

การพัฒนาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพระบบติดตามแสงอัตโนมัติ สำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์

Development and Performance Comparison of an Automatic Solar Tracking System for Photovoltaic Panels

สารสิน โคตรธาดา^{1*} ชลิดา โปะะมา¹ อนุรักษ์ บัวจรรณู¹ เทพวารินทร์ จาปาศักดิ์¹ ริคคาร์โด อลิคานดริ¹ และ สมรักษ์ กาญจโน¹

Sarasin Khotthada^{1*} Chalida Pohma¹ Anurak Buajaroon¹ Tepwarin Champasak¹ Riccardo Alicandri¹ and Somrak Kanchano¹

^{1*} สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานและโลจิสติกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

¹ Department of Energy and Logistics Engineering Faculty of Engineering and Technology Siam Technology College

*Corresponding author E-mail: sarasin.k@siamtech.ac.th

Received: December 9, 2025

Revise: December 26, 2025

Accepted: December 27, 2025

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้ทำการพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตามแสงอัตโนมัติ โดยเปรียบเทียบกับระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดคงที่ ซึ่งปัญหาที่พบในระบบคงที่คือการผลิตพลังงานที่ไม่สูงสุด เนื่องจากทิศทางของแผงเซลล์ไม่ได้ตั้งฉากกับแสงอาทิตย์ตลอดเวลา ส่งผลกระทบต่อปริมาณพลังงานที่ได้รับและความคุ้มค่าในการลงทุน การวิจัยนี้จึงมีความสำคัญในการนำเสนอแนวทางเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพลังงานวัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้เพื่อการพัฒนาต้นแบบระบบติดตามแสงอาทิตย์อัตโนมัติ การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตพลังงานระหว่างระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดคงที่กับระบบติดตามแสงอาทิตย์อัตโนมัติ ระบบติดตามที่ได้พัฒนาขึ้นใช้เซ็นเซอร์ตรวจจับแสง (LDR) จำนวน 5 ตัว เพื่อระบุทิศทางของแสงอาทิตย์และควบคุมเซอร์โวมอเตอร์เพื่อปรับองศาของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้ตั้งฉากกับแสงอาทิตย์อย่างต่อเนื่อง ผลการทดลองภายใต้สภาวะท้องฟ้าโปร่ง แสดงว่าระบบติดตามแสงอาทิตย์ผลิตพลังงานรวมได้ 91.18 Wh ซึ่งสูงกว่าระบบคงที่ซึ่งผลิตได้ 71.04 Wh คิดเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพ 29% การปรับทิศทางแผงเซลล์แสงอาทิตย์ช่วยเพิ่มปริมาณพลังงานที่ผลิตได้

คำสำคัญ: ระบบติดตามแสงอาทิตย์ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ประสิทธิภาพการผลิตพลังงาน LDR เซอร์โวมอเตอร์

Abstract

This research focuses on the development and performance evaluation of an automatic solar tracking photovoltaic system, compared with a fixed solar panel system. One of the main limitations of fixed solar panel systems is their inability to continuously face the sun perpendicularly, resulting in suboptimal energy generation and reduced investment efficiency. Therefore, this study aims to propose an effective approach to enhance energy production efficiency. The objectives of this research are to develop a prototype of an automatic solar tracking system and to compare the energy generation performance between a fixed solar panel system and an automatic solar tracking system. The developed tracking system utilizes five Light Dependent Resistors (LDRs) to detect the

direction of sunlight and control servo motors to continuously adjust the orientation of the solar panel so that it remains perpendicular to the sun's rays. Experimental results under clear-sky conditions indicate that the solar tracking system generated a total energy output of 91.18 Wh, which is higher than the 71.04 Wh produced by the fixed system. This represents an efficiency improvement of approximately 29%. The results demonstrate that adjusting the orientation of the solar panel significantly enhances energy production.

Keywords: Solar tracking system, Photovoltaic panel, Energy production efficiency, LDR, Servomotor

1. บทนำ

การใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในการสร้างไฟฟ้า ด้วยเทคโนโลยีโซลาร์เซลล์ร่วมกับระบบติดตามความเข้มแสง ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งในการประยุกต์ใช้ในระบบการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ งานวิจัยที่ผ่านมาได้นำเสนอการออกแบบฮาร์ดแวร์และการนำระบบไปใช้เพื่อให้แน่ใจว่าตำแหน่งของแผงโซลาร์เซลล์จะตั้งฉากต่อการแผ่รังสีแสงอาทิตย์เสมอ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบติดตามแกนคู่ตามความเข้มแสงช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพโดยรวมให้ดีขึ้น [1] อีกทั้งยังมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับระบบติดตามแสงในเขตเมืองร้อนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้ดียิ่งขึ้น [2] การนำประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติมาใช้เป็นเรื่องสำคัญที่ควรให้ความสนใจเป็นอย่างยิ่ง เพราะนอกจากจะเป็นการลดปริมาณและประหยัดพลังงานเดิมที่ใช้อยู่ในปัจจุบันแล้ว ยังเป็นการนำพลังงานทดแทนที่มีอยู่ในธรรมชาติมาใช้ให้เกิดคุณค่าและมีประสิทธิภาพด้วย เป็นพลังงานที่สะอาดปราศจากมลพิษและเป็นพลังงานที่มีศักยภาพ โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานได้จำแนกการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ออกเป็น 2 รูปแบบ คือ การใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า และ การใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตความร้อน [3] สำหรับปัญหาที่พบในการผลิตไฟฟ้า คือความจำเป็นในการให้แผงโซลาร์เซลล์ได้รับแสงอย่างเต็มที่เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต โดยเฉพาะในสถานที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงของทิศทางแสงอาทิตย์และมุมของแสงอย่างต่อเนื่อง เช่น การเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ หรือสิ่งกีดขวางต่างๆ การปรับทิศทางหรือมุมของแผงโซลาร์เซลล์ให้ตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์จึงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตพลังงานได้ สอดคล้องกับงานวิจัยที่ได้พัฒนาวงจรควบคุมการเคลื่อนที่ของแผงโซลาร์เซลล์ตามความเข้มแสงแบบ 1 แกน เพื่อแก้ปัญหาการรับแสงที่ไม่เต็มประสิทธิภาพนี้ [4] โดย วิศิษฎ์ มหานิลและคณะได้ทำการวิจัยระบบเฝ้าตรวจวัดความเข้มรังสีแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ ซึ่งใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลและส่งข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ต ผลการวิจัยพบว่าสามารถใช้ทดแทนเครื่องมือวัดมาตรฐานไพเนอรอมิเตอร์ได้เป็นอย่างดี [5] นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่พัฒนาเครื่องมือบันทึกข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์ด้วย Arduino สำหรับวิเคราะห์ประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อให้ได้ข้อมูลที่แม่นยำยิ่งขึ้น [6] รวมถึงมีการศึกษาการใช้เซ็นเซอร์รับภาพในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องติดตามตำแหน่งดวงอาทิตย์ ซึ่งเป็นเครื่องมือสำคัญในการพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานทดแทนที่สะอาด [7] ในด้านพื้นฐานทางวิศวกรรม พบว่าแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของระบบที่เชื่อมต่อกับกริดขึ้นอยู่กับตัวแปรต่างๆ เช่น การส่งเสริมพลังงานทดแทน ซึ่งหนังสือ Photovoltaic Systems Engineering ได้ให้พื้นฐานวิศวกรรมที่ครอบคลุมสำหรับการออกแบบระบบโซลาร์เซลล์ (PV) เพื่อให้เข้าใจหลักการทางไฟฟ้า [8] ซึ่งรวมถึงความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์และการเปรียบเทียบแรงดัน (Voltage Comparator) ที่จำเป็นสำหรับการสร้างระบบควบคุม [9] และความเข้าใจเกี่ยวกับตัวต้านทานแสง (LDR) ซึ่งเป็นอุปกรณ์เซ็นเซอร์สำคัญที่ใช้ในระบบติดตามแสง [10]

จากงานวิจัยและหลักการดังกล่าว ทำให้ผู้วิจัยได้แนวคิดที่ว่าแผงโซลาร์เซลล์ที่เคลื่อนที่ตามแสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าสูงกว่าแผงที่ติดตั้งอยู่กับที่ จึงนำมาสู่การพัฒนาแผงโซลาร์เซลล์เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์โดยอัตโนมัติ โดยใช้เทคโนโลยีเซ็นเซอร์และการควบคุมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าให้ได้ผลลัพธ์ที่มีค่าสูงสุด

2. วิธีดำเนินการวิจัย (Methodology)

การดำเนินงานวิจัยอย่างตั้งแต่การออกแบบและสร้างระบบต้นแบบ การติดตั้ง ไปจนถึงกระบวนการเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อให้ผลการทดลองมีความน่าเชื่อถือและสามารถทำซ้ำได้

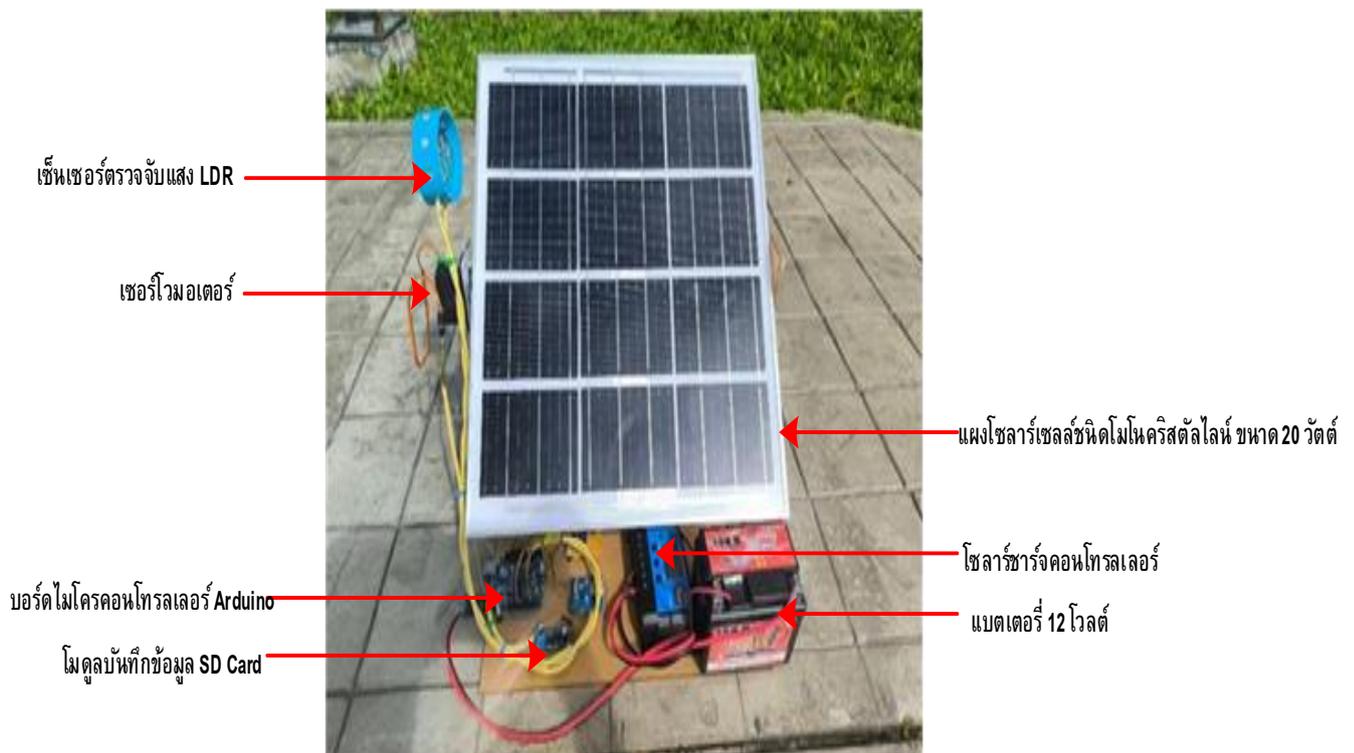
2.1 วัสดุและอุปกรณ์

อุปกรณ์หลักที่ใช้ในการสร้างและทดสอบระบบต้นแบบประกอบด้วย:

- 1) แผงโซลาร์เซลล์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์ ขนาด 20 วัตต์ จำนวน 1 แผง
- 2) โซลาร์ชาร์จคอนโทรลเลอร์ (Solar Charge Controller)
- 3) เซ็นเซอร์ตรวจจับแสง LDR จำนวน 5 ตัว
- 4) เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor)
- 5) แบตเตอรี่ 12 โวลต์
- 6) บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino
- 7) โมดูลบันทึกข้อมูล SD Card

2.2 การออกแบบและสร้างระบบต้นแบบ

ระบบต้นแบบถูกออกแบบโดยคำนึงถึงกลไกการทำงานและวงจรควบคุมดังนี้



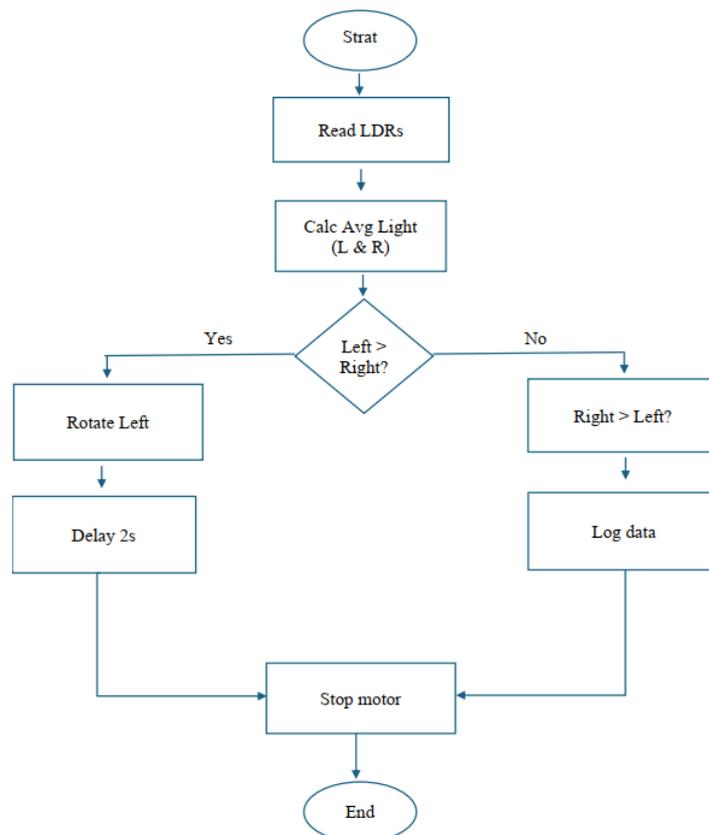
รูปที่ 1 ระบบติดตามแสงอัตโนมัติ สำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์

- 1) การออกแบบเชิงกลไก แผงโซลาร์เซลล์ถูกติดตั้งบนโครงสร้างที่สามารถปรับมุมได้โดยมีเซอร์โวมอเตอร์เป็นชุดขับเคลื่อน



รูปที่ 2 ระบบติดตามแสงอัตโนมัติ เซ็นเซอร์ตรวจจับแสง LDR

- 2) การออกแบบวงจรเซ็นเซอร์ เซ็นเซอร์ LDR ทั้ง 5 ตัวถูกจัดวางในลักษณะที่สามารถเปรียบเทียบความเข้มแสงจากทิศทางต่างๆ (ซ้าย-ขวา, บน-ล่าง) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 3 กระบวนการทำงานของระบบติดตามแสงอัตโนมัติ

- 3) กระบวนการทำงาน ระบบทำงานตามอัลกอริทึมที่สรุปได้จากผังภาพการทำงาน (Flowchart) ในรูปที่ 3 ของ โดยมีลำดับการทำงานคือ ระบบจะอ่านค่าความเข้มแสงจาก LDR ทุกตัว เปรียบเทียบค่าที่อ่านได้เพื่อหาทิศทางที่แสงมีความเข้มสูงสุด, จากนั้นจึงส่งคำสั่งให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนแฉกไปยังทิศทางนั้น หลังจากปรับมุมแล้ว ระบบจะทำการบันทึกข้อมูลแรงดันและกระแสไฟฟ้าลงใน SD Card และหน่วงเวลาสักครู่ก่อนจะเริ่มกระบวนการเปรียบเทียบแสงใหม่อีกครั้ง

2.3 ขั้นตอนการทดลองและเก็บข้อมูล

การทดลองแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพ

- 1) ระบบติดตามแสง (Tracking System) เปิดใช้งานระบบควบคุมอัตโนมัติเพื่อให้แผงปรับมุมตามดวงอาทิตย์ ตลอดเวลา
- 2) ระบบคงที่ (Fixed System) ปิดการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ และยึดแผงให้ทำมุมเอียงประมาณ 15 องศา กับแนวระนาบ โดยหันหน้าไปทางทิศใต้ ซึ่งเป็นมุมติดตั้งมาตรฐาน

ในแต่ละรูปแบบการทดลอง จะทำการบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้า (V) และกระแสไฟฟ้า (A) ทุกๆ 30 นาที ตั้งแต่เวลา 09:00 น. ถึง 16:30 น. การทดลองสำหรับแต่ละระบบจะดำเนินการเป็นเวลา 3 วัน ภายใต้สภาวะอากาศที่มีท้องฟ้าโปร่ง และแสงแดดสม่ำเสมอ

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่บันทึกไว้ในไฟล์รูปแบบ .txt จาก SD Card จะถูกนำเข้าโปรแกรม Microsoft Excel เพื่อคำนวณหา กำลังไฟฟ้า (W) จากสมการที่ 1 และพลังงานไฟฟ้า (Wh) จากสมการที่ 2

$$P=V \times I \quad (1)$$

โดยที่ P คือ กำลังไฟฟ้า (Watt)

V คือ แรงดันไฟฟ้า (Volt)

I คือ กระแสไฟฟ้า (Amp)

และ
$$\text{พลังงานไฟฟ้า (Wh)} = \text{กำลังไฟฟ้า (W)} \times \text{เวลา (hr)} \quad (2)$$

ในแต่ละช่วงเวลา จากนั้นจะนำข้อมูลของทั้ง 3 วันในแต่ละระบบมาหาค่าเฉลี่ย เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ ประสิทธิภาพและสร้างกราฟวิเคราะห์ผล

ชุดข้อมูลแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองนี้ เป็นพื้นฐานสำหรับการเปรียบเทียบปริมาณ พลังงานที่ผลิตได้เชิงปริมาณโดยตรง ซึ่งจะถูกนำไปวิเคราะห์ในหัวข้อถัดไปเพื่อประเมินประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นอย่างแม่นยำ

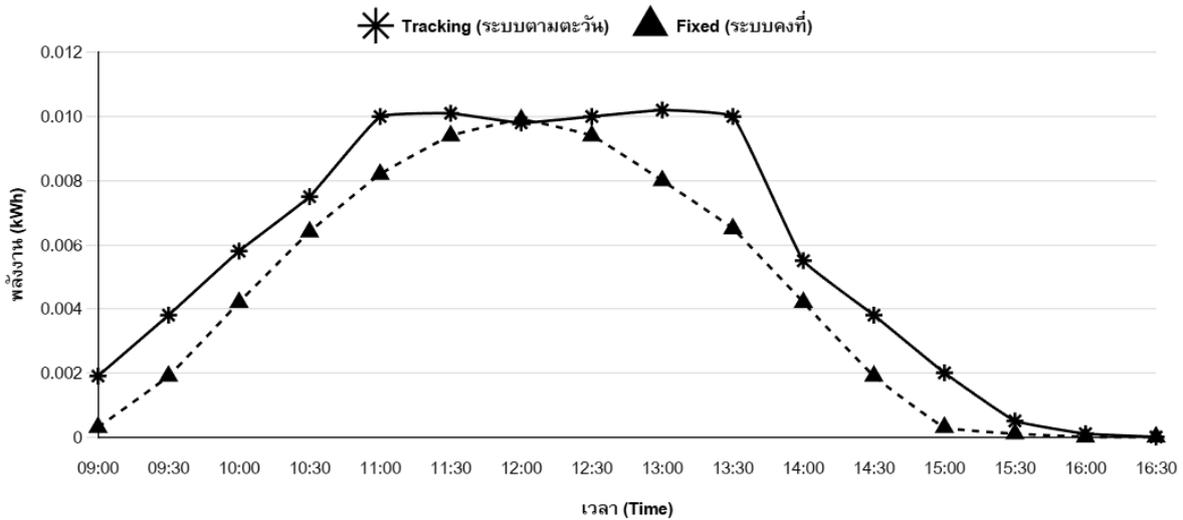
3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล (Results and Discussion)

3.1 ผลการทดลอง

จากการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลค่าเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทดลอง 3 วันสำหรับแต่ละระบบ ได้ผลสรุปที่สำคัญดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สรุปผลการผลิตพลังงานและมูลค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้เฉลี่ยต่อวัน

ระบบ	พลังงานไฟฟ้ารวมเฉลี่ย (Wh)
ระบบติดตามแสงอัตโนมัติ	91.18
ระบบติดตั้งแบบคงที่	71.04



รูปที่ 4 การเปรียบเทียบค่าพลังงานเฉลี่ยของระบบติดตามแสงและแบบคงที่

เมื่อพิจารณาแนวโน้มการผลิตพลังงานตลอดทั้งวันจากกราฟเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย พบว่าระบบติดตามแสงสามารถผลิตแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าได้สูงกว่าระบบคงที่อย่างสม่ำเสมอ โดยเฉพาะในช่วงเวลา 10:30 น. ถึง 14:00 น. ซึ่งเป็นช่วงที่ความเข้มของแสงอาทิตย์สูงสุด ความแตกต่างนี้แสดงให้เห็นถึงความสามารถของระบบติดตามแสงในการรักษาประสิทธิภาพการรับพลังงานได้อย่างต่อเนื่อง

3.2 อภิปรายผลการวิจัย

- 1) ประสิทธิภาพการผลิตพลังงานผลการทดลองยืนยันอย่างชัดเจนว่าระบบติดตามแสงอัตโนมัติมีประสิทธิภาพสูงกว่าระบบติดตั้งแบบคงที่ โดยสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่าถึง 29% สาเหตุหลักมาจากการที่ระบบสามารถปรับมุมของแผงให้ตั้งฉากกับรังสีดวงอาทิตย์ได้ตลอดเวลา ทำให้เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับปริมาณโฟตอนสูงสุดอย่างต่อเนื่อง ซึ่งแตกต่างจากระบบคงที่ซึ่งจะได้รับแสงในมุมที่เหมาะสมที่สุดเพียงช่วงเวลาสั้นๆ ของวันเท่านั้น
- 2) จากการวิจัยการพัฒนาระบบติดตามแสงอาทิตย์ของแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดในขนาดที่ใหญ่ขึ้นต่อไปในอนาคตได้

4.สรุปและข้อเสนอแนะ (Conclusion and Recommendations)

4.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้มีการทดลองประสิทธิภาพของระบบติดตามแสงอัตโนมัติสำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ผลการทดลองยืนยันสมมติฐานหลักได้อย่างชัดเจนว่า ระบบติดตามแสงที่พัฒนาขึ้นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูง

ถึง 29% เมื่อเทียบกับระบบติดตั้งแบบคงที่ภายใต้สภาวะการทดลองเดียวกัน การค้นพบนี้ชี้ให้เห็นถึงศักยภาพของเทคโนโลยีการติดตามแสงในการเพิ่มผลผลิตและผลตอบแทนจากการลงทุนในระบบพลังงานแสงอาทิตย์ได้

4.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต

เพื่อต่อยอดองค์ความรู้และพัฒนาาระบบให้สามารถนำไปใช้งานจริงได้อย่างเต็มศักยภาพ คณะผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคตดังนี้:

- 1) การทดสอบในสภาพแวดล้อมจริง: ควรมีการทดสอบประสิทธิภาพของระบบในสภาพอากาศที่หลากหลายและในฤดูกาลที่แตกต่างกัน เพื่อประเมินสมรรถนะการทำงานในสภาวะที่ไม่เอื้ออำนวย เช่น วันที่มีเมฆมากหรือฝนตก
- 2) การศึกษาความทนทานและอายุการใช้งานควรมีการทดสอบความทนทานของกลไกและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในระยะยาว เพื่อประเมินความน่าเชื่อถือและอายุการใช้งานของระบบ
- 3) การพัฒนาระบบให้ง่ายและต้นทุนต่ำควรมีการวิจัยเพื่อพัฒนากลไกและระบบควบคุมให้มีความซับซ้อนน้อยลง ใช้วัสดุที่ทนทานแต่มีราคาถูก เพื่อลดต้นทุนการผลิตและทำให้เทคโนโลยีนี้เข้าถึงได้ง่ายขึ้น
- 4) การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบโดยรวมควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการเลือกใช้แบตเตอรี่และชาร์จคอนโทรลเลอร์ที่เหมาะสมยิ่งขึ้น รวมถึงการติดตั้งระบบระบายความร้อน เช่น พัดลมใต้แผง พร้อมทั้งเก็บข้อมูลอุณหภูมิของแผงเพื่อนำมาวิเคราะห์ผลกระทบต่อประสิทธิภาพการผลิตพลังงานให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Maharaja K, Joseph Xavier R, Jennifer Amla L, Pradeep Balaji P. Solar power generation optimization by intensity based dual axis solar tracking system. *Int J Appl Eng Res.* 2015;10(8):19457-65.
- [2] Barrios-Sánchez JM, Tlapanco-Ríos EI. Dual-Axis Solar Tracking System for Enhanced Photovoltaic Efficiency in Tropical Climates. *Sustainability.* 2025;17(7):3241.
- [3] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. *Executive Summary / REPTIO Model.* กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน; 2557.
- [4] จิตริน แพทอง, รณวรรณ เพ็งเอี่ยม, ดำรงศักดิ์ เมืองกลาง. *วงจรควบคุมการเคลื่อนที่ของแผงโซลาร์เซลล์ตามความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์แบบ 1 แกน* [ปริญญานิพนธ์]. ชลบุรี: มหาวิทยาลัยบูรพา; 2558.
- [5] วิศิษฐ์ มหานิล, อภิชญา ศรีชัยกุล, อุมาพร พิพิธทอง. เครื่องบันทึกข้อมูลทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์และส่งข้อมูลผ่านระบบอินเทอร์เน็ต. *วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ประยุกต์.* 2561;2561(2):31-44.
- [6] เอกรัตน์ นภกานต์, บุญยง ปลั่งกลาง. *พัฒนาเครื่องมือบันทึกข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์ด้วย Arduino สำหรับวิเคราะห์ประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์.* [สถานที่พิมพ์ไม่ปรากฏ]: [สำนักพิมพ์ไม่ปรากฏ]; 2562.
- [7] จอง บอ, โจ จ, ลี ค. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องติดตามตำแหน่งแสงอาทิตย์โดยใช้เซ็นเซอร์รับภาพ. *วารสารสมาคมอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างและไฟฟ้า.* 2013;27(5):67-73.
- [8] Messenger RA, Abtahi A. *Solar PV power systems engineering.* 3rd ed. Boca Raton (FL): CRC Press; 2017.
- [9] นภัทร วัจนเทพินทร์. *อิเล็กทรอนิกส์วิศวกรรม.* พระนครศรีอยุธยา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ; 2563. บทที่ 6, วงจรออปแอมป์เปรียบเทียบแรงดัน.
- [10] กิระวิทยา. *ตัวต้านทานแสง (LDR).* กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2562.