ่งโครงสร้างเรือทำจากเหล็กกล่อง ใช้อุปกรณ์ขับเคลื่อน ควบคุมด้วยรีโมท ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะแก้ไขปัญหาดังกล่าวด้วยการเก็บขยะในคูคลองหรือหนองน้ำ โดยไม่ต้องใช้คนลงไปเก็บขยะซึ่งก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ลงไปเก็บขยะ โดยการประดิษฐ์เรือเก็บขยะบังคับวิทยุเพื่อพัฒนาเรือเก็บขยะให้สามารถเก็บขยะได้ไม่เกิน 5 กิโลกรัม และใช้หลักการควบคุมมอเตอร์ที่เป็นระบบขับเคลื่อนเรือโดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ และระบบพัดขยะเข้ามาเก็บ โดยใช้วิทยุบังคับในระยะไม่ไกลมาก

วิธีดำเนินการวิจัย

การออกแบบและสร้างเรือเก็บขยะพลังงานแสงอาทิตย์จะต้องมีการศึกษาหาข้อมูล ขั้นตอนการสร้างเครื่องจักรโดยละเอียด และบอกถึงส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องจักร การวางแผนการเตรียมงาน การออกแบบ การดำเนินการสร้าง ดังนั้นจึงต้องมีการดำเนินงานสร้างเรือเก็บขยะพลังงานแสงอาทิตย์โดยมีลำดับขั้นตอนการดำเนินงาน แสดงดังในรูปที่ 1 ดังนี้



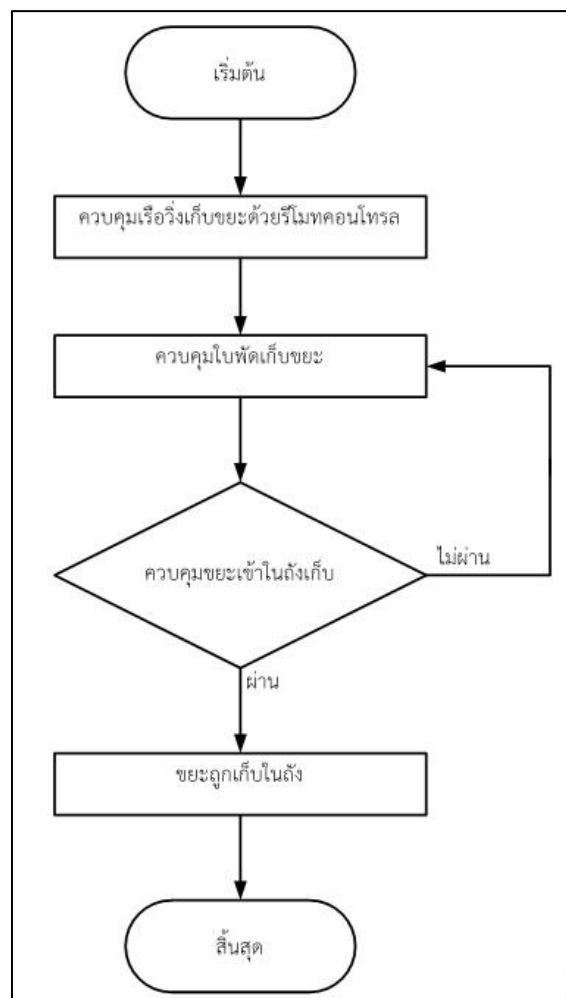
รูปที่ 1 ลำดับขั้นตอนการสร้างเรือเก็บขยะพลังงานแสงอาทิตย์

ขั้นตอนในการสร้างเรือเก็บขยะพลังงานแสงอาทิตย์ เริ่มต้นด้วยการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง การศึกษาหาข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการสร้างเรือเก็บขยะพลังงานแสงอาทิตย์ จากแหล่งข้อมูล (จักรกฤษณ์ เคลือบวัง, เกียรติศักดิ์ พูลมณี และธงชัย เหล่าเขตกิจ, 2557) จากนั้นทำการออกแบบ

และเลือกใช้วัสดุชิ้นส่วนต่าง ๆ ตามความเหมาะสม รวมถึงลักษณะขนาดของเรือ เพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของขอบเขตและการจัดซื้อวัสดุอุปกรณ์ เมื่อได้วัสดุอุปกรณ์พร้อมแล้วทำการประกอบเรือเก็บขยะพลังงานแสงอาทิตย์ตามแบบที่ได้ทำการออกแบบไว้ และเมื่อประกอบเครื่องเสร็จแล้วจึงทำการทดลองและเก็บข้อมูลการทำงานของเรือเก็บขยะพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนด (Duffie & Beckman, 2013) หากไม่ผ่านการทดลอง ให้ทำการแก้ไขปรับปรุงจากนั้นทำการสรุปผลการทดลอง

1. การออกแบบเรือเก็บขยะพลังงานแสงอาทิตย์

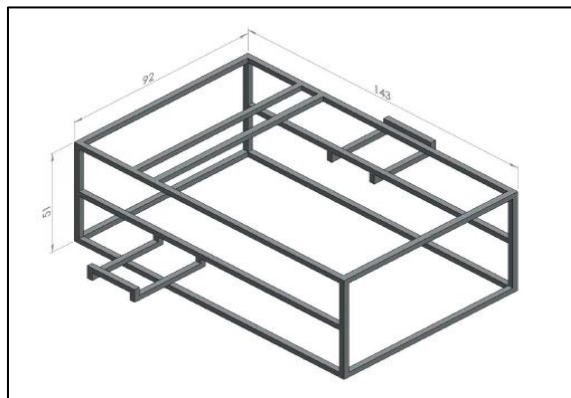
ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบเรือเก็บขยะพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด ทั้งนี้ได้เลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ที่มีอยู่ตามท้องตลาดให้ได้มากที่สุด



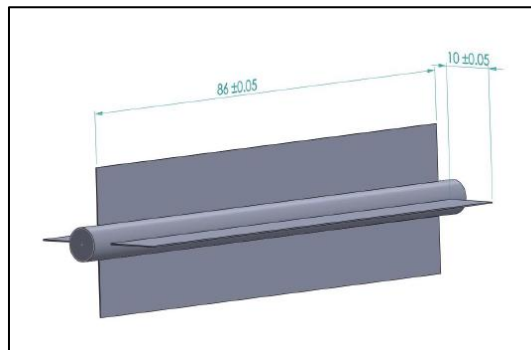
รูปที่ 2 กระบวนการทำงานของเรือเก็บขยะพลังงานแสงอาทิตย์

1.1 การออกแบบโครงสร้างเรือเก็บขยะพลังงานแสงอาทิตย์

การออกแบบโครงสร้างของเรือเก็บขยะและใบพัดเก็บขยะผู้จัดทำได้ออกแบบให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานโดยโครงสร้างของเรือจะเน้นให้น้ำหนักเบา และออกแบบให้ใบตึขยะเข้ามาในเรือให้มี 4 ใบ วัสดุที่ใช้จะเป็นท่อ PVC ขนาด 2.5 นิ้วและแผ่นสังกะสีแบบหนามีความแข็งแรงสามารถตึขยะเข้ามาเก็บในเรือได้อย่างดี โดยมีขนาดของโครงสร้าง เท่ากับ $92 \times 143 \times 51$ มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3 และขนาดของใบพัดเก็บขยะของเรือ เท่ากับ 10×86 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4



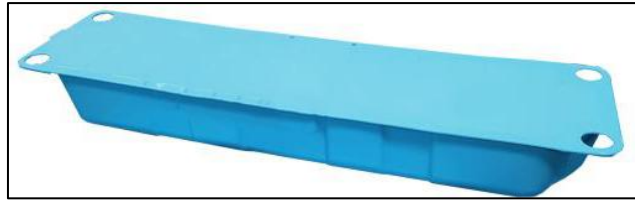
รูปที่ 3 แบบโครงสร้างของเรือเก็บขยะพลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 4 แบบใบพัดเก็บขยะของเรือเก็บขยะพลังงานแสงอาทิตย์

1.2 การเลือกใช้ทุ่นลอยน้ำ

เพื่อให้เรือสามารถลอยตัวบนน้ำได้เป็นอย่างดีผู้จัดทำได้เลือกใช้ทุ่นลอยน้ำสำเร็จรูปจำนวน 2 ทุ่นหาง่ายตามท้องตลาด ซึ่งผลิตจากพลาสติกแข็งแรง มักนิยมใช้ในการทำกังหันบำบัดน้ำเสีย โดยมีขนาด $330 \times 1290 \times 165$ มิลลิเมตร



รูปที่ 5 พุน้ำที่ใช้ในการสร้างเรือเก็บขยะพลังงานแสงอาทิตย์

1.3 การเลือกใช้ใบพัดตีน้ำ

เพื่อให้เรือสามารถเคลื่อนที่ในน้ำได้เป็นอย่างดี ผู้จัดทำได้เลือกใช้ใบพัดตีน้ำสำเร็จรูปจำนวน 1 คู่ มีใบพัดทั้งหมด 6 ใบ ซึ่งผลิตจากพลาสติกแข็งแรง มักนิยมใช้ในการทำกังหันบำบัดน้ำเสีย จะติดตั้งต่อกับมอเตอร์ผ่านเฟลาและเฟืองมายังใบพัดตีน้ำ ซึ่งใช้สำหรับเคลื่อนที่ไปยังทิศทางที่ต้องการ โดยมีขนาด 620 x 185 มิลลิเมตร



รูปที่ 6 ใบพัดตีน้ำ

1.4 การออกแบบหาขนาดของมอเตอร์

คำนวณหาขนาดของมอเตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อน โดยที่ตัวเรือมีน้ำหนักรวม 50 กิโลกรัม ซึ่งความเร็วของเรือเก็บขยะพลังงานแสงอาทิตย์มีความเร็วประมาณ 5 กิโลเมตร/ชั่วโมง

จากสูตร

$$\sum F = mg \quad (1)$$

เนื่องจากใช้ DC motor ระยะจากจุดหมุน

$$r = 0.005 \text{ m}$$

จากสูตร

$$\tau = F \times r$$

$$\tau = 490.5 \times 0.005$$

$$\tau = 2.4525 \quad Nm$$

ความเร็วรอบของ DC motor 600 rpm

$$\omega = \frac{2\pi N}{60} \quad (2)$$

จากสูตร

$$P = 2.45 \times 62.83$$

$$P = 154.1$$

ดังนั้น จากการคำนวณต้องการพิกัดกำลังไฟฟ้าขนาด 154.1 W เพราะฉะนั้น เลือกใช้ DC motor ยี่ห้อ UNITE ขนาดแรงดันไฟฟ้า 24 V พิกัดกำลังไฟฟ้า 250 W เนื่องจากหาง่ายและราคาถูกตามท้องตลาด



รูปที่ 7 มอเตอร์ขนาด 24 V 250 W ที่ใช้ในการขับเคลื่อนของเรือเก็บขยะพลังงานแสงอาทิตย์

1.5 ระบบกล้องสำหรับ Monitor IP Camera

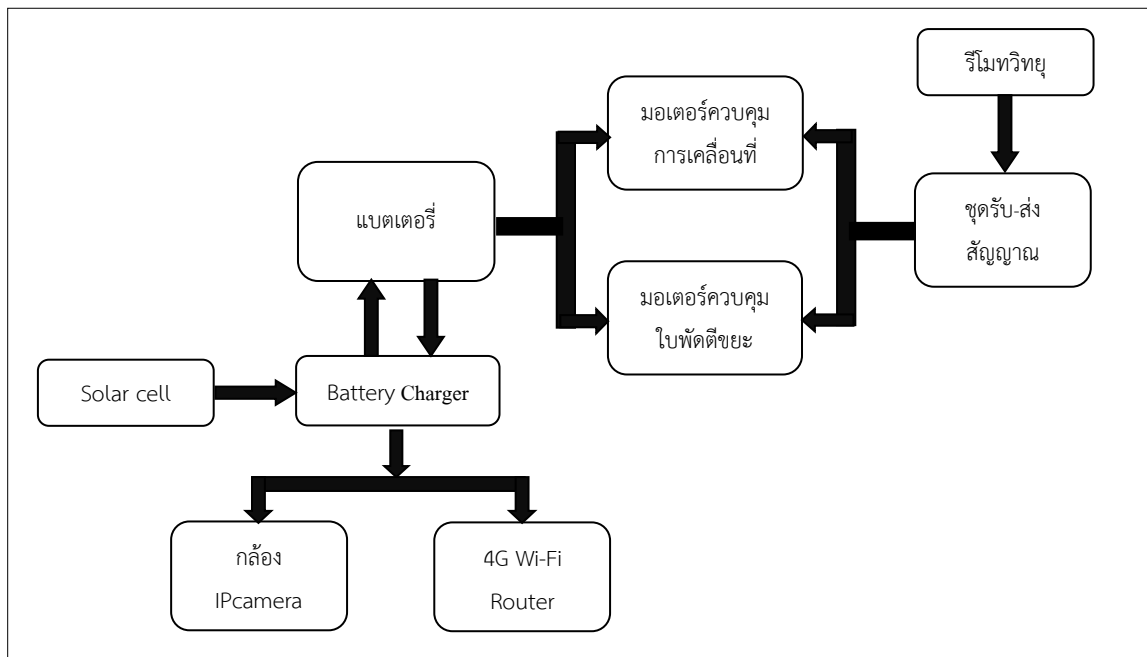
กล้องระบบ IP Camera มีความละเอียดกล้อง 2.0 MP โดยใช้แหล่งจ่าย 5 Vdc 4.75 W ต่อจาก Port USB 5 V ของแบตเตอรี่ชาร์จเจอร์ และยังสามารถหมุนกล้องได้ 350 องศาเซลเซียส รองรับการเชื่อมต่อแบบไร้สาย ที่ความถี่ 2.4 GHz โดยจะใช้ 4G Pocket Wi-Fi ที่ความถี่ 2.4 GHz เช่นเดียวกันทำการปล่อยสัญญาณ Wi-Fi ให้เชื่อมต่อกับตัวกล้อง และใช้สมาร์ทโฟนเปิดแอปพลิเคชัน EYE4 ดูกล้องแบบเรียลไทม์ เพื่อดูขยะที่อยู่รอบ ๆ หรือหน้าเรือเก็บขยะ ในกรณีที่เราอยู่ห่างจากเรือในระยะไกล ๆ ได้



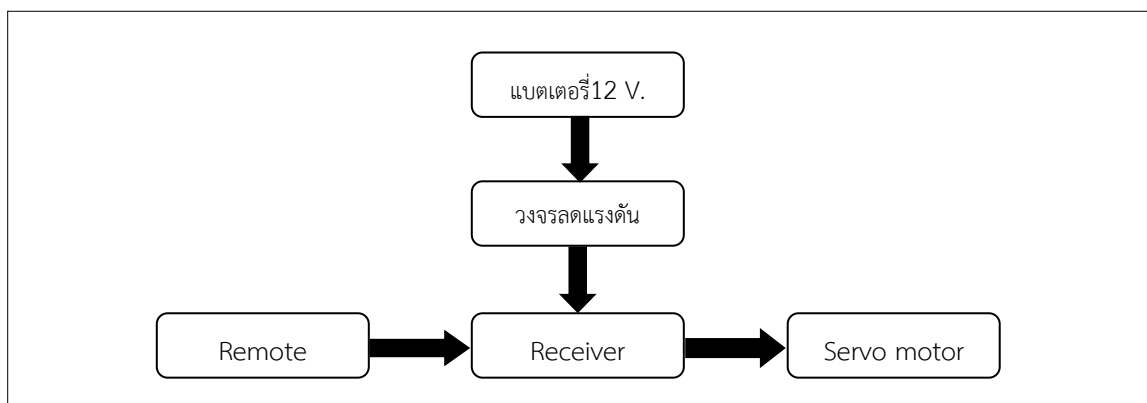
รูปที่ 8 วงจรการทำงานของระบบกล้องระบบ IP Camera

1.6 การควบคุมการทำงานของเรือเก็บขยะพลังงานแสงอาทิตย์

การทำงาน คือ เรือจะรับพลังงานแสงอาทิตย์จากโซลาร์เซลล์ที่มีแรงดัน 12 Vdc (Solar Quotation, 2017) มาเก็บไว้ที่แบตเตอรี่ โดยผ่านวงจรชาร์จแบตเตอรี่ จากนั้นแบตเตอรี่จะจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่มอเตอร์ควบคุมการเคลื่อนที่ และมอเตอร์ใบพัดตีขยะ โดยใช้โมทิวทียู บังคับเป็นตัวส่งสัญญาณออกมายังชุดรับ-ส่งสัญญาณ จากนั้นชุดรับ-ส่งสัญญาณจะส่งให้ เซอร์โวมอเตอร์ไปดันไมโครสวิตช์ เพื่อสั่งงานให้มอเตอร์เคลื่อนที่และมอเตอร์ใบพัดตีขยะทำงาน

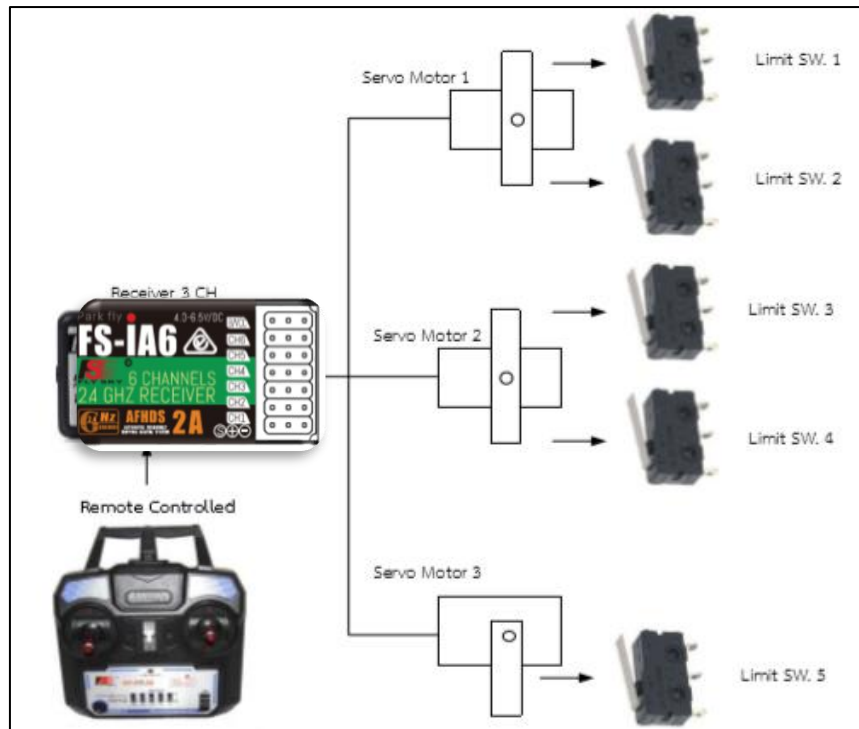


รูปที่ 9 การทำงานในการควบคุมเรือเก็บขยะพลังงานแสงอาทิตย์

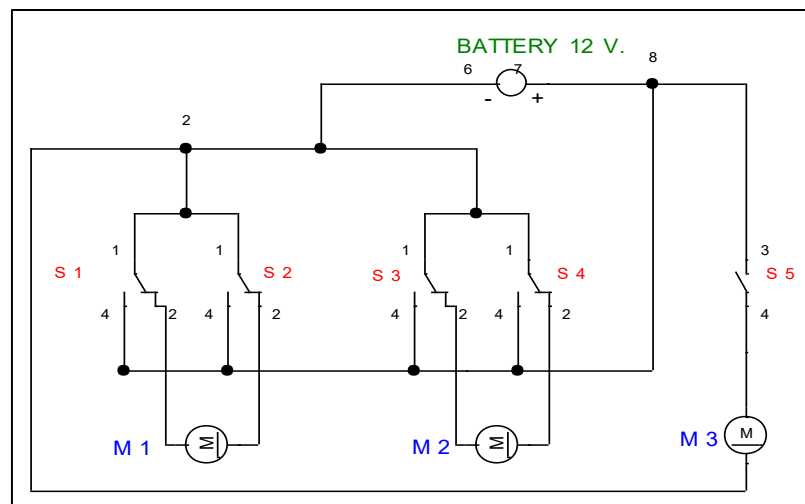


รูปที่ 10 หลักการทำงานของรีโมทควบคุมเรือ

หลักการทำงานของรีโมทควบคุมเรือ คือ เมื่อจะสั่งการสั่งให้ Receiver ทำงานต้องทำการสั่งจากรีโมทบังคับที่ใช้คลื่นความถี่ที่ 2.40-2.47 GHz ทำการเลื่อนคันโยกไปยังทิศทางที่ต้องการ รีโมทจะส่งสัญญาณไปยัง Receiver โดยที่ Receiver จะรับไฟ 5 V โดยผ่านแบตเตอรี่ 12 V และแปลงไฟให้เป็น 5 V จากวงจรลดแรงดัน และต่อจากนั้น Receiver จะสั่งให้เซอร์โวมอเตอร์ทำงานไปแต่ละไมโครสวิทช์ทำให้ออเตอร์ทำงานต่อไป



รูปที่ 11 วงจรการทำงานของรีโมทควบคุมเรืออย่างง่าย



รูปที่ 12 วงจรควบคุมการทำงาน

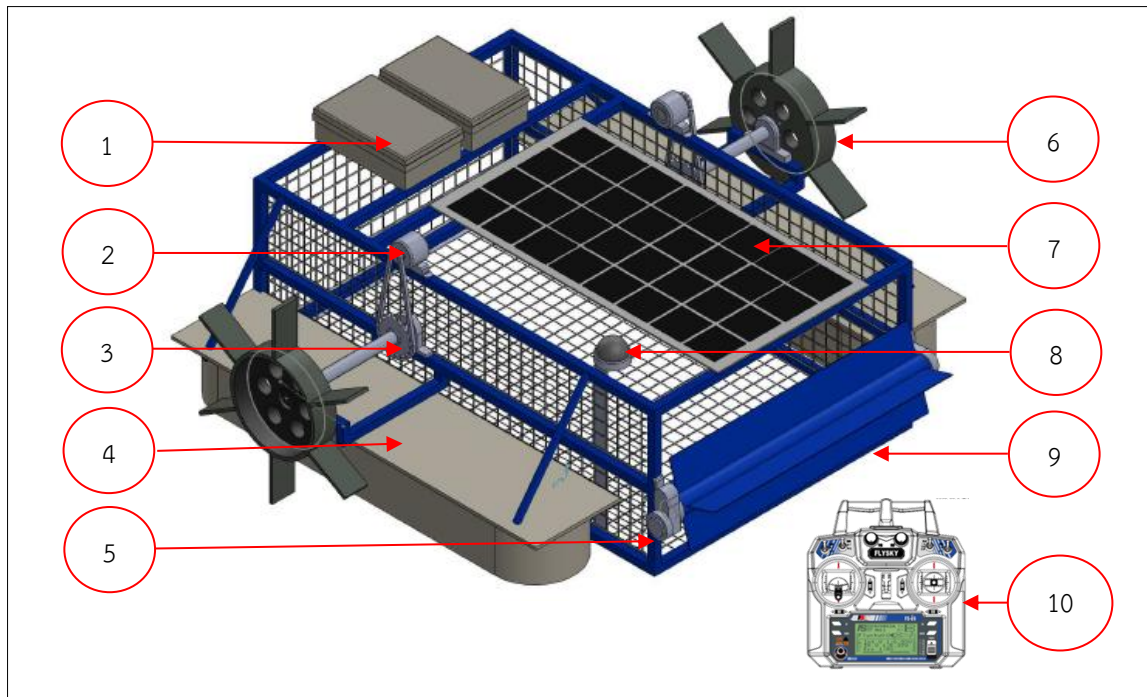
วงจรควบคุมการทำงานจะใช้แหล่งจ่าย 12 Vdc จากแบตเตอรี่ควบคุมการทำงานของมอเตอร์ M1 M2 และ M3 โดยใช้ไมโครสวิตช์ตัดต่อการทำงาน (ใช้ตัว S1-S5) เป็นตัวตัดต่อจ่ายพลังงานให้กับมอเตอร์ M1 M2 และ M3 โดย

S1 และ S2 ควบคุมการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้ M1 ที่เป็นมอเตอร์ใบพัดด้านซ้ายทำงาน

S3 และ S4 ควบคุมการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้ M2 ที่เป็นมอเตอร์ใบพัดด้านขวาทำงาน

S5 ควบคุมการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้ M3 ที่เป็นมอเตอร์ใบพัดติชยะทำงาน

1.7 โครงสร้างและส่วนประกอบของเรือเก็บขยะพลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 13 ส่วนประกอบของเรือเก็บขยะพลังงานแสงอาทิตย์

1. กล่องเก็บแบตเตอรี่และแผงวงจรควบคุมเรือเก็บขยะ
2. มอเตอร์เกียร์ 24 Vdc 250 W ใช้ขับใบพัดตึน้ำสำหรับขับเคลื่อนเรือเก็บขยะบนน้ำ
3. ชุดเฟืองขับขนาด 40 X 36 โดยเฟืองขับจะเชื่อมต่อกับเพลลาของใบพัดตึน้ำมอเตอร์เกียร์โดยเชื่อมต่อด้านโซ่เบอร์ 40-12
4. ทุ่นลอยน้ำ ใช้ทำหน้าที่พยุงตัวเรือให้ลอยอยู่บนน้ำได้โดยที่ไม่ทำให้เรือจมลงเมื่อเรือเคลื่อนที่
5. มอเตอร์เกียร์ 12 Vdc ทำหน้าที่ขับให้ใบพัดติชยะหมุนพาขยะที่ลอยอยู่บนน้ำเข้ามา
6. ใบพัดตึน้ำแบบ No.1 No. 2 แบบ 6 ใบขนาด 620 x 185 มิลลิเมตร ทำหน้าที่ตึน้ำให้เรือเคลื่อนที่ไปยังทิศทางที่ต้องการ เช่น ด้านหน้าและด้านหลัง

7. แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 100 W 5.5 Amp 18 Vdc ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า
8. กล้อง IP Camera สำหรับมอนิเตอร์ดูขยะบริเวณหน้าเรือ สามารถหมุนได้รอบตัว 360 องศาเซลเซียส
9. ใบพัดตีขยะทำหน้าที่หมุนตีขยะที่ลอยอยู่บนน้ำเข้ามาเก็บไว้ในเรือ โดยใช้มอเตอร์เกียร์ต่อกับใบพัดตีขยะ
10. รีโมทควบคุมเรือ ใช้ควบคุมเรือให้ไปในทิศทางที่ต้องการและสั่งงานเก็บขยะเข้าในเรือ



รูปที่ 14 เรือเก็บขยะพลังงานแสงอาทิตย์

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

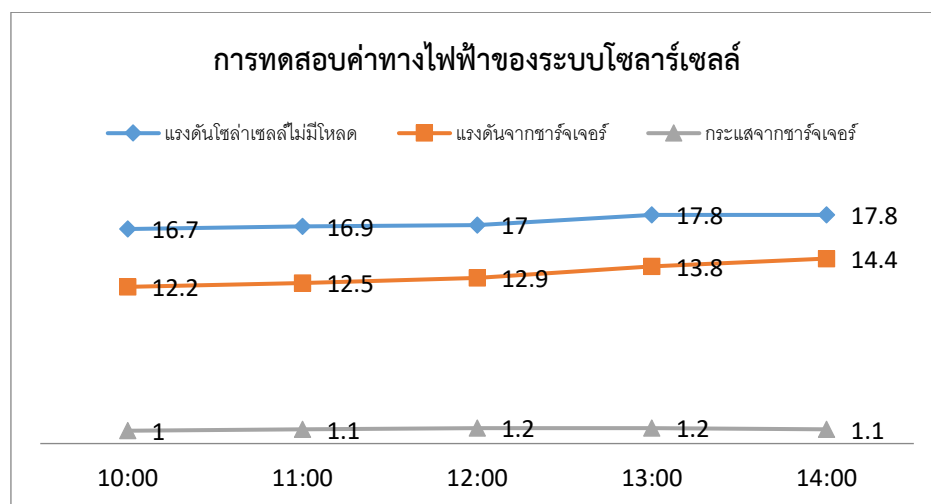
1. ทดสอบค่าทางไฟฟ้าของระบบโซลาร์เซลล์

การทดสอบการชาร์จแบตเตอรี่ โดยโซลาร์เซลล์จะเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าออกมา จากนั้นเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ที่ต่ออยู่กับแผงโซลาร์เซลล์จะชาร์จแบตเตอรี่โดยจะจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ในการเก็บประจุเพื่อนำไปใช้งานต่อไป

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบค่าทางไฟฟ้าของระบบโซลาร์เซลล์

เวลา	แรงดันจาก โซลาร์เซลล์ไม่มี โหลด (V)	แรงดัน (V) และกระแส (A) จากเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ ขณะมีโหลด	
		(V)	(A)
10:00	16.7	12.2	1.0
11:00	16.9	12.5	1.1
12:00	17.0	12.9	1.1
13:00	17.8	13.8	1.2
14:00	17.9	14.4	1.2

ผลทดสอบค่าทางไฟฟ้าของระบบโซลาร์เซลล์เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ในแต่ละช่วงเวลา ขณะสถานะไม่มีโหลดและโหลดเต็มพิกัด สามารถนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงดันขณะสถานะไม่มีโหลด และแรงดัน (V) และกระแส (A) จากชาร์จเจอร์ได้ ดังนี้



รูปที่ 15 ความสัมพันธ์ในการทดสอบค่าทางไฟฟ้าของระบบโซลาร์เซลล์

เป็นผลทดลองการวัดหาค่าแรงดันไฟฟ้า (V) ขณะที่มีโซลาร์เซลล์ไม่ได้ต่อโหลด และขณะต่อโหลดจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ ณ ขณะเวลาใด ๆ ค่าแรงดันไฟฟ้าที่มีค่าสูงนั้นจะอยู่ในช่วงเวลาตั้งแต่ 12:00-14:00 น. ในช่วงเวลานี้โซลาร์เซลล์แสงอาทิตย์จะได้รับแสงมากที่สุด

จึงทำให้โซลาร์เซลล์มีประสิทธิภาพสูงสามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้ดีในช่วงเวลานี้ จากผลการทดลองจะเห็นว่าแสงมากจะทำให้แรงดันไฟฟ้ามีค่ามาก กระแสไฟฟ้าก็จะมีค่ามากเช่นเดียวกัน

2. การทดสอบระยะทางในการควบคุมเรือจากรีโมทคอนโทรล

การทดสอบหาระยะทางในการควบคุมเรือจากรีโมทคอนโทรล เพื่อหาระยะที่ไม่สามารถควบคุมเรือเก็บขยะได้ว่าอยู่ที่ระยะใด และเมื่อไม่สามารถควบคุมเรือได้ส่งผลอย่างไรกับเรือเก็บขยะและที่รีโมทคอนโทรล โดยทดสอบด้วยการนำเรือตั้งไว้ที่โล่งแจ้ง แล้วส่งงานรีโมทคอนโทรลทดสอบที่ระยะ 20 40 60 80 100 และ 120 เมตร แล้วสังเกตการทำงานว่ายังสามารถส่งงานเรือเก็บขยะได้ตามปกติหรือไม่

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบระยะทางในการควบคุมเรือจากรีโมทคอนโทรล

ระยะทาง (เมตร)	การทำงาน
20	สั่งงานได้
40	สั่งงานได้
60	สั่งงานได้
80	สั่งงานได้
100	สั่งงานได้
110	สั่งงานได้
120	ได้บ้างไม่ได้บ้าง
130	สั่งงานไม่ได้เลย

จากการทดสอบหาระยะทางในการควบคุมเรือจากรีโมทคอนโทรล พบว่าที่ระยะทาง 20-110 เมตร เรือเก็บขยะสามารถสั่งงานมอเตอร์ได้ทุกตัวผ่านรีโมทได้ตามปกติ เมื่อถึงระยะทาง 120 เมตร เริ่มสั่งงานมอเตอร์ได้บ้าง ไม่ได้บ้าง และที่ระยะ 130 เมตรไม่สามารถสั่งงานมอเตอร์จากรีโมทได้เลย

3. การทดลองการเก็บขยะของเรือเก็บขยะพลังงานแสงอาทิตย์ในน้ำ

1. นำขวดน้ำขนาด 600 มิลลิลิตร และ 1,500 มิลลิลิตร ชั่งน้ำหนักจำนวน 3 กิโลกรัม
2. นำขยะที่เตรียมไว้เทลงในแหล่งน้ำ ลำคลอง
3. ควบคุมเรือไปยังจุดที่มีขยะ
4. สั่งงานให้ใบพัดตีขยะเข้ามาในเรือ
5. จับเวลาในการเก็บขยะ

ตารางที่ 3 ผลการทดลองการเก็บขยะของเรือเก็บขยะพลังงานแสงอาทิตย์ในน้ำ

ครั้งที่	เวลาที่ใช้ (นาท)
1	36
2	31
3	29

จากการทดลองการเก็บขยะของเรือเก็บขยะ โดยในการทดลองนั้นได้ใช้เรือเก็บขยะควบคุมเรือผ่านรีโมทคอนโทรลเก็บขวดน้ำขนาด 600 มิลลิลิตร และ 1,500 มิลลิลิตร จำนวน 3 กิโลกรัม ทั้ง 3 ครั้ง สามารถคำนวณเวลาเฉลี่ยในการเก็บขยะจำนวน 3 กิโลกรัม ได้ดังนี้

$$\frac{36+31+29}{3} = 32 \text{ นาท} \quad (3)$$

ดังนั้น เรือเก็บขยะพลังงานแสงอาทิตย์ควบคุมการทำงานด้วยรีโมทคอนโทรลในเวลา 32 นาท เรือเก็บขยะสามารถเก็บขยะที่เป็นขวดน้ำได้จำนวน 3 กิโลกรัม

สรุปผล

จากการทดลองเรือเก็บขยะพลังงานแสงอาทิตย์ สรุปผลการทดลองได้ดังนี้ ในการทดสอบระบบโซลาร์เซลล์นั้น แผงโซลาร์เซลล์จะทำงานได้ดีในช่วงเวลาตั้งแต่ 12:00-14:00 น. ในช่วงเวลานี้โซลาร์เซลล์แสงอาทิตย์จะได้รับแสงมากที่สุด จึงทำให้โซลาร์เซลล์มีประสิทธิภาพสูงสามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้ดีในช่วงเวลานี้ จึงสรุปได้ว่า แสงมากจะทำให้แรงดันไฟฟ้ามีค่ามาก กระแสไฟฟ้าก็จะมีค่ามากเช่นเดียวกัน และมีผลให้เรือเก็บขยะสามารถทำงานได้จริง 55 นาท และสามารถควบคุมเรือเก็บขยะด้วยรีโมทคอนโทรลได้ดีในระยะ 0-110 เมตร

ในการทดลองเก็บขยะของเรือเก็บขยะพลังงานแสงอาทิตย์ในระยะเวลา 32 นาท เรือเก็บขยะสามารถเก็บขยะที่เป็นขวดน้ำได้จำนวน 3 กิโลกรัม

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในงานวิจัยครั้งนี้

การนำเรือเก็บขยะพลังงานแสงอาทิตย์ออกไปใช้งานควรคำนึงถึงช่วงเวลาที่มืดมาก ๆ หรือเลี่ยงการใช้งานช่วงที่อากาศมีดเค็ม เพราะจะทำให้แผงโซลาร์เซลล์ทำงานไม่เต็มประสิทธิภาพ ควรตรวจสอบสภาพเครื่องก่อนใช้งานว่าอุปกรณ์ทุกอย่างปลอดภัยและพร้อมที่จะใช้งานหรือไม่ และควรทำความสะอาดเครื่องทุกครั้งหลังใช้งานเสร็จแล้ว

2. ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในครั้งต่อไป

ควรเพิ่มระบบควบคุมด้วยปัญญาประดิษฐ์ (AI) ในการตรวจจับจับหาขยะ และใช้สัญญาณจากสมิโตร์ศัพทในการสั่งการ

เอกสารอ้างอิง

- กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. (2560). รายงานประจำปี 2559 กรมควบคุมมลพิษ. จาก <http://www.anamai.moph.go.th/th>
- จักรกฤษณ์ เคลือบวัง, เกียรติศักดิ์ พูลมณี และธงชัย เหล่าเขตกิจ. (2557). การพัฒนาต้นแบบเรือเก็บขยะลอยน้ำพลังงานแสงอาทิตย์. โครงการยกระดับปริญญานิพนธ์เป็นงานวิจัยตีพิมพ์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา.
- ประภาภรณ์ เพชรสม, อิสระพงศ์ พูลสุข และประกาศิต ตันตือลงการ. (2559). การศึกษาเรือเก็บขยะควบคุมแบบไร้สาย. *SNRU Journal of Science and Technology*, 8(3), 309-318.
- Duffie, A. & Beckman, A. (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes*. (4th ed). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- Solar Quotation. (2017). *Types of solar panels for homes*. from <https://www.solarquotation.com.au/types-of-solar-panels-for-homes/>

การเปรียบเทียบการใช้หม้อแปลงแบบรวมและแบบแยก ในระบบโซลาร์เซลล์สำหรับอาคารเดียวกัน

ศุภวุฒิ เนตรโพธิ์แก้ว¹ ศุภณัฐ อัยกัม^{2*} และณัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ³

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของการเลือกโครงสร้างหม้อแปลงไฟฟ้า ในอาคารที่ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ โดยเปรียบเทียบระหว่าง หม้อแปลงแบบรวม และหม้อแปลงแบบแยก ในอาคารทั่วไปการติดตั้งมีกรรมโหลดทั้งหมดผ่านหม้อแปลงเพียงลูกเดียว ทำให้เกิดความสูญเสียเพิ่มขึ้นและเพิ่มความเสี่ยงต่อความต่อเนื่องของระบบ การวิเคราะห์ ประกอบด้วย 1) การส่งผ่านพลังงาน 2) ความสูญเสียในสายและหม้อแปลง 3) ความต่อเนื่องของ โหลด และ 4) ต้นทุนระบบรวม โดยใช้การคำนวณตามหลักวิศวกรรมไฟฟ้า 3 สมการ ได้แก่ สมการ ประสิทธิภาพหม้อแปลง สมการกระแสและความสูญเสียในสาย และสมการประมาณต้นทุนระบบ ผลการศึกษาพบว่า หม้อแปลงแบบรวม ให้ประสิทธิภาพด้านพลังงานและต้นทุนที่ดีกว่า ขณะที่ หม้อแปลงแบบแยก ให้ความต่อเนื่องของระบบสูงกว่า เหมาะกับอาคารที่มีโหลดสำคัญ เช่น โรงพยาบาลหรือศูนย์ข้อมูล นอกจากนี้ หม้อแปลงแบบแยกสามารถรองรับการติดตั้งระบบกักเก็บ พลังงานและระบบโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะในอนาคตได้ดีกว่า เนื่องจากสามารถควบคุมทิศทาง พลังงานและแยกส่วนระบบได้อย่างอิสระ งานวิจัยนี้จึงเสนอแนวทางการเลือกใช้หม้อแปลง ให้เหมาะสมกับประเภทอาคาร เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพพลังงาน ลดความเสี่ยง และเตรียมความพร้อม สำหรับระบบพลังงานอัจฉริยะในอนาคต

คำสำคัญ: ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ หม้อแปลงไฟฟ้า ความสูญเสียพลังงาน
ความต่อเนื่องของโหลด ระบบสำรองพลังงาน

^{1,2,3} สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

* ผู้ประสานงานหลัก e-mail: SUPANUT-OU@rmutp.ac.th

วันที่รับบทความ 10 ธันวาคม 2568

วันที่แก้ไขบทความ 26 ธันวาคม 2568

วันที่ตอบรับบทความ 28 ธันวาคม 2568

Comparison of Shared and Separate Transformer Designs in Building Solar PV Systems

Supawud Netpokaew¹ Supanut Ouikim^{2*} and Nattachote Rakthaicharoenchiep³

ABSTRACT

This study aimed to analyze the impact of transformer configuration on buildings equipped with solar photovoltaic (PV) systems by comparing two approaches: the shared transformer configuration and the separate transformer configuration. In many practical building installations, all electrical loads and PV generation are routed through a single transformer, which can result in increased energy losses and a higher risk of service interruption. The analysis focused on four key engineering aspects: 1) energy delivery to the load, 2) line and transformer loss analysis, 3) load continuity and system reliability, and 4) total system cost. The evaluation was conducted using fundamental electrical engineering principles, including the transformer efficiency equation, the current loss relationship in distribution lines, and a total system cost estimation model. The results indicated that the shared transformer configuration provided superior energy efficiency and lower overall system cost. While the separate transformer configuration ensured higher system continuity and reliability, making it more suitable for buildings with critical loads such as hospitals and data centers. Moreover, the separate transformer configuration provided greater flexibility for future integration of energy storage systems (ESS) and smart grid functionalities through independent power-flow

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

* Corresponding author e-mail: SUPANUT-OU@rmutp.ac.th

Received: Dec 10, 2025

Revised: Dec 26, 2025

Accepted: Dec 28, 2025

control. Therefore, this study provided practical guidelines for selecting appropriate transformer configurations based on building type in order to enhance energy efficiency, reduce operational risk, and improve readiness for future intelligent energy systems.

Keywords: solar photovoltaic system, distribution transformer, energy losses, load continuity, backup power system.

บทนำ

ในปัจจุบัน ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (solar photovoltaic) ได้รับการติดตั้งอย่างแพร่หลายในอาคารประเภทต่าง ๆ ทั้งอาคารพาณิชย์ อาคารเรียน หน่วยงานราชการ และอาคารอุตสาหกรรม ด้วยเหตุผลด้านการประหยัดพลังงานและการลดการพึ่งพาโครงข่ายไฟฟ้าจากภายนอก อย่างไรก็ตาม การเชื่อมต่อระบบโซลาร์เซลล์เข้ากับระบบไฟฟ้าภายในอาคารจำเป็นต้องออกแบบให้มีความเหมาะสม โดยเฉพาะในส่วนของ หม้อแปลงไฟฟ้า (distribution transformer) ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการรับจ่ายพลังงานระหว่างโครงข่าย การไฟฟ้า ระบบโซลาร์ และโหลดภายในอาคาร จากการสำรวจปัญหาที่เกิดขึ้นจริงในหลายอาคาร พบว่าอาคารส่วนใหญ่ยังใช้ หม้อแปลงแบบร่วม (shared transformer) เพียงลูกเดียวรองรับทั้งโหลดปกติและพลังงานจากโซลาร์ ทำให้เกิดข้อจำกัดหลายประการ เช่น ความสูญเสียในสายเพิ่มขึ้น การไหลย้อนพลังงานที่ควบคุมได้ยาก และมีจุดเสี่ยงเพียงจุดเดียวที่อาจทำให้โหลดทั้งหมดดับลงเมื่อหม้อแปลงขัดข้อง นอกจากนี้ อาคารที่มีความสำคัญสูง เช่น ศูนย์ข้อมูล โรงพยาบาล หรืออาคารที่ต้องการความต่อเนื่องของระบบไฟฟ้า ยังจำเป็นต้องมีโครงสร้างระบบที่รองรับการแยกภาระโหลดเพื่อเพิ่มความมั่นคงของระบบในทางวิศวกรรม การเพิ่มหม้อแปลงอีกหนึ่งลูกเพื่อแยกภาระโหลดของระบบโซลาร์ออกจากโหลดปกติ หรือที่เรียกว่า หม้อแปลงแบบแยก (separate transformer) เป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มความต่อเนื่องของระบบ และสนับสนุนการขยายไปสู่ระบบกักเก็บพลังงาน (energy storage system) หรือระบบโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ (smart grid) ในอนาคตได้ดีกว่า อย่างไรก็ตามยังไม่มีงานวิจัยเชิงเปรียบเทียบที่ชัดเจนสำหรับอาคารเดี่ยวที่ใช้พลังงานจริงในสภาวะการใช้งานปกติ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาการเปรียบเทียบระหว่างหม้อแปลงแบบร่วม และหม้อแปลงแบบแยก ในอาคารหลังเดียวกัน โดยวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงวิศวกรรม 4 ด้าน ได้แก่ 1) การส่งผ่านพลังงาน (energy delivery) 2) ความสูญเสียในสายและหม้อแปลง (loss analysis) 3) ความต่อเนื่องของโหลด (continuity /reliability) และ 4) ต้นทุนรวมของระบบ (total cost) ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้ จะช่วยสนับสนุนการตัดสินใจเลือกโครงสร้างระบบหม้อแปลงที่เหมาะสมกับประเภทอาคาร เพิ่มประสิทธิภาพ

การใช้พลังงาน ลดความเสี่ยงเชิงระบบ และเตรียมความพร้อมสำหรับการเปลี่ยนผ่านไปสู่ระบบพลังงานอัจฉริยะและอาคารซึ่งสามารถใช้พลังงานไฟฟ้าสุทธิภายในอาคารเป็นศูนย์ (net zero energy building) ในอนาคต

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษานี้ใช้การคำนวณเชิงทฤษฎี (analytical approach) เพื่อเปรียบเทียบโครงสร้างระบบหม้อแปลงสองแบบ ได้แก่ 1) ระบบหม้อแปลงรวม และ 2) ระบบหม้อแปลงแยก สำหรับอาคารสำนักงานขนาดกลางที่ติดตั้งระบบโซลาร์เซลล์บนหลังคา โดยดำเนินการตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. สมมติฐานและพารามิเตอร์หลัก

กำหนดให้กรณีศึกษาเป็นอาคารสำนักงานขนาดกลางที่มีโหลดไฟฟ้าเฉลี่ย 10,000 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อเดือน แบ่งการจ่ายพลังงานจากระบบโซลาร์เซลล์และการไฟฟ้าในอัตรา 50:50 หรือแหล่งละ 5,000 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อเดือน ขนาดหม้อแปลงในช่วง 250–315 กิโลโวลต์-แอมแปร์ ซึ่งพบได้ทั่วไปในอาคารราชการและอาคารพาณิชย์ ค่าพารามิเตอร์หลักที่ใช้ในการคำนวณแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าฐานสำหรับคำนวณพลังงานที่ส่งถึงโหลด ความสูญเสียในสาย และต้นทุนระบบเบื้องต้นของหม้อแปลงทั้งสองรูปแบบ

รายการ	ค่า	หน่วย
โหลดเฉลี่ยของอาคาร	10,000	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อเดือน
พลังงานจากโซลาร์เซลล์	5,000	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อเดือน
พลังงานจากการไฟฟ้า	5,000	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อเดือน
ขนาดหม้อแปลง	250–315	กิโลโวลต์-แอมแปร์
ประสิทธิภาพหม้อแปลง ($\eta_{\text{Transformer}}$)	ร้อยละ 98	–
ประสิทธิภาพสายส่ง (η_{line})	ร้อยละ 97 (แบบรวม) ร้อยละ 94 (แบบแยก)	–
ระยะสายส่ง (เฉพาะระบบแยก)	30	เมตร

รายการ	ค่า	หน่วย
ความต้านทานสายส่ง (R line)	0.15	Ω
ตัวประกอบกำลัง (power factor, pf)	0.95	–
reliability index (SAIFI/SAIDI)	ใช้ค่าเปรียบเทียบกับเชิงคุณภาพ	–

นอกจากการกำหนดค่าโหลดเฉลี่ยรายเดือนเพื่อใช้เป็นฐานการคำนวณ งานวิจัยนี้ได้กำหนดโปรไฟล์โหลดรายวัน (daily load profile) ของอาคารกรณีศึกษาเพื่อสะท้อนรูปแบบการใช้งานจริง โดยแบ่งช่วงเวลาเป็น off-peak และ peak ตามลักษณะอาคารสำนักงาน โดยช่วงทำงาน 09:00–16:00 น. เป็นช่วง peak ทั้งนี้โปรไฟล์โหลดดังกล่าวใช้ประกอบการตีความผลลัพธ์ด้านความสูญเสียและความต่อเนื่องของโหลด รายละเอียดแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 โปรไฟล์โหลดรายวันของอาคารกรณีศึกษา (peak/off-peak)

ช่วงเวลา	ลักษณะการใช้งานอาคาร	สัดส่วน พลังงานต่อวัน (ร้อยละ)	พลังงาน (กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน)	กำลังเฉลี่ย (กิโลวัตต์)
00:00–06:00 น.	โหลดพื้นฐาน (ระบบรักษาความปลอดภัย/ แสงสว่างบางส่วน)	15	50.0	8.3
06:00–09:00 น.	เริ่มทำงาน/ระบบปรับ อากาศเริ่มทำงาน	15	50.0	16.7
09:00–16:00 น.	ช่วง peak (ทำงานเต็มรูปแบบ)	45	150.0	21.4
16:00–20:00 น.	ช่วงเลิกงาน/โหลดลดลงแต่ ยังมีแอร์บางส่วน	20	66.7	16.7
20:00–24:00 น.	โหลดพื้นฐาน (ปิดพื้นที่ส่วนใหญ่)	5	16.7	4.2
รวม	–	100	333.3	–

คำนวณจาก 10,000 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อเดือน $\approx$ 333.3 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน (สมมติ 30 วันต่อเดือน) กำลังเฉลี่ย $\approx$ พลังงานช่วงนั้น (กิโลวัตต์-ชั่วโมง) ต่อจำนวนชั่วโมง

2. การออกแบบระบบโซลาร์เซลล์

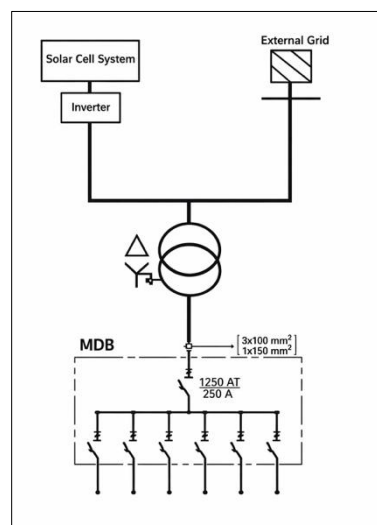
กำหนดให้ระบบโซลาร์เซลล์มีขนาดผลิตไฟฟ้าเฉลี่ย 5,000 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อเดือน ติดตั้งแบบเชื่อมต่อกับระบบ (grid-connected) ใช้อินเวอร์เตอร์ที่มีประสิทธิภาพร้อยละ 96 และเชื่อมต่อเข้าระบบไฟฟ้าภายในอาคารผ่านตู้เมนจ่ายไฟหลักสำหรับการออกแบบระบบโซลาร์ ยึดตามหลักเกณฑ์มาตรฐานสากล (Masters, 2013) และมาตรฐานการเชื่อมต่อแหล่งผลิตกระจาย ระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เข้ากับระบบจำหน่าย (IEEE, 2018)

3. โครงสร้างการเชื่อมต่อหม้อแปลง

การเชื่อมต่อระหว่างระบบโซลาร์ การไฟฟ้า และโหลดภายในอาคาร แบ่งออกเป็น 2 แนวทาง ดังนี้

3.1 ระบบหม้อแปลงรวม

ระบบนี้ใช้หม้อแปลงเพียงลูกเดียวในการรับพลังงานจากการไฟฟ้าและโซลาร์ก่อนจ่ายเข้าสู่ตู้เมนจ่ายไฟหลักของอาคาร ทำให้โครงสร้างระบบเรียบง่ายและมีต้นทุนเริ่มต้นต่ำ แต่มีจุดล้มเหลวเดียว (single point of failure) แผนผังสายเดียวของระบบหม้อแปลงรวม แสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ไดอะแกรมเส้นเดียวของระบบหม้อแปลงรวม

3.2 ระบบหม้อแปลงแยก

ระบบนี้แยกหม้อแปลงของโซลาร์เซลล์ออกจากหม้อแปลงของการไฟฟ้า โดยทั้งสองส่วนรวมเข้าที่ตู้เมนจ่ายไฟหลักของอาคารในภายหลัง ข้อดีคือสามารถแยกโซนโหลดและสลับจ่ายบางส่วนได้เมื่อเกิดความขัดข้อง ทำให้ความต่อเนื่องของระบบสูงขึ้น รองรับการต่อระบบกักเก็บ

R_{line}	คือ ความต้านทานสาย (Ω)
C_{tr}	คือ ต้นทุนหม้อแปลง
C_{pv}	คือ ต้นทุนระบบโซลาร์
C_{cable}	คือ ต้นทุนสายไฟ
$C_{control}$	คือ ต้นทุนอุปกรณ์ควบคุม
$C_{install}$	คือ ต้นทุนค่าติดตั้ง

จากสมการ (1)–(3) สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งด้านประสิทธิภาพพลังงาน ความสูญเสีย และต้นทุนของแต่ละโครงสร้างหม้อแปลง เพื่อเปรียบเทียบเชิงวิศวกรรมอย่างเป็นระบบ

5. การพิจารณาปัจจัยเพิ่มเติม

เพื่อให้การวิเคราะห์ครอบคลุมมากขึ้น งานวิจัยนี้ได้พิจารณาพารามิเตอร์เสริม 3 รายการ ได้แก่ ประสิทธิภาพหม้อแปลง ตัวประกอบกำลัง และความเชื่อถือได้ของระบบ (SAIFI/SAIDI) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

5.1 ประสิทธิภาพหม้อแปลง (transformer efficiency)

กำหนดค่าฐานของประสิทธิภาพหม้อแปลงเป็น $\eta_{Transformer}$ เท่ากับร้อยละ 98 ทั้งสำหรับระบบหม้อแปลงรวมและระบบหม้อแปลงแยก จากนั้นทำการทดสอบความไว (sensitivity analysis) ในช่วงร้อยละ 97–99 เพื่อตรวจสอบผลกระทบต่อพลังงานที่ส่งถึงโหลด $E_{delivered}$ ตามสมการ (1)

5.2 ตัวประกอบกำลัง

ใช้ความสัมพันธ์ของระบบสามเฟสในการคำนวณกระแสไลน์เพื่อนำไปประเมินความสูญเสียในสาย ตามสมการ (2) โดยกำหนด

$$S = \sqrt{3} V_{LL} I_{line}, P = S \cdot pf \quad (4)$$

และ

$$I_{line} = \frac{P}{\sqrt{3} V_{LL} pf} \quad (5)$$

จากนั้นคำนวณความสูญเสียในสายด้วย

$$P_{loss} = I_{line}^2 R_{line} \quad (6)$$

ในกรณีฐานกำหนด $pf = 0.95$ และอภิปรายผลเพิ่มเติมเมื่อ pf ลดลง

5.3 วิธีประเมินความเชื่อถือได้ (reliability assessment: SAIFI/SAIDI)

การประเมินความเชื่อถือได้ในงานวิจัยนี้ใช้ดัชนีมาตรฐาน 2 รายการ ได้แก่ จำนวนครั้งเฉลี่ยที่เกิดไฟดับต่อปี (system average interruption frequency index, SAIFI) และระยะเวลาไฟดับรวมเฉลี่ยต่อปี (system average interruption duration index, SAIDI) เพื่อใช้เปรียบเทียบแนวโน้มความต่อเนื่องของโหลดระหว่างโครงสร้างหม้อแปลงแบบรวมและแบบแยก อย่างไรก็ตามเนื่องจากงานวิจัยนี้ ไม่ได้ใช้สถิติไฟดับภาคสนามจากอาคารจริง จึงกำหนดค่า SAIFI/SAIDI แบบการประเมินเชิงสถานการณ์ (scenario-based estimation) เพื่อใช้เปรียบเทียบในระดับการออกแบบเบื้องต้น โดยยึดหลักว่า ระบบหม้อแปลงร่วมมีลักษณะเป็นจุดล้มเหลวเดี่ยวส่งผลให้ความถี่และระยะเวลาไฟดับที่กระทบโหลดรวมมีแนวโน้มสูงกว่า ระบบหม้อแปลงแยกสามารถแยกโซน/สลับจ่ายโหลดสำคัญได้บางส่วน จึงมีแนวโน้มลดความถี่และระยะเวลาไฟดับโดยเฉลี่ย ค่าประเมินเชิงเปรียบเทียบแสดงใน ตารางที่ 3 ค่าตัวชี้วัดเหล่านี้จะถูกนำไปใช้ประกอบการให้คะแนนเชิงคุณภาพในหัวข้อผลการวิจัย

ตารางที่ 3 ค่าประเมิน SAIFI/SAIDI ของระบบหม้อแปลงร่วมและแยก

ระบบ	SAIFI (ครั้งต่อปี)	SAIDI (ชั่วโมงต่อปี)	หมายเหตุ
หม้อแปลงร่วม	2.5	10	จุดล้มเหลวเดี่ยว กระทบโหลดทั้งหมด
หม้อแปลงแยก	1.0	4	แยกโซน/สลับจ่ายโหลด สำคัญได้บางส่วน

6. การตรวจสอบความสอดคล้องด้วยการจำลอง (simulation validation)

เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของผลการวิเคราะห์เชิงทฤษฎี งานวิจัยนี้ได้ทำการตรวจสอบความสอดคล้องของผลลัพธ์ (validation) โดยเปรียบเทียบผลการคำนวณเชิงวิเคราะห์ (analytical results) กับผลที่ได้จากการแทนพฤติกรรมของระบบไฟฟ้าในระดับโครงสร้าง (system-level representation) ซึ่งเป็นแนวทางที่ใช้กันทั่วไปในการศึกษาระบบจ่ายไฟฟ้าในอาคารที่มีการบูรณาการระบบโซลาร์เซลล์

6.1 เครื่องมือและแนวคิดการจำลองระบบ

การตรวจสอบความสอดคล้องอาศัยแนวคิดของแบบจำลองระบบจ่ายไฟฟ้า (power distribution system model) ที่ใช้ในซอฟต์แวร์ด้านระบบไฟฟ้ากำลัง เช่น MATLAB/Simulink

(Simscape electrical) หรือ ETAP โดยในงานวิจัยนี้ใช้การแทนค่าพารามิเตอร์เชิงวิศวกรรม เพื่อสะท้อนพฤติกรรมของระบบจริง แทนการจำลองเชิงเวลาละเอียด (time-domain simulation)

6.2 โครงสร้างแบบจำลองระบบ แบบจำลองแบ่งออกเป็น 2 กรณีศึกษา ได้แก่

1) ระบบหม้อแปลงร่วม ระบบโซลาร์เซลล์และแหล่งจ่ายจากการไฟฟ้าถูกเชื่อมต่อผ่านหม้อแปลงไฟฟ้าร่วมเพียงลูกเดียว ก่อนจ่ายเข้าสู่โหลดทั้งหมดของอาคาร

2) ระบบหม้อแปลงแยก ระบบโซลาร์เซลล์และระบบการไฟฟ้าใช้หม้อแปลงแยกกัน และเชื่อมรวมที่ตู้เมนจ่ายไฟหลักทำให้สามารถแยกโซนโหลดและควบคุมการไหลของพลังงานได้อย่างอิสระ โครงสร้างทั้งสองแบบสอดคล้องกับไดอะแกรมเส้นเดียวที่ แสดงในรูปที่ 1 และรูปที่ 2

6.3 พารามิเตอร์หลักในการจำลอง

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการตรวจสอบความสอดคล้องกำหนดให้สอดคล้องกับสมมติฐานในส่วนการวิเคราะห์เชิงทฤษฎี (ตารางที่ 1) ได้แก่

- 1) โหลดเฉลี่ยของอาคาร: 10,000 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อเดือน
- 2) พลังงานจากโซลาร์เซลล์: 5,000 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อเดือน
- 3) ประสิทธิภาพหม้อแปลง: ร้อยละ 98
- 4) ประสิทธิภาพสายส่ง
 - ระบบหม้อแปลงร่วม: ร้อยละ 97
 - ระบบหม้อแปลงแยก: ร้อยละ 94
- 5) ตัวประกอบกำลัง 0.95

6.4 การเปรียบเทียบผลการคำนวณเชิงวิเคราะห์กับผลการจำลอง

ผลการตรวจสอบพบว่า แนวโน้มของพลังงานที่ส่งถึงโหลดและพลังงานสูญเสียของทั้งสองโครงสร้างมีความสอดคล้องกับผลการคำนวณเชิงทฤษฎี โดยระบบหม้อแปลงร่วมให้พลังงานถึงโหลดสูงกว่าเล็กน้อย ขณะที่ระบบหม้อแปลงแยกมีความสูญเสียรวมสูงกว่า เนื่องจากระยะสายส่งและจำนวนอุปกรณ์ที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 4 การเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการคำนวณเชิงวิเคราะห์และการแทนแบบจำลองเชิงระบบ

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบผลการคำนวณเชิงวิเคราะห์กับแบบจำลองเชิงวิเคราะห์

รายการวิเคราะห์	การคำนวณเชิงวิเคราะห์	แบบจำลองเชิงวิเคราะห์	ค่าคลาดเคลื่อน (ร้อยละ)
พลังงานถึงโหลด – ระบบหม้อแปลงรวม (กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อเดือน)	9,900	9,750	-1.5
พลังงานถึงโหลด – ระบบหม้อแปลงแยก (กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อเดือน)	9,600	9,400	-2.1
พลังงานสูญเสีย – ระบบหม้อแปลงรวม (กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อเดือน)	100	120	+2.0
พลังงานสูญเสีย – ระบบหม้อแปลงแยก (กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อเดือน)	400	420	+5.0

จากตารางที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการคำนวณเชิงวิเคราะห์ และผลจากการแทนแบบจำลองเชิงระบบ ซึ่งพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วงไม่เกินร้อยละ ± 5 แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองเชิงวิเคราะห์สามารถอธิบายพฤติกรรมของระบบได้อย่างเหมาะสม ในระดับการออกแบบเบื้องต้น

6.5 การวิเคราะห์ความไวของพารามิเตอร์ (sensitivity analysis)

เนื่องจากงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการวิเคราะห์เชิงทฤษฎี จึงได้ทำการทดสอบความไวของพารามิเตอร์หลัก เพื่อประเมินความคงทนของผลลัพธ์ โดยพิจารณา 2 กรณีสมมติ ได้แก่

กรณีที่ 1 ประสิทธิภาพหม้อแปลงลดลงจากร้อยละ 98 เป็นร้อยละ 97

กรณีที่ 2 ตัวประกอบกำลังลดลงจาก 0.95 เป็น 0.90

ผลการวิเคราะห์พบว่า ระบบหม้อแปลงแยกมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์มากกว่าระบบหม้อแปลงรวมในด้านพลังงานสูญเสีย ขณะที่ระบบหม้อแปลงรวมได้รับผลกระทบมากกว่าในด้านความต่อเนื่องของโหลดเมื่อเกิดเหตุขัดข้อง ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงข้อดีและข้อจำกัดที่แตกต่างกันของแต่ละโครงสร้าง

6.6 ข้อจำกัดของการศึกษา (limitations)

การศึกษานี้ใช้การคำนวณเชิงทฤษฎีและการแทนค่าพารามิเตอร์ในระดับระบบ โดยไม่ได้ทำการจำลองเชิงเวลาจริง (time-series simulation) หรือใช้ข้อมูลโหลดภาคสนามจากอาคารจริง ดังนั้น ผลลัพธ์จึงเหมาะสำหรับการเปรียบเทียบเชิงแนวโน้มและการออกแบบเบื้องต้น งานวิจัยในอนาคตควรนำข้อมูลโหลดจริงและการจำลองเชิงเวลาเข้ามาใช้ เพื่อเพิ่มความแม่นยำและสะท้อนพฤติกรรมการใช้งานจริงมากยิ่งขึ้น

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การวิเคราะห์เปรียบเทียบระบบหม้อแปลงร่วมและหม้อแปลงแยก ทำภายใต้สมมติฐานว่าอาคารมีโหลดเฉลี่ย 10,000 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อเดือน โดยพิจารณา 4 ประเด็นหลัก ได้แก่ การกระจายพลังงาน ความสูญเสีย ความต่อเนื่องของโหลด และต้นทุนเบื้องต้น

1. การกระจายพลังงาน

จากสมการ (1) เมื่อกำหนดพลังงานจากโซลาร์และการไฟฟ้าแหล่งละ 5,000 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อเดือน พบว่า

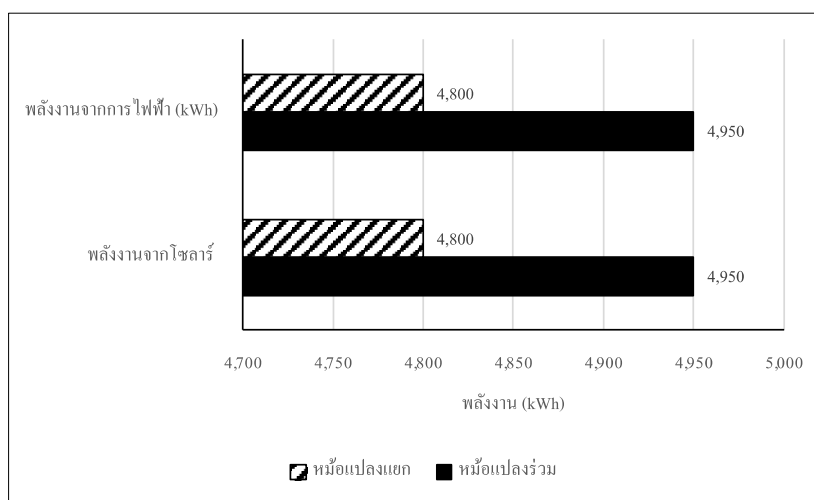
- ระบบหม้อแปลงร่วม มีค่าการสูญเสียรวมประมาณร้อยละ 1 ทำให้พลังงานถึงโหลดจริง 4,950 กิโลวัตต์-ชั่วโมง จากแต่ละแหล่ง หรือรวม 9,900 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อเดือน

- ระบบหม้อแปลงแยก มีค่าการสูญเสียรวมประมาณร้อยละ 4 ทำให้พลังงานถึงโหลดจริง 4,800 กิโลวัตต์-ชั่วโมง จากแต่ละแหล่งหรือรวม 9,600 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อเดือน

ผลการคำนวณแสดงใน ตารางที่ 5 และ รูปที่ 3

ตารางที่ 5 การกระจายพลังงานจากโซลาร์และการไฟฟ้าของระบบหม้อแปลงร่วมและแยก

ระบบ	พลังงานจากโซลาร์ (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	พลังงานจากการไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	รวมพลังงานถึงโหลด (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)
หม้อแปลงร่วม	4,950	4,950	9,900
หม้อแปลงแยก	4,800	4,800	9,600



รูปที่ 3 กราฟสัดส่วนพลังงาน Solar/Grid ที่ถึงโหลดจริง

จากตารางที่ 3 และรูปที่ 3 จะเห็นว่าระบบหม้อแปลงรวมมีพลังงานถึงโหลดสูงกว่าเล็กน้อย เนื่องจากโครงสร้างสายส่งสั้นกว่าและมีจุดสูญเสียน้อยกว่า

2. พลังงานสูญเสียในระบบ

การประเมินความสูญเสียใช้สมการ (2) ร่วมกับค่ากระแสและความต้านทานสายส่ง จากตารางที่ 1 พบว่าระบบหม้อแปลงรวม มีพลังงานสูญเสียรวมประมาณ 100 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อเดือน หรือคิดเป็น ร้อยละ 1 ของพลังงานต้นทาง ระบบหม้อแปลงแยก มีพลังงานสูญเสียรวมประมาณ 400 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อเดือน หรือร้อยละ 4 ของพลังงานต้นทาง ผลการเปรียบเทียบแสดงใน ตารางที่ 6

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบพลังงานสูญเสียของระบบหม้อแปลงรวมและหม้อแปลงแยก

ระบบ	พลังงานรวมจากต้นทาง (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	กำลังไฟฟ้าสูญเสีย (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	กำลังไฟฟ้าสูญเสีย (ร้อยละ)
หม้อแปลงรวม	10,000	ร้อยละ 1	100
หม้อแปลงแยก	10,000	ร้อยละ 4	400

จากตารางที่ 6 สรุปได้ว่าระบบหม้อแปลงแยกมีกำลังไฟฟ้าสูญเสียสูงกว่าระบบหม้อแปลงรวม ประมาณ 300 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อเดือน หรือเพิ่มขึ้นราว 3 เท่า เนื่องจากระยะสายส่งยาวขึ้น และมีจำนวนอุปกรณ์มากกว่า ส่งผลให้ต้องพิจารณาการเลือกขนาดสายและการจัดวางอุปกรณ์อย่างรอบคอบเพื่อลดการสูญเสีย

3. ความต่อเนื่องของโหลดและความเชื่อถือได้

ในมิติของความต่อเนื่องของโหลด ระบบหม้อแปลงรวมมีลักษณะเป็นจุดล้มเหลวเดียว หากหม้อแปลงหรืออุปกรณ์สำคัญขัดข้อง โหลดทั้งหมดของอาคารจะได้รับผลกระทบทันที ขณะที่ระบบหม้อแปลงแยกสามารถแยกโซนจ่ายไฟและสลับโหลดสำคัญไปใช้จากอีกหม้อแปลงหนึ่งได้ การประเมินเชิงคุณภาพของความต่อเนื่อง แสดงใน ตารางที่ 7 ส่วนค่าตัวชี้วัด SAIFI/SAIDI ตามสมมติฐาน ในตารางที่ 3 สามารถสรุปรวมเป็นระดับความเชื่อถือได้ดังแสดงใน ตารางที่ 8

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบเชิงคุณภาพด้านความต่อเนื่องของโหลด

ระบบ	คะแนนความต่อเนื่อง	จำนวนแหล่งจ่ายที่ใช้ได้	ความสามารถในการสลับโหลด	ความเสี่ยงระดับทั้งหมด	ความต่อเนื่องของโหลด
หม้อแปลงรวม	2	2 (โซลาร์ + การไฟฟ้า)	ไม่มี (ใช้ร่วมกัน)	สูง	ปานกลาง
หม้อแปลงแยก	3	2 ต่อ 2 (แยกโซลาร์ + การไฟฟ้า/โหลด)	มี (แยกอิสระ)	ต่ำ	สูง

ตารางที่ 8 ดัชนีความเชื่อถือได้ (SAIFI และ SAIDI) ของระบบหม้อแปลงรวมและแยก

ระบบ	SAIFI (ครั้งต่อปี)	SAIDI (ชั่วโมงต่อปี)	ระดับความเชื่อถือได้
หม้อแปลงรวม	2.5	10	ปานกลาง
หม้อแปลงแยก	1.0	4	สูง

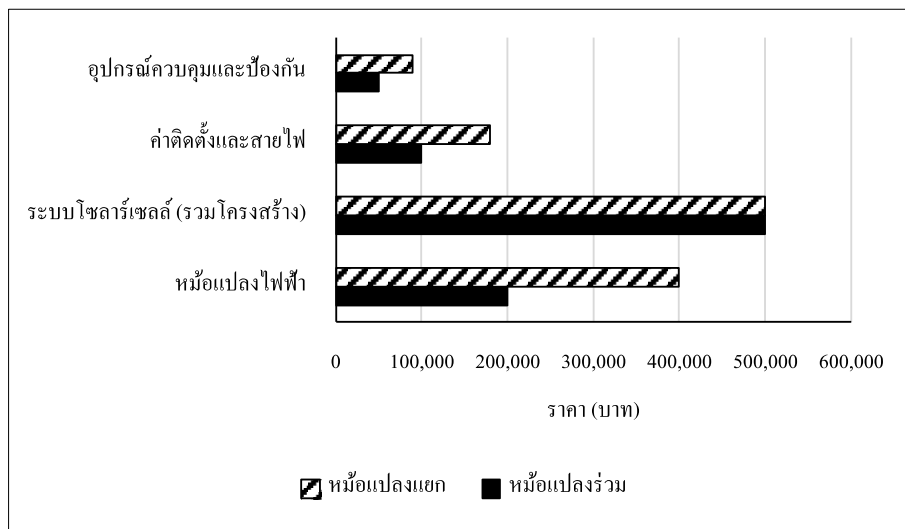
ผลการประเมินชี้ว่า ระบบหม้อแปลงแยกมีค่า SAIFI และ SAIDI ต่ำกว่าระบบหม้อแปลงรวมอย่างมีนัยสำคัญเชิงวิศวกรรม สะท้อนถึงโอกาสเกิดเหตุไฟดับและระยะเวลาที่ลูกค้าได้รับผลกระทบที่น้อยกว่า จึงเหมาะสำหรับอาคารที่มีโหลดสำคัญ เช่น โรงพยาบาลหรือศูนย์ข้อมูล

4. การประเมินต้นทุนระบบ

การประเมินต้นทุนใช้สมการ (3) โดยกำหนดราคาประมาณการของหม้อแปลง ระบบโซลาร์สายไฟ อุปกรณ์ควบคุม และค่าติดตั้ง พบว่า ระบบหม้อแปลงรวม มีต้นทุนรวมประมาณ 850,000 บาท ในขณะที่ระบบหม้อแปลงแยก มีต้นทุนรวมประมาณ 1,170,000 บาท หรือสูงกว่าประมาณร้อยละ 37.6 รายละเอียดแสดงใน ตารางที่ 9 และรูปที่ 4 แม้ว่าระบบหม้อแปลงแยกจะมีต้นทุนสูงกว่า แต่แลกกับความยืดหยุ่นและความต่อเนื่องที่สูงขึ้น ซึ่งอาจคุ้มค่าหากอาคารมีโหลดวิกฤตหรือมีแผนขยายระบบในอนาคต

ตารางที่ 9 การเปรียบเทียบต้นทุนเบื้องต้นของระบบหม้อแปลงรวมและหม้อแปลงแยก

รายการต้นทุน	หม้อแปลงรวม (บาท)	หม้อแปลงแยก (บาท)
หม้อแปลงไฟฟ้า	200,000	400,000
ระบบโซลาร์เซลล์ (รวมโครงสร้าง)	500,000	500,000
ค่าติดตั้งและสายไฟ	100,000	180,000
อุปกรณ์ควบคุมและป้องกัน	50,000	90,000
รวมต้นทุนทั้งหมด	850,000	1,170,000



รูปที่ 4 กราฟเปรียบเทียบต้นทุนรวมของระบบทั้งสองแบบ

5. การสรุปภาพรวมเชิงคะแนน

เพื่อให้เห็นภาพรวมอย่างชัดเจน ได้ทำการ normalize ตัวชี้วัดหลักให้อยู่ในช่วง 0-5 โดยค่า ยิ่ง “ดี” ยิ่งได้คะแนนสูง (เช่น พลังงานถึงโหลดมาก ต้นทุนต่ำ) ผลการให้คะแนนสรุปในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 สรุปคะแนนเปรียบเทียบระบบหม้อแปลง (normalized 0-5)

หัวข้อประเมิน	หม้อแปลงรวม (0-5)	หม้อแปลงแยก (0-5)
พลังงานถึงโหลด	4.9	4.6
ความสูญเสียพลังงาน	4.9	3.0
ความต่อเนื่องของโหลด	2.0	5.0

หัวข้อประเมิน	หม้อแปลงรวม (0-5)	หม้อแปลงแยก (0-5)
ความยืดหยุ่นในการใช้งาน	2.0	4.5
ต้นทุนรวมของระบบ	5.0	2.5

จากตารางที่ 10 พบว่า ระบบหม้อแปลงรวมได้คะแนนสูงด้านพลังงานถึงโหลด ความสูญเสียต่ำ และต้นทุนรวม ระบบหม้อแปลงแยกได้คะแนนสูงด้านความต่อเนื่องของโหลดและความยืดหยุ่นในการใช้งาน หากจัดทำตารางสรุปสุดท้ายสำหรับผู้ออกแบบ แสดงในตารางที่ 11 ซึ่งชี้ให้เห็นว่า “ระบบรวมเด่นด้านพลังงาน-ต้นทุน ส่วนระบบแยกเด่นด้านความต่อเนื่อง-ความยืดหยุ่น”

ตารางที่ 11 ตารางสรุปเปรียบเทียบเชิงคุณภาพระหว่างหม้อแปลงรวมและหม้อแปลงแยก

ด้านการประเมิน	หม้อแปลงรวม	หม้อแปลงแยก
พลังงานถึงโหลด	สูง (9,900 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อเดือน)	ปานกลาง (9,600 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อเดือน)
ความสูญเสียพลังงาน	ต่ำ (ร้อยละ 1 ~ 100 กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	สูง (ร้อยละ 4 ~ 400 กิโลวัตต์-ชั่วโมง)

การศึกษาความเหมาะสมของโครงสร้างหม้อแปลงในอาคารที่ติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์พบว่า อาคารที่ใช้หม้อแปลงเพียงลูกเดียวมักประสบปัญหาความสูญเสียสะสมในระบบ และมีความเสี่ยงต่อความต่อเนื่องของการจ่ายไฟ โดยเฉพาะในช่วงที่มีการจ่ายพลังงานจากทั้งระบบการไฟฟ้าและระบบโซลาร์เซลล์พร้อมกัน ผลการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่า โครงสร้างหม้อแปลงแบบรวมและแบบแยกมีลักษณะการตอบสนองที่แตกต่างกันตามประเภทของโหลด และลักษณะการใช้งานของอาคาร ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางการวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างระบบโซลาร์เซลล์และหม้อแปลงในระบบจำหน่ายไฟฟ้าอาคารที่รายงานโดย Yang, Wen & Wang (2022) และ Masters (2013) ที่เน้นให้พิจารณาภาพรวมของโครงสร้างระบบมากกว่าการประเมินต้นทุนเพียงอย่างเดียว

ผลการวิเคราะห์เชิงทฤษฎีพบว่า ระบบหม้อแปลงแบบรวมมีความสูญเสียโดยรวมต่ำกว่า เนื่องจากมีจำนวนอุปกรณ์และระยะสายส่งที่สั้นกว่า ส่งผลให้พลังงานที่ส่งถึงโหลดสูงกว่า (ประมาณ 9,900 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อเดือน) เมื่อเทียบกับระบบหม้อแปลงแบบแยก (ประมาณ 9,600 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อเดือน) ซึ่งมีความสูญเสียในสายเพิ่มขึ้นราว 3 เท่า ทั้งนี้ความแตกต่างดังกล่าวสามารถอธิบายได้จากความสัมพันธ์ของความสูญเสียในระบบไฟฟ้ากำลังตามสมการ $P_{loss} = I^2 R$ ซึ่งเป็นหลักการ

พื้นฐานที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการประเมินประสิทธิภาพของระบบจำหน่ายไฟฟ้า (Masters, 2013; Iqbal, 2022)

แม้ว่าระบบหม้อแปลงแบบแยกจะมีประสิทธิภาพด้านพลังงานต่ำกว่า แต่มีจุดเด่นด้านความเชื่อถือได้ของระบบ โดยสามารถแยกโซนโหลดสำคัญและลดผลกระทบจากเหตุขัดข้องได้อย่างมีประสิทธิภาพ แนวโน้มดังกล่าวสอดคล้องกับผลการประเมินความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่มีการบูรณาการพลังงานแสงอาทิตย์และหม้อแปลงหลายชุด ซึ่งรายงานว่าการแยกโครงสร้างหม้อแปลงช่วยลดความถี่และระยะเวลาการดับไฟของโหลดสำคัญได้อย่างมีนัยสำคัญ (Lee & Lee, 2023)

เมื่อพิจารณาการใช้งานในสถานการณ์จริง ผู้ใช้อาคารและผู้ดูแลระบบให้ความสำคัญทั้งด้านความมั่นคงของระบบและต้นทุนการติดตั้ง โดยอาคารทั่วไปมักให้ความสำคัญกับต้นทุนเริ่มต้นต่ำและความเรียบง่ายในการดูแลรักษา จึงเหมาะสมกับระบบหม้อแปลงแบบรวม ขณะที่อาคารที่มีโหลดสำคัญ เช่น ศูนย์ข้อมูล ห้องเซิร์ฟเวอร์ หรือโรงพยาบาล ให้ความสำคัญกับความต่อเนื่องของระบบเป็นหลัก จึงเหมาะสมกับระบบหม้อแปลงแบบแยก ทั้งนี้แนวโน้มดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยด้านการออกแบบหม้อแปลงสำหรับระบบไฟฟ้าอัจฉริยะที่มีสัดส่วนพลังงานหมุนเวียนสูง ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการแยกโครงสร้างหม้อแปลงช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นและรองรับการขยายระบบในอนาคตได้ดีกว่า (Li, Zhang & Wu, 2024)

6. ข้อเสนอแนะเชิงพาณิชย์และการนำไปใช้จริง

จากผลการวิเคราะห์เชิงวิศวกรรมในงานวิจัยนี้ สามารถนำไปต่อยอดสู่การตัดสินใจเชิงพาณิชย์ และการออกแบบระบบไฟฟ้าในอาคารที่ติดตั้งระบบโซลาร์เซลล์ได้อย่างเป็นรูปธรรม โดยเฉพาะในขั้นตอนการเลือกโครงสร้างหม้อแปลง การประเมินความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ และการให้บริการด้านวิศวกรรมในทางปฏิบัติ

6.1 decision matrix สำหรับการเลือกโครงสร้างหม้อแปลง

ผู้ใช้งานและผู้ออกแบบสามารถใช้ผลการให้คะแนนเชิงวิศวกรรม (ตารางที่ 10 และ ตารางที่ 11) เป็น decision matrix ในการเลือกโครงสร้างหม้อแปลงให้เหมาะสมกับประเภทอาคาร โดยสรุปได้ว่าอาคารสำนักงานทั่วไป อาคารเรียน หรืออาคารพาณิชย์ที่ให้ความสำคัญกับต้นทุนเริ่มต้นต่ำและประสิทธิภาพพลังงาน ควรเลือกใช้ ระบบหม้อแปลงรวม อาคารที่มีโหลดสำคัญ เช่น โรงพยาบาล ศูนย์ข้อมูล ห้องควบคุม หรืออาคารที่ต้องการ ความต่อเนื่องของระบบสูง ควรเลือกใช้ระบบหม้อแปลงแยก แม้จะมีต้นทุนสูงกว่า แนวทางนี้ช่วยให้การตัดสินใจไม่ยึดเฉพาะต้นทุนเพียงอย่างเดียว แต่พิจารณาพร้อมกับความเสี่ยงด้านความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า

6.2 การประเมินต้นทุนตลอดอายุโครงการ (life-cycle cost: LCC)

แม้งานวิจัยนี้จะประเมินต้นทุนในรูปแบบต้นทุนเริ่มต้น (initial cost) เป็นหลัก แต่ผลลัพธ์ชี้ให้เห็นว่าระบบหม้อแปลงแยกมีศักยภาพในการลดต้นทุนแฝงจากไฟดับ (cost of outage) และเพิ่ม

ความยืดหยุ่นในการขยายระบบในอนาคต เช่น การติดตั้งระบบกักเก็บพลังงานหรือระบบควบคุมอัจฉริยะ ดังนั้น ในการใช้งานเชิงพาณิชย์จึงควรทำการวิเคราะห์การประเมินต้นทุนตลอดอายุโครงการเพิ่มเติม โดยรวมต้นทุนด้านพลังงาน การบำรุงรักษา และต้นทุนจากการหยุดชะงักของโหลด เพื่อประเมินความคุ้มค่าในระยะยาวอย่างรอบด้าน

6.3 แนวทางการให้บริการเชิงวิศวกรรม (audit / design / BOQ)

ผลการศึกษาสามารถนำไปใช้เป็นการรอบสำหรับการให้บริการทางวิศวกรรม ได้แก่ energy & system audit: วิเคราะห์โครงสร้างหม้อแปลงเดิมของอาคารที่ติดตั้งโซลาร์เซลล์ ว่ามีความเหมาะสมกับรูปแบบโหลดหรือไม่

engineering design: ใช้แนวคิด shared/separate transformer เป็นตัวเลือกในการออกแบบระบบไฟฟ้าใหม่หรือปรับปรุงระบบเดิม

BOQ และการประมาณราคา: ใช้ผลการเปรียบเทียบต้นทุนเป็นข้อมูลอ้างอิงในการจัดทำ BOQ และเสนอราคางานระบบไฟฟ้าอย่างเป็นระบบ

แนวทางดังกล่าวช่วยให้ผู้ประกอบการวิชาชีพสามารถเชื่อมโยงงานวิจัยเข้ากับการออกแบบและการตัดสินใจเชิงพาณิชย์ได้จริง และสนับสนุนการพัฒนาาระบบไฟฟ้าอาคารที่มีความยั่งยืนและพร้อมรองรับการเปลี่ยนผ่านสู่ระบบพลังงานอัจฉริยะในอนาคต

สรุปผล

ผลการวิจัยนี้ศึกษาการเปรียบเทียบระบบหม้อแปลงแบบรวมและแบบแยกในอาคารที่ติดตั้งระบบโซลาร์เซลล์ โดยพิจารณาประเด็นด้านพลังงาน ความสูญเสีย ความต่อเนื่องของโหลด และต้นทุนรวมหรือค่าใช้จ่ายเบื้องต้น พบว่า ระบบหม้อแปลงแบบรวมสามารถส่งผ่านพลังงานถึงโหลดได้มากกว่า (ประมาณ 9,900 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อเดือน) เนื่องจากมีความสูญเสียในสายและหม้อแปลงน้อยกว่า ขณะที่ระบบหม้อแปลงแบบแยกมีพลังงานถึงโหลดประมาณ 9,600 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อเดือน แต่มีข้อได้เปรียบด้านความต่อเนื่องของระบบและความเชื่อถือได้สูงกว่าอย่างชัดเจน เพราะสามารถแยกโซนโหลดสำคัญและลดผลกระทบเมื่อเกิดเหตุขัดข้อง โดยค่าดัชนี SAIFI/SAIDI ต่ำกว่าระบบหม้อแปลงรวม แม้ว่าต้นทุนรวมของระบบหม้อแปลงแบบแยกจะสูงกว่าราวร้อยละ 37.6 แต่ให้ความยืดหยุ่นมากกว่าในการรองรับการขยายระบบในอนาคต เช่น ระบบกักเก็บพลังงานและ smart grid ในขณะที่ระบบหม้อแปลงแบบรวมมีความคุ้มค่าในด้านการลงทุนและประสิทธิภาพพลังงาน เหมาะสำหรับอาคารทั่วไปที่ต้องการต้นทุนต่ำและระบบที่ดูแลรักษาง่าย ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าระบบหม้อแปลงแบบรวมเหมาะกับอาคารทั่วไป ส่วนระบบหม้อแปลงแบบแยกเหมาะกับอาคารที่มีโหลดสำคัญซึ่งต้องการความต่อเนื่องและเสถียรภาพของระบบสูงกว่า

ข้อเสนอแนะ

ในการออกแบบจริงควรทำการวิเคราะห์ต้นทุนตลอดอายุโครงการ รวมถึงค่าบำรุงรักษา และต้นทุนความเสียหายจากไฟดับ เพื่อใช้เปรียบเทียบความคุ้มค่าระหว่างระบบหม้อแปลงร่วมและหม้อแปลงแยกอย่างครบถ้วน ควรศึกษา ผลกระทบของการติดตั้งระบบกักเก็บพลังงาน และการควบคุมโหลดอัจฉริยะร่วมกับโครงสร้างหม้อแปลงทั้งสองแบบ เพื่อประเมินศักยภาพในการรองรับระบบ smart grid ในอนาคต ในงานวิจัยต่อไป อาจนำข้อมูลโหลดจริงของอาคารหลายประเภท เช่น โรงพยาบาล ศูนย์ข้อมูล หรืออาคารเรียน มาใช้เพื่อสร้างแบบจำลองที่สะท้อนพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าได้ใกล้เคียงความเป็นจริงมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- Yang, Y., Wen, H. & Wang, X. (2022). Modeling and analysis of PV–transformer interactions in grid-connected systems, **Proc. 2022 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)**, 4123–4130.
- IEEE. (2018). IEEE Standard for Interconnection and Interoperability of Distributed Energy Resources with Associated Electric Power Systems Interfaces. **IEEE Std 1547-2018 (Revision of IEEE Std 1547-2003)**, 6 April 2018, 1-138. from doi: 10.1109/IEEESTD.2018.8332112.
- Masters, G. M. (2013). **Renewable and Efficient Electric Power Systems**. (2nd ed.). Hoboken, NJ: Wiley-IEEE Press.
- Iqbal, M. T. (2022). Transformer loading and efficiency in grid-connected solar photovoltaic systems. **Renewable Energy**, 195, 650–660.
- Lee, J. & Lee, S. (2023). Reliability evaluation of distribution networks with PV and transformer integration, **Proc. 2023 IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM)**, 1–5.
- Li, H., Zhang, Y. & Wu, J. (2024). Optimal design of distribution transformers for smart grid with renewable energy penetration, **Electric Power Systems Research**, 222, 109–121.

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

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