นวัตกรรมการเรียนรู้เชิงปฏิบัติการเพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของมุมเอียงและทิศทางของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบออฟกริดต่อการผลิตกำลังไฟฟ้าสูงสุด

พรหมพักตร์ บุญรักษา[1], อนุสรณ์ ผ่องประภา[2], สมมาตร ทองคำ[2], มณีรัตน์ ชนะสกุลนิยม[2], อนุวิท ลิมาวงษ์ปราณี[3], อนุวัต ลิมาวงษ์ปราณี[3], ธีระพงษ์ บุญรักษา[3,*]

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

[2]สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี

[3]สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Received: 1 November 2025
Revised: 25 December 2025
Accepted: 26 December 2025

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้เชิงปฏิบัติการสำหรับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของมุมเอียงและทิศทางของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีผลต่อกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบออฟกริด เพื่อให้นักศึกษาสามารถมีความรู้ความเข้าใจในทฤษฎีได้อย่างเป็นรูปธรรม โดยระบบถูกติดตั้งที่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ต.ศาลายา จ.นครปฐม ละติจูด 13.7958 ^{o}N ลองติจูด 100.3228 ^{o}E ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 250 วัตต์ จำนวน 1 แผง เชื่อมต่อกับโหลดจำลองขนาด 4 โอห์ม วิธีการดำเนินงานส่วนที่ 1) ทำการปรับทิศทางของแผงประกอบด้วย ทิศเหนือ ใต้ ตะวันออก และตะวันตก จากนั้นทำการปรับมุมเอียงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ 0°, 15°, 30°, 45° และ 60° และทำการบันทึกค่าความเข้มแสงและกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ ทำการทดลองวันที่ 23-24 กรกฎาคม 2568 ตั้งแต่เวลา 08.00-16.00 น. ผลการทดลองพบว่า การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่หันไปทางทิศใต้และขนาดมุมเอียง 15° ให้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด 211.04 วัตต์ รองลงมาคือที่มุมเอียง 0°, 30°,45° และ 60° ให้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด 194.60, 153.47 ,149.84 และ 102.65 วัตต์ ตามลำดับ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการเลือกมุมเอียงและทิศทางที่เหมาะสมมีผลโดยตรงต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ในส่วนที่ 2) ได้ดำเนินการประเมินความพึงพอใจโดยใช้เทคนิคการสุ่มแบบเจาะจงเป็นนักศึกษาที่เข้าร่วมกิจกรรมการเรียนรู้จำนวน 25 คน โดยใช้แบบสอบถามมาตราส่วนลิเคิร์ต ผลการประเมินพบว่านักศึกษามีความพึงพอใจเฉลี่ย 4.52 จากระดับ 5 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.50 ซึ่งระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก สะท้อนให้เห็นว่านวัตกรรมการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นสามารถส่งเสริมความเข้าใจและเพิ่มทักษะการเรียนรู้ด้านพลังงานแสงอาทิตย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: นวัตกรรมการเรียนรู้ เซลล์แสงอาทิตย์ มุมเอียง ทิศทาง กำลังไฟฟ้าสูงสุด

[*]ผู้ประสานงานหลัก; อีเมล: terapong.boo@rmutr.ac.th

An Experiential Learning Innovation for Analyzing the Impact of Tilt Angle and Orientation of Off-Grid Photovoltaic Panels on Maximum Power Generation

Promphak Boonraksa[1], Anusorn Phongprapa[2], Sommart Thongkom[2], Maneerat Chanasakolniyom[2], Anuwit Limawongpranee[3], Anuwat Limawongpranee[3], Terapong Boonraksa[3,*]

[1]Department of Mechatronics Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

[2]Department of Mechanical Engineering, Bangkok Thonburi University

[3]School of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Rattanakosin

Received: 1 November 2025
Revised: 25 December 2025
Accepted: 26 December 2025

Abstract

This research aimed to design and develop an experiential learning innovation to analyze the relationship between the tilt angle and orientation of photovoltaic (PV) panels and their effects on maximum power generation in an off-grid solar energy system. The proposed learning system was intended to enhance students' conceptual understanding of photovoltaic theory through hands-on experimentation and direct observation.The experimental system was installed at Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Salaya Campus, Nakhon Pathom Province, Thailand (latitude 13.7958°N, longitude 100.3228°E). A single 250 W photovoltaic panel was connected to a simulated resistive load of 4 Ω. The research methodology consisted of two main phases. In the first phase, the PV panel orientation was adjusted toward the north, south, east, and west, while the tilt angle was varied at 0°, 15°, 30°, 45°, and 60°. Solar irradiance and electrical power output were recorded during the experimental period conducted on 23–24 July 2025, from 8:00 a.m. to 4:00 p.m. The experimental results indicated that a south-facing photovoltaic panel with a tilt angle of 15° produced the maximum power output of 211.04 W. This was followed by tilt angles of 0°, 30°, 45°, and 60°, which yielded maximum power outputs of 194.60 W, 153.47 W, 149.84 W, and 102.65 W, respectively. These findings demonstrate that the appropriate selection of panel tilt

angle and orientation has a direct impact on enhancing the power generation efficiency of off-grid photovoltaic systems. In the second phase, student satisfaction with the experiential learning activity was evaluated using purposive sampling, involving 25 students who participated in the learning activities. A Likert-scale questionnaire was employed for data collection. The evaluation results revealed a high level of satisfaction, with a mean score of 4.52 from 5, and a standard deviation of 0.50. This outcome reflects that the developed learning innovation effectively promotes students' understanding and practical skills in solar energy systems.

Keywords: Experiential Learning Innovation, Photovoltaic Cells, Tilt Angle; Panel Orientation, Maximum Power Output

*Corresponding Author; E-mail: terapong.boo@rmutr.ac.th

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy) เป็นหนึ่งในแหล่งพลังงานสะอาดที่มีความสำคัญและได้รับความสนใจอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นพลังงานที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้โดยไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากนัก และเป็นทรัพยากรที่ไม่มีวันหมด พลังงานจากดวงอาทิตย์สามารถแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรงผ่านกระบวนการของเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยอาศัยคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิคอน (Silicon) ภายใต้หลักการทำงานที่เมื่อแสงตกกระทบกับชั้นสารกึ่งตัวนำจะทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่และเกิดการแยกประจุ ส่งผลให้สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง (U.S. Energy Information Administration, 2025; U.S. Department of Energy, 2025; Amornrat and Methanan, 2017)

อย่างไรก็ตาม แม้ว่าพลังงานแสงอาทิตย์จะมีบทบาทสำคัญต่อเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมพลังงานสะอาด แต่การเรียนการสอนด้านพลังงานแสงอาทิตย์ในระดับอุดมศึกษายังเผชิญข้อจำกัดสำคัญ โดยเฉพาะการเน้นเนื้อหาทางทฤษฎีมากกว่าการลงมือปฏิบัติจริง ทำให้นักศึกษาขาดความเข้าใจเชิงลึกเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น ความเข้มแสง อุณหภูมิ หรือ มุมเอียงของแผง และทิศทางการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งมีผลโดยตรงต่อการผลิตพลังงาน มีงานวิจัยที่ได้ศึกษาผลของตำแหน่งและมุมเอียงของแผงโซลาร์เซลล์ต่อปริมาณรังสีและกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้โดยตรงบนพื้นที่มหาวิทยาลัยในไทย พบว่าแผงที่ตั้งมุมต่างกันจะให้ค่าพลังงานต่างกัน โดยมุมเอียงที่เหมาะสมจะเปลี่ยนไปตามเวลาในปี และพลังงานไฟฟ้าสูงสุดอยู่ช่วงเที่ยงวัน โดยค่ารังสีแสงอาทิตย์ในพื้นที่อยู่ระหว่าง 850–930 W/m² และหากติดตั้งมุมและทิศทางไม่เหมาะสมกับพื้นที่จะส่งผลให้ค่ากำลังไฟฟ้าลดลงอย่างเห็นได้ชัด (Thonghirun and Nilkamjorn, 2012; Yasmini et al., 2025) ปัจจัยเหล่านี้เป็นเรื่องพื้นฐานที่สำคัญของการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์แต่กลับเป็นหัวข้อที่มักไม่ได้รับการทดลองในสถานการณ์จริง มีแต่สอนกันตามทฤษฎี เนื่องจากข้อจำกัดด้านอุปกรณ์และงบประมาณ การขาดสื่อการสอนเชิงปฏิบัติจริงนี้จึงเป็น ปัญหาสำคัญ (Problem Statement) ที่นำไปสู่ความจำเป็นในการพัฒนาเครื่องมือทางการศึกษาที่ตอบโจทย์ทั้งการเรียนรู้และการปฏิบัติ

ภาคการศึกษา โดยเฉพาะในสาขาวิศวกรรมศาสตร์ จึงมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาบุคลากรที่มีสมรรถนะสอดคล้องกับความต้องการของอุตสาหกรรมพลังงานสะอาด การจัดการเรียนรู้ที่ดีจึงต้องไม่นำเสนอเพียงทฤษฎี แต่ต้องส่งเสริมให้นักศึกษาได้ทดลองจริง ได้วิเคราะห์ ได้วัดผล และสามารถแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจริง ซึ่งจะช่วยให้เกิดความเข้าใจเชิงลึกและนำไปประยุกต์ใช้ในสถานการณ์จริงได้ การเรียนรู้เกี่ยวกับพลังงานแสงอาทิตย์ในเชิงปฏิบัติการจึงมีความสำคัญต่อการพัฒนาทักษะด้านความรู้ (Knowledge) ทักษะการปฏิบัติ (Skills) และเจตคติที่ดีต่อพลังงานสะอาด (Attitude) การออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ที่ให้ผู้เรียนได้สร้างระบบพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็ก ทดลองวัดประสิทธิภาพภายใต้สภาวะต่าง ๆ วิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตไฟฟ้า และแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นจริง จะช่วยเสริมสร้างทักษะการคิดเชิงระบบ (Systems Thinking) การคิดวิเคราะห์ (Analytical Thinking) และการแก้ปัญหาเชิงสร้างสรรค์ (Creative Problem Solving) ซึ่งเป็นทักษะสำคัญในศตวรรษที่ 21 (Carnevale et al., 2013; World Economic Forum, 2020)

แนวคิดการเรียนรู้เชิงสร้างสรรค์ด้วยการปฏิบัติ (Innovative Experimental Learning) อาศัยรากฐานจากทฤษฎี Constructivism ของ Piaget และ Vygotsky (Piaget, 1952; Vygotsky, 1978) ที่เน้นให้ผู้เรียนสร้างองค์ความรู้ผ่านประสบการณ์ตรงมากกว่าการรับสารแบบผู้ฟัง การเรียนรู้แบบลงมือทำจึงเหมาะสมอย่างยิ่งในบริบทของการเรียน

พลังงานแสงอาทิตย์ (Phadungphon, 2025; Daoruang and Jantakoon, 2024; Chanthi and Sawangmek, 2024) โดยผู้เรียนจะเห็นความเชื่อมโยงระหว่างฟิสิกส์ของเซลล์แสงอาทิตย์ วิศวกรรมไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ และระบบตรวจวัดควบคุม (Northern Illinois University, 2025) อย่างไรก็ตาม จากการทบทวนวรรณกรรม (Literature Review) พบว่า งานวิจัยส่วนใหญ่ทางด้านพลังงานแสงอาทิตย์มักมุ่งเน้นไปที่ การหามุมเอียงที่เหมาะสม (Optimal Tilt Angle), การวิเคราะห์ประสิทธิภาพระบบ, การจำลองทางคณิตศาสตร์ หรือการพัฒนาโมเดลทำนายกำลังผลิต ซึ่งมีเป้าหมายเชิงวิศวกรรมหรือเชิงเทคนิคเป็นหลัก แต่ ยังมีงานศึกษาน้อยมากที่นำองค์ความรู้ดังกล่าวมาพัฒนาเป็นสื่อการสอนหรือชุดทดลองที่ให้นักศึกษาศึกษาจากสถานการณ์จริง ช่องว่างนี้สะท้อนว่า แม้จะมีข้อมูลเชิงเทคนิคจำนวนมาก แต่ยังขาด นวัตกรรมการเรียนรู้ ที่ช่วยเชื่อมโยงทฤษฎีกับประสบการณ์ตรงของผู้เรียนอย่างแท้จริง

กระบวนการเรียนรู้เชิงสร้างสรรค์ด้วยการปฏิบัติไม่เพียงให้ผู้เรียนทำตามขั้นตอน แต่ส่งเสริมให้ได้ทดลอง คิด วิเคราะห์ และเรียนรู้จากความผิดพลาด ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะการปฏิบัติงานจริงในสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า หรือวิศวกรรมพลังงาน เมื่อผู้เรียนได้ออกแบบการทดลอง ปรับเปลี่ยนมุมเอียง และทิศทางของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ วิเคราะห์ผลการผลิตไฟฟ้าที่ได้ตามสภาวะความเข้มแสงจริง และนำข้อมูลไปใช้แก้ปัญหา นักศึกษาจะเกิดทักษะการคิดขั้นสูง เช่น Critical Thinking และ Complex Problem Solving (Thornhill-Miller, 2023; World Economic Forum, 2020)

ด้วยเหตุนี้งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้เชิงปฏิบัติการเพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของมุมเอียงและทิศทางของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีผลต่อการผลิตไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบออฟกริดที่เพื่อใช้เป็นนวัตกรรมการเรียนรู้เชิงปฏิบัติการที่ตอบโจทย์ทั้งด้านการเรียนการสอนและการพัฒนาทักษะทางวิศวกรรมในโลกปัจจุบัน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

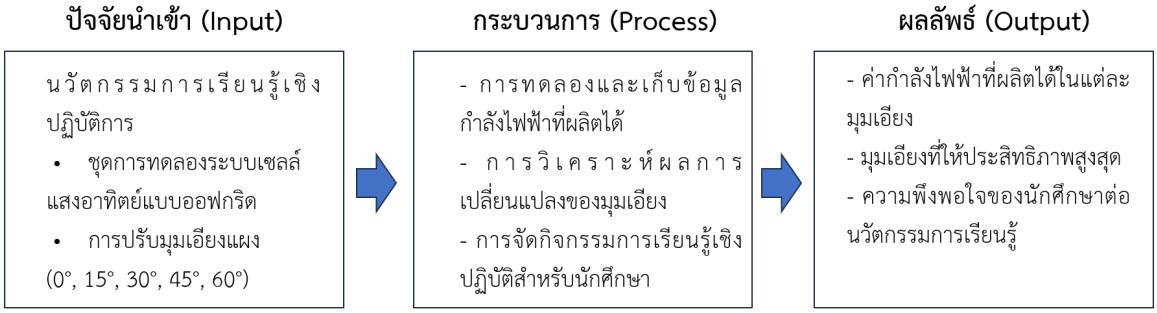
1. เพื่อออกแบบและสร้าง นวัตกรรมการเรียนรู้เชิงปฏิบัติการสำหรับการศึกษาผลกระทบของมุมเอียงและทิศทางต่อการผลิตกำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบออฟกริด

2. เพื่อศึกษาผลกระทบของการปรับมุมเอียงและทิศทางของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่อปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ภายใต้สภาพแสงธรรมชาติ

3. เพื่อประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อการใช้นวัตกรรมการเรียนรู้เชิงปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้น

กรอบแนวคิดในการวิจัย

จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่ามุมเอียงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริบทของการเรียนการสอนทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าและพลังงาน การมีชุดการเรียนรู้เชิงปฏิบัติการที่สามารถจำลองและวิเคราะห์ผลกระทบของมุมเอียงต่อกำลังผลิตได้จริง จะช่วยให้นักศึกษาเข้าใจหลักการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์อย่างเป็นรูปธรรม และสามารถประยุกต์ใช้ความรู้สู่การออกแบบและพัฒนาระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้น เพื่อให้การดำเนินการวิจัยเป็นไปอย่างเป็นระบบและสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ผู้วิจัยจึงได้กำหนดกรอบแนวคิดการวิจัย ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย

แบบแผนการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาเชิงทดลองและการประเมินการเรียนรู้ โดยมุ่งเน้นการพัฒนานวัตกรรมการเรียนรู้เชิงปฏิบัติการเพื่อการวิเคราะห์ผลกระทบของมุมเอียงต่อการผลิตกำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับนักศึกษาวิศวกรรมไฟฟ้า

ตัวอย่าง

การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเป็นการสุ่มแบบเจาะจง (Purposive Sampling) หมายถึง การเลือกกลุ่มตัวอย่างโดยใช้วิจารณญาณของผู้ทำวิจัย เพื่อให้ได้กลุ่มที่มีคุณสมบัติตรงตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยโดยเฉพาะ(Kittinorarat and Acherayawathana, 2024; Inthamat et al., 2023) ซึ่งงานวิจัยนี้ได้คัดเลือกจากนักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ดำเนินการประเมินความพึงพอใจการใช้งานนวัตกรรมการเรียนรู้ จำนวน 25 คน (n=25)

เครื่องมือวิจัย

1. ออกแบบเครื่องมือวิจัย (แบบสอบถามความพึงพอใจ) เพื่อใช้ในการประเมินกลุ่มตัวอย่าง โดยใช้มาตรประมาณค่าของลิเคิร์ต (Likert Scale) 5 ระดับ (Inthamat et al., 2022) ประเมินความพึงพอใจในด้านต่างๆ ประกอบไปด้วย 4 ด้าน ได้แก่ ด้านความเข้าใจหลักการและเนื้อหา ด้านการทดลองและการปฏิบัติ ด้านทักษะการวิเคราะห์และการแก้ปัญหา และด้านความพึงพอใจทั่วไป โดยการแปลผลค่าเฉลี่ยของแบบประเมินคุณภาพและแบบสอบถามความพึงพอใจของผู้ใช้งาน โดยกำหนดช่วงคะแนนระดับคุณภาพและระดับความพึงพอใจที่ได้ ดังนี้

0.00 - 1.00 หมายถึง ระดับคุณภาพ หรือระดับความพึงพอใจ น้อยที่สุด
1.01 - 2.00 หมายถึง ระดับคุณภาพ หรือระดับความพึงพอใจ น้อย
2.01 - 3.00 หมายถึง ระดับคุณภาพ หรือระดับความพึงพอใจ ปานกลาง
3.01 - 4.00 หมายถึง ระดับคุณภาพ หรือระดับความพึงพอใจ มาก
4.01 - 5.00 หมายถึง ระดับคุณภาพ หรือระดับความพึงพอใจ มากที่สุด

2. ตรวจสอบเครื่องมือวิจัยโดยผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด 5 ท่าน โดยใช้วิธีการคัดเลือกจาก ผู้ที่สำเร็จการศึกษาในสาขาวิชาที่สัมพันธ์กับนวัตกรรมที่สร้างขึ้น หรือพิจารณาจากประสบการณ์ความเชี่ยวชาญในการทำงานที่มีความสัมพันธ์กับนวัตกรรมการเรียนรู้ที่สร้างขึ้น โดยใช้เทคนิคการหาค่าความเที่ยงตรงรายข้อของแบบทดสอบโดยใช้

ผู้เชี่ยวชาญเป็นผู้พิจารณา (Index of Item-Objective Congruence: IOC) ซึ่งค่า IOC เป็นตัวชี้วัดความสอดคล้องของข้อคำถามกับวัตถุประสงค์การวิจัย (Tuntavanitch and Jindasri, 2018)

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. การออกแบบและพัฒนาชุดทดลองระบบเซลล์แสงอาทิตย์

1) ชุดทดลองเป็นระบบออฟกริด (Off-grid PV System) ขนาดเล็กที่ประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิคอนชนิดหลายผลึก(Polycrystalline Silicon) ขนาดกำลังสูงสุด 250 วัตต์ จำนวน 1 แผง เชื่อมต่อกับโหลดจำลองขนาด 4 โอห์ม (ใช้ตัวต้านทานขนาด 20 โอห์ม 50 วัตต์ต่อขนาดกันจำนวน 5 ตัว) ซึ่งมีพารามิเตอร์ของแผงแสดงดังตารางที่ 1 และวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

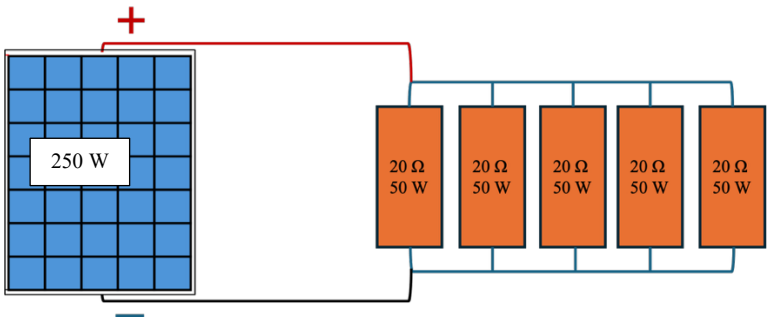
พารามิเตอร์	ขนาด
กำลังไฟฟ้าสูงสุด (P_{MP})	250 W
แรงดันไฟฟ้าสูงสุด (V_{MP})	30.30 V
กระแสไฟฟ้าสูงสุด (I_{MP})	8.27 A
แรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร (V_{OC})	38.19 V
กระแสลัดวงจร (I_{SC})	8.65 A

ตารางที่ 2 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุอุปกรณ์	จำนวน
1. เซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 250 W	1 แผง
2. โวลต์มิเตอร์ (Voltmeter)	1 เครื่อง
3. แอมป์มิเตอร์ (Ammeter)	1 เครื่อง
4. เครื่องวัดค่าความเข้มของแสง (UT383 Digital Lux Meter)	1 เครื่อง
5. ตัวต้านทานขนาด 20 โอห์ม 50 วัตต์	5 ตัว

2) ชุดทดลองสามารถปรับมุมเอียง (Tilt Angle) ของแผงได้หลายระดับและปรับทิศทางได้ 4 ทิศทาง ประกอบด้วยทิศเหนือ ใต้ ตะวันออกและตะวันตก เพื่อให้ผู้เรียนสามารถศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบของมุมเอียงและทิศทางของแผงที่มีผลต่อการผลิตไฟฟ้า (Power Generation Efficiency) ของเซลล์แสงอาทิตย์

3) การออกแบบชุดทดลองเน้นความปลอดภัย ใช้งานง่าย และเหมาะสมกับการเรียนการสอนเชิงปฏิบัติการ ชุดปฏิบัติการที่ทำการออกแบบและสร้างขึ้นแสดงดังภาพที่ 2



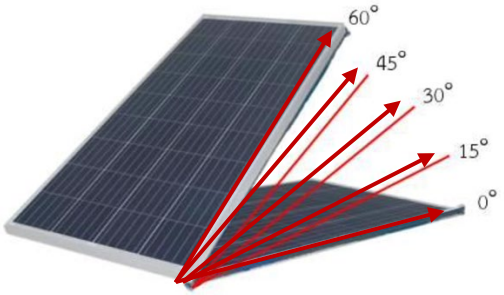
ภาพที่ 2 ชุดปฏิบัติการที่ทำการออกแบบและสร้างขึ้น

2. การทดลองและเก็บข้อมูล

1) ทำการปรับทิศทางของแผง 4 ทิศทางประกอบด้วยทิศเหนือ ใต้ ตะวันออกและตะวันตก

2) ทำการปรับมุมเอียงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ 0°, 15°, 30°, 45° และ 60° ดังแสดงในภาพที่ 3

3) วัดค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละมุมเอียงโดยบันทึกค่าเป็น วัตต์ (W) (ใช้แคลมป์มิเตอร์ในการวัดกระแสและแรงดันเพื่อนำไปคำนวณกำลังไฟฟ้าแล้วบันทึกผลทำการเก็บข้อมูลทุก 30 นาที โดยเริ่มจาก เริ่มจากเวลา 08.00-16.00 น. วันที่ 23-24 กรกฎาคม 2568 แสดงตัวอย่างการวัดดังภาพที่ 4 และส่วนค่าความเข้มแสงใช้เครื่องวัดค่าความเข้มแสง UT380 Digital Lux Meter) แสดงตัวอย่างการวัดดังภาพที่ 5



ภาพที่ 3 การปรับมุมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ระดับต่างๆ

ภาพที่ 4 ตัวอย่างการวัดค่าแรงดันและกระแสของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ภาพที่ 5 ตัวอย่างการวัดค่าความเข้มแสงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

4. การทดลองดำเนินการภายใต้สภาพแวดล้อมจริง เพื่อให้ผลการทดลองสะท้อนสถานการณ์จริง

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลองใช้สถิติพรรณนา ได้แก่ ค่าสูงสุด ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่ออธิบายลักษณะและแนวโน้มของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้มุมเอียงและทิศทางที่แตกต่างกัน รวมถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าความเข้มแสงอาทิตย์ในช่วงเวลาที่ทำการทดลอง โดยนำคะแนนของแต่ละข้อมาคำนวณค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) (Inthamat et al., 2022) เพื่อสรุปผลระดับความพึงพอใจในแต่ละด้านและวิเคราะห์ภาพรวมของนวัตกรรม

ผลการวิจัย

จากการทำวิจัยเรื่องนวัตกรรมการเรียนรู้เชิงปฏิบัติการเพื่อการวิเคราะห์ผลกระทบของมุมเอียงและทิศทางการติดตั้งที่ส่งผลต่อกำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบออฟกริด โดยมุ่งเน้นศึกษาผลกระทบของมุมเอียงและทิศทางการติดตั้งในแต่ละช่วงเวลาต่อการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ นอกจากนี้ยังประเมินผลนวัตกรรมการเรียนรู้เชิงปฏิบัติการที่สร้างขึ้น โดยใช้การวัดค่าความพึงพอใจและความสามารถในการเรียนรู้เชิงปฏิบัติการของนักศึกษา ซึ่งได้แสดงรายละเอียดผลการทดสอบดังหัวข้อต่อไปนี้

1. ผลการเปลี่ยนแปลงของมุมและทิศทางการติดตั้งที่ส่งผลต่อการผลิตกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

การทดสอบผลของทิศทางการติดตั้งของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ส่งผลต่อกำลังไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ทำการทดสอบโดยเก็บข้อมูลทุก 30 นาที เริ่มจากเวลา 08.00-16.00 น. วันที่ 23-24 กรกฎาคม 2568 โดยหันแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปทางทิศเหนือ ใต้ ตะวันออก และตะวันตก ผลของกำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้เมื่อปรับทิศทางแผงไปที่ทิศต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลของกำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้เมื่อปรับทิศทางแผงไปที่ทิศต่าง ๆ ตั้งแต่เวลา 8:00 น.-16:00 น. (ทำการทดสอบวันที่ 23 กรกฎาคม 2568)

เวลาทดสอบ	กำลังไฟฟ้า (W)			
	เหนือ	ใต้	ตะวันออก	ตะวันตก
08.00	42	71	122	24
08.30	56	94	149	28
09.00	72	114	163	44
09.30	91	153	198	59
10.00	112	182	195	72
10.30	129	195	178	95
11.00	155	216	164	125
11.30	162	218	156	136
12.00	164	228	152	142
12.30	161	224	144	154
13.00	154	219	119	173
13.30	135	198	102	205
14.00	108	168	83	212
14.30	92	154	72	197
15.00	64	127	49	182
15.30	56	94	36	149
16.00	41	68	24	118
เฉลี่ย	**105.53**	**160.18**	**123.88**	**124.41**

จากตารางที่ 3 พบว่าค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยเมื่อติดตั้งที่ทิศใต้ รองลงมาคือทิศตะวันตก ทิศตะวันออก และทิศเหนือ ตามลำดับ โดยค่ากำลังไฟฟ้าที่ 160.18 ,124.41 ,123.88 และ 105.53 วัตต์ ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่หันไปทางทิศใต้สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดตลอดช่วงเวลาการทดสอบ เนื่องจากได้รับรังสีแสงอาทิตย์ในมุมตกกระทบที่เหมาะสมที่สุด โดยเฉพาะในช่วงเวลาใกล้เที่ยงวัน ขณะที่แผงที่หันไปทางทิศตะวันออกและตะวันตกให้กำลังไฟฟ้าสูงในช่วงเช้าและบ่ายตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับหลักการเคลื่อนที่ปรากฏของดวงอาทิตย์

ในส่วนการทดสอบผลของมุมต่อกำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ โดยทำการทดสอบมุมต่าง ๆ ประกอบด้วย 0, 15, 30, 45 และ 60 องศาจากแนวระดับ ทำการทดสอบระยะเวลา 8 ชั่วโมง เริ่มทดสอบเวลา 8:00 น. -16:00 น. วันที่ 24 กรกฎาคม 2568 หันแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปทางทิศตะวันใต้ ผลของความเข้มแสงและกำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้แสดงดังตารางที่ 4 และเมื่อนำไปพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้เมื่อปรับแผงไปที่มุมต่างๆ แสดงดังภาพที่ 6

ตารางที่ 4 ผลของความเข้มแสงและกำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้เมื่อปรับแผงไปที่มุมต่าง ๆ ตั้งแต่เวลา 8:00 น.-16:00 น. (ทำการทดสอบวันที่ 24 กรกฎาคม 2568)

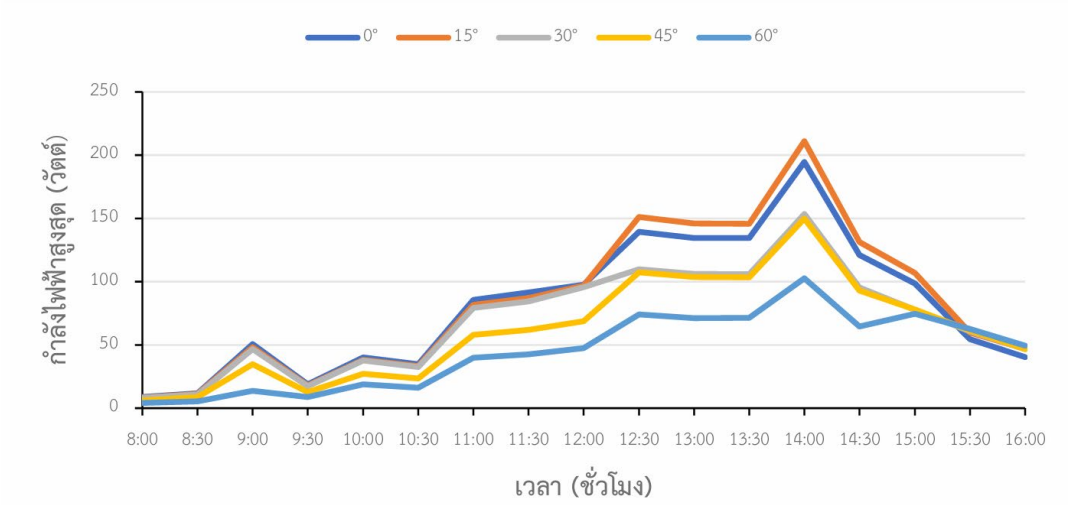
เวลาทดสอบ	ความเข้มของแสง (W/m^2)	กำลังไฟฟ้าสูงสุด (W)				
		0°	15°	30°	45°	60°
08.00 น.	105	8.86	8.44	8.19	5.99	4.14
08.30 น.	127	11.71	11.15	10.82	8.92	5.46
09.00 น.	137	50.66	48.25	46.80	34.62	13.64
09.30 น.	166	18.81	17.91	17.46	12.72	8.88
10.00 น.	290	40.08	38.17	37.62	27.10	18.90
10.30 น.	230	34.82	33.14	32.51	23.53	16.24
11.00 น.	288	85.66	81.58	79.15	57.92	39.97
11.30 น.	302	91.41	87.06	84.45	61.81	42.66
12.00 น.	440	97.67	96.83	95.69	68.75	47.45
12.30 น.	1100	139.38	151.15	109.92	107.32	74.06
13.00 น.	1076	134.57	145.94	106.13	103.62	71.12
13.30 น.	1112	134.38	145.73	105.97	103.47	103.47
14.00 น.	1051	194.60	211.04	153.47	149.84	102.65
14.30 น.	965	121.06	131.29	95.47	93.01	93.01
15.00 น.	646	98.59	106.92	77.75	77.91	74.62
15.30 น.	376	54.63	59.65	60.65	61.35	62.61
16.00 น.	668	40.46	46.96	46.67	46.74	49.48
เฉลี่ย	**534.06**	**79.846**	**83.606**	**68.75**	**61.45**	**534.06**

จากตารางที่ 4 ได้ทำการทดสอบช่วงเวลาที่เหมาะสมในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ โดยพิจารณาช่วงเวลาที่มีความเข้มของแสงอาทิตย์ส่งผลต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้ามากที่สุด การทดลองได้ทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลา เพื่อนำมาคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด (P_{max}) ที่แผงสามารถผลิตได้

การทดสอบดำเนินการภายใต้รูปแบบการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในมุมเอียง 0°, 15°, 30°, 45° และ 60° โดยหันแผงไปทางทิศใต้ จากนั้นได้บันทึกค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลา พร้อมคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ผลิตได้ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ความเข้มของแสงอาทิตย์และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จะเพิ่มขึ้นตามช่วงเวลาตั้งแต่เวลา 09.00 น. จนถึงช่วงเที่ยงวัน และเริ่มลดลงหลังจากเวลา 14.00 น.

จากการวิเคราะห์ข้อมูล พบว่า ช่วงเวลาที่ระบบสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงสุดอยู่ระหว่างเวลา 11.00–13.00 น. โดยเฉพาะในกรณีที่ติดตั้งแผงในมุมเอียง 15 องศา หันไปทางทิศใต้ ซึ่งให้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ 211.04 วัตต์ เมื่อเปรียบเทียบกับมุมเอียงอื่น ๆ พบว่าการติดตั้งในมุมเอียงที่มากหรือน้อยเกินไป เช่น 0° หรือ 60° ส่งผลให้พลังงานที่ผลิตได้ลดลง เนื่องจากมุมตกกระทบของแสงไม่เหมาะสมต่อการดูดซับพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์

และเมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบในวันที่ 23 กรกฎาคม 2568 พบว่า ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าสูงกว่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ในวันที่ 24 กรกฎาคม 2568 เนื่องจากในวันที่ 24 กรกฎาคม 2568 สภาพอากาศมีเมฆมากซึ่งบดบังแสงในบางช่วงเวลาทำให้ส่งผลต่อค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้



ภาพที่ 6 กำลังไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้เมื่อปรับแผงไปที่มุมต่าง ๆ ตั้งแต่เวลา 8:00 น.-16:00 น.

จากภาพที่ 6 กราฟแสดงค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลาปรากฏดังภาพที่ 6 ซึ่งสะท้อนให้เห็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าพลังงานตามช่วงเวลาของวันและมุมเอียงที่ต่างกัน ผลดังกล่าวยืนยันว่าการเลือกมุมเอียงที่เหมาะสมกับทิศทางและช่วงเวลาของการรับแสงอาทิตย์มีผลโดยตรงต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

2. ผลการประเมินผลนวัตกรรมการเรียนรู้

การวิเคราะห์และประเมินผลนวัตกรรมการเรียนรู้เชิงปฏิบัติการเรื่อง การวิเคราะห์ผลกระทบของมุมเอียงต่อการผลิตกำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ดำเนินการกับนักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จำนวน 25 คน โดยใช้แบบสอบถามประเมินความพึงพอใจตามมาตราส่วนลิเคิร์ต 5 ระดับ เพื่อวัดความพึงพอใจของผู้เรียนในด้านต่าง ๆ ได้แก่

1. ด้านเนื้อหาความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับหลักการทำงานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์
2. ด้านกระบวนการเรียนรู้เชิงปฏิบัติการและกิจกรรมการทดลอง
3. ด้านความเหมาะสมของสื่อและอุปกรณ์การเรียนรู้
4. ด้านความสามารถในการประยุกต์ใช้ความรู้ทางทฤษฎีสู่การปฏิบัติ
5. ด้านความพึงพอใจโดยรวมต่อนวัตกรรมการเรียนรู้

ผลการประเมินสรุปได้ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการประเมินนวัตกรรมการเรียนรู้

รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	ระดับความพึงพอใจ
1. เนื้อหาความรู้และความเข้าใจในหลักการทำงานของระบบ	4.56	0.51	มากที่สุด
2. กระบวนการเรียนรู้และกิจกรรมการทดลองมีความน่าสนใจ	4.58	0.47	มากที่สุด
3. สื่อและอุปกรณ์มีความเหมาะสมต่อการเรียนรู้	4.40	0.55	มาก
4. สามารถเชื่อมโยงความรู้ทางทฤษฎีกับการทดลองจริงได้	4.52	0.45	มากที่สุด
5. ความพึงพอใจโดยรวมต่อนวัตกรรมการเรียนรู้	4.55	0.53	มากที่สุด
ค่าเฉลี่ยรวม	4.52	0.50	มากที่สุด

จากตารางที่ 5 แสดงให้เห็นว่า ผู้เรียนมีความพึงพอใจต่อนวัตกรรมการเรียนรู้ในภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\overline{X}$ = 4.52, S.D. = 0.50) โดยรายการที่มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดคือ กระบวนการเรียนรู้และกิจกรรมการทดลองมีความน่าสนใจ ($\overline{X}$ = 4.58) ลำดับถัดมาคือ เนื้อหาความรู้และความเข้าใจในหลักการทำงานของระบบ ($\overline{X}$ = 4.56) และ ความพึงพอใจโดยรวมต่อนวัตกรรมการเรียนรู้ ($\overline{X}$ = 4.55) ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่านวัตกรรมการเรียนรู้ที่สร้างขึ้นสามารถช่วยส่งเสริมการเรียนรู้เชิงปฏิบัติได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผู้เรียนมีความเข้าใจในหลักการทำงานของระบบและเห็นว่าสื่อและกิจกรรมการเรียนรู้มีความเหมาะสม ช่วยกระตุ้นให้เกิดความสนใจและการมีส่วนร่วมในการเรียนรู้มากยิ่งขึ้น ผลการประเมินสะท้อนให้เห็นว่า นวัตกรรมการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นสามารถส่งเสริมการเรียนรู้เชิงรุก (Active Learning) และการเรียนรู้จากการลงมือปฏิบัติจริง (Learning by Doing) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นักศึกษาสามารถเข้าใจหลักการของระบบพลังงานแสงอาทิตย์ได้อย่างเป็นรูปธรรม เกิดแรงจูงใจในการเรียนรู้ และมีทัศนคติที่ดีต่อการเรียนรู้ด้านพลังงานหมุนเวียน

อภิปรายผล

จากการทำวิจัยเรื่อง นวัตกรรมการเรียนรู้เชิงปฏิบัติการเพื่อการวิเคราะห์ผลกระทบของมุมเอียงและทิศทางที่ส่งผลต่อการผลิตไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบออฟกริด ผลการวิจัยพบว่า การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่หันหน้าไปทางทิศใต้ให้ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยตลอดทั้งวันสูงสุด ตามด้วยทิศตะวันตก ตะวันออกและทิศเหนือ ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Thonghirun and Nilkamjorn, 2012)

ในส่วนของการปรับมุมเอียงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีผลโดยตรงต่อค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ โดยมุมเอียงที่ 15 องศา ซึ่งหันไปทางทิศใต้ให้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ 211.04 วัตต์ แสดงให้เห็นว่ามุมเอียงดังกล่าวเหมาะสมกับตำแหน่งทางภูมิศาสตร์และสภาพแสงอาทิตย์ของพื้นที่ศึกษา ทั้งนี้ มุมเอียงที่มากหรือน้อยเกินไป เช่น 0° หรือ 60° ส่งผลให้พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบต่อพื้นผิวแผงลดลง ทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่ำกว่า ซึ่งสอดคล้องกับหลักการทางทฤษฎีที่ว่า มุมระหว่างรังสีดวงอาทิตย์กับพื้นผิวแผงมีผลต่อการดูดซับพลังงานและประสิทธิภาพการแปลงพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์ จากการเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างมุมเอียงต่าง ๆ พบแนวโน้มว่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จะเพิ่มขึ้นเมื่อมุมเอียงอยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับมุมตกกระทบของแสงอาทิตย์ในช่วงเวลานั้น ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้าในด้านการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (Yasmini et al., 2025) งานวิจัยนี้ทดลองหลายมุมเอียงตั้งแต่ 0°–60° และพบว่ายิ่งมุมเอียงไม่เหมาะสม

จะทำให้กำลังไฟฟ้าลดลง โดยบนสภาพแวดล้อมจริงแสดงให้เห็นว่ามุมเอียงเล็ก ๆ อาจให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ และยังชี้ให้เห็นว่าการกำหนดมุมเอียงของแผงที่เหมาะสมตามฤดูกาลและทิศทางสามารถช่วยเพิ่มพลังงานที่ผลิตได้มากกว่า 10–20% เมื่อเทียบกับการติดตั้งในแนวราบ

ในด้านการเรียนรู้เชิงปฏิบัติการ การนำชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นมาใช้ในกิจกรรมการเรียนรู้ส่งผลให้นักศึกษามีส่วนร่วมในการสังเกต วิเคราะห์ และตีความข้อมูลจริงจากการทดลอง นักศึกษาสามารถเชื่อมโยงความรู้เชิงทฤษฎีกับผลลัพธ์เชิงปฏิบัติได้อย่างเป็นรูปธรรม ผลการประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาจำนวน 25 คนอยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ยรวม 4.45 จากระดับ 5) สะท้อนให้นวัตกรรมการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นสามารถตอบสนองต่อการเรียนรู้เชิงรุก (Active Learning) และเสริมสร้างทักษะทางวิศวกรรมด้านพลังงานหมุนเวียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การวิจัยครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่า นวัตกรรมการเรียนรู้เชิงปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นไม่เพียงแต่ช่วยเพิ่มความเข้าใจของผู้เรียนเกี่ยวกับผลกระทบของมุมเอียงและทิศทางการติดตั้งที่ส่งผลต่อการผลิตกำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์เท่านั้น แต่ยังเป็นต้นแบบของการเรียนรู้ที่ผสานระหว่างทฤษฎีและการทดลองจริง ซึ่งสามารถนำไปขยายผลใช้ในรายวิชาด้านพลังงานไฟฟ้า วิศวกรรมพลังงานหมุนเวียน หรือการเรียนรู้แบบ STEM/STEAM ได้ต่อไป

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

1.1 ผลการวิจัยสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในรายวิชาที่เกี่ยวข้องกับพลังงานหมุนเวียน วิศวกรรมไฟฟ้า หรือระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อให้นักศึกษาได้เรียนรู้เชิงปฏิบัติและเข้าใจหลักการทำงานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากการทดลองจริง ซึ่งช่วยส่งเสริมทักษะการคิดวิเคราะห์ การแก้ปัญหา และการเรียนรู้เชิงรุก (Active Learning) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.2 หน่วยงานการศึกษา วิทยาลัย หรือมหาวิทยาลัย สามารถนำชุดนวัตกรรมการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นไปใช้ในการจัดการเรียนการสอน เพื่อเป็นสื่อการสอนรูปแบบใหม่ที่ช่วยเชื่อมโยงเนื้อหาทางทฤษฎีกับการปฏิบัติจริง ทั้งยังสามารถขยายผลไปใช้ในการอบรมหรือกิจกรรมส่งเสริมความรู้ด้านพลังงานหมุนเวียนแก่ชุมชนได้อีกด้วย

2. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

2.1 ผู้ที่สนใจศึกษาสามารถขยายขอบเขตการศึกษาด้วยการทดลองในฤดูกาลต่าง ๆ หรือเปรียบเทียบการปรับมุมเอียงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในหลายภูมิภาคของประเทศไทย เพื่อให้ได้ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างรังสีดวงอาทิตย์ มุมเอียง และประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าในบริบทที่แตกต่างกัน

2.2 สามารถพัฒนาชุดนวัตกรรมการเรียนรู้ให้เชื่อมโยงกับเทคโนโลยีดิจิทัล เช่น ระบบ IoT, การบันทึกข้อมูลผ่านคลาวด์ หรือการใช้ปัญญาประดิษฐ์ (AI) ในการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อเพิ่มศักยภาพของสื่อการเรียนรู้ และต่อยอดสู่การเรียนรู้แบบอัจฉริยะ (Smart Learning) ที่สอดคล้องกับแนวโน้มการศึกษายุคใหม่

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ที่สนับสนุนงานวิจัยนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

Amornrat, P., and Methanan, A. (2017). *Design and installation of off-grid solar power generation system.* Bangkok: Siam University.

Carnevale, A. P., Smith, N., and Melton, M. (2013). *21st century competencies for college and career readiness.* Washington, DC: Center on Education and the Workforce, Georgetown University.

Chanthi, N., and Sawangmek, S. (2024). Promoting creativity and innovation through online learning based on the Double Diamond Design process combined with the Maker Space concept on the topic of equilibrium of forces among Grade 10 students. *MCU Social Science Review Journal, 13*(3), 300–313.

Daoruang, N., and Jantakoon, J. (2024). The development of learning activities based on the design thinking approach to enhance scientific creativity for grade 3 students. *Journal of Graduate Research, 15*(1), 27–38.

Intamas,P., Pansrinaun,W., Sakulpaisan,K., Sukthang,K., Chattunyakit,S.,and Boonraksa,P. (2022). Designing and building a coffee bean polishing machine using a smartphone controller. *Sripatum Review of Science and Technology, 14*(1), 169–183.

Inthamas, P., Wanthong, U., and Boonraksa, P. (2023). Guidelines for the development of agricultural technology and innovation for goat farmers in the large-scale goat farming community enterprise of the Pak Phanang River Basin. *Journal of the Southern Vocational Education Institute 1*, *8*(2), 31–40.

Kittinorarat, J., and Acherayawathana, O. (2024). *Sampling in research: Principles, methods, and applications*. *Journal of Innovation in Educational Administration and Management*, *2*(1), 39–55.

Northern Illinois University. (2025). *Experiential learning: An instructional guide* [Internet]. DeKalb, IL: NIU. [Online]. Retrieved from: https://www.niu.edu/citl/resources/guides/instructional-guide/experiential-learning.shtml

Phadungphon, T. (2025). Development of an online active learning model integrated with learning from practice to promote self-regulation and learning achievement on the topic of atomic electron structure among undergraduate students. *Journal of Curriculum and Instruction, Sakon Nakhon Rajabhat University, 17*(49), 105–116.

Piaget, J. (1952). *The origins of intelligence in children.* New York: International Universities Press.

Thonghirun, P., and Nilkamjorn, T. (2012). *Effect of tilt angle of solar cell in SWU area*. *Science Essence Journal*, *28*(2), 89–102.

Thornhill-Miller, B. (2023). Creativity, critical thinking, communication, and collaboration: Assessment, certification, and promotion of 21st century skills for the future of work and education. *Frontiers in Education, 8*, 10054602. https://doi.org/10.3389/feduc.2023.10054602

Tuntavanitch, P., and Jindasri, P. (2018). *The real meaning of IOC*. *Journal of the Faculty of Education, Mahasarakham University*, *24*(2), 1–12.

U.S. Department of Energy. (2025). *Solar photovoltaic cell basics* [Internet]. Washington, DC: U.S. DOE. [Online] Retrieved October 24, 2025, from: https://www.energy.gov/eere/solar/solar-photovoltaic-cell-basics

U.S. Energy Information Administration. (2025). *Solar energy and the environment* [Internet]. Washington, DC: U.S. EIA. [Online]. Retrieved October 24, 2025, from: https://www.eia.gov/energyexplained/solar/solar-energy-and-the-environment.php

Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes.* Cambridge, MA: Harvard University Press.

World Economic Forum. (2020). *The future of jobs report 2020.* Geneva: World Economic Forum. *Energy*, 286, 128640.

Yasmini, L. P. B., Valentina, D. N., and Risha, N. (2025). Effectiveness of Monocrystalline Solar Panel Tilt Angle to Output Power and Efficiency: Case study for Singaraja-Bali. *JST (Jurnal Sains Dan Teknologi)*, *14*(1), 168–177.