

การศึกษาสมรรถนะระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง

Study on the Performance of a Vertical Solar Power Generation System

ภุชณชัย ยอดอรรถัย* และ ธนิต เรืองรุ่งชัยกุล
Grisanachai Yotooratai* and Tanit Ruangrungruchaikul

สาขาวิชาเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ปทุมธานี 12120
Sustainable Development Technology, Faculty of Science and Technology
Thammasat University, Rangsit Campus, Pathum Thani 12120

*Corresponding author: Tel.: 09-59206678. E-mail address: grisanachai.yoto@dome.tu.ac.th

Abstract

Vertical solar power generation systems are designed to maximize the efficiency of utilizing the side space of buildings, especially high-rise structures. Previous studies have shown varied results when conducted at different latitudes. This research aims to study the performance of a vertical solar power generation system at a latitude of 14 degrees north, from 22 March 2024 to 28 May 2024. The findings indicate that the seasonal north-south orbit of the sun significantly impacts the power output of vertical solar systems, particularly on the south and north sides, which produce less power when the sun is on the opposite side of the installed panels. The performance ratio study reveals that vertical solar systems oriented east and west demonstrate similarly high performance at 28.82% and 28.46%, outperforming those oriented north and south, which are 17.46% and 16.43%.

Keywords: Vertical solar cell, internet of thing, grid connected system

บทคัดย่อ

ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งคือหนึ่งในรูปแบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ได้รับการออกแบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พื้นที่ด้านข้างอาคารให้เกิดประโยชน์สูงสุดโดยเฉพาะอาคารสูง ที่ผ่านมามีการศึกษาและได้รับผลที่ต่างกันเมื่อศึกษาที่ละจุดแตกต่างกัน งานวิจัยนี้จึงจัดทำขึ้นมาเพื่อศึกษาสมรรถนะของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งโดยการศึกษา ณ ที่ตั้งละติจูด 14 องศาเหนือ ในช่วงวันที่ 22 มีนาคม 2567 ถึง 28 พฤษภาคม 2567 จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าการโคจรอ้อมเหนือและอ้อมใต้ของดวงอาทิตย์ที่เปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลมีผลต่อกำลังผลิตไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง โดยเฉพาะด้านทิศใต้และทิศเหนือที่จะผลิตกำลังไฟฟ้าได้ลดลงเมื่อดวงอาทิตย์โคจรด้านฝั่งตรงกันข้ามกับแผงที่ติดตั้ง ในส่วนของการศึกษาสมรรถนะระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งพบว่าระบบด้านทิศตะวันออกและทิศตะวันตกมีสมรรถนะสูงใกล้เคียงกันที่ 28.82% และ 28.46% สูงกว่าระบบด้านทิศเหนือและทิศใต้ที่มีสมรรถนะ 17.46% และ 16.43%

คำสำคัญ: เซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง อินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง เซลล์แสงอาทิตย์เชื่อมต่อระบบจำหน่าย

บทนำ

กระทรวงพลังงานประเทศไทยมีนโยบายขับเคลื่อนการใช้พลังงานสะอาดเพื่อลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ตามเป้าหมายสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอน ภายในปี พ.ศ.2593 และเป้าหมายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ ภายในปี พ.ศ.2608 [1] เนื่องด้วยประเทศไทยตั้งอยู่ในพื้นที่ใกล้เขตเส้นศูนย์สูตรได้รับรังสีดวงอาทิตย์อย่างต่อเนื่องและคงที่ตลอดทั้งปี ซึ่งความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศมีค่าเท่ากับ $17.6 \text{ MJ/m}^2\text{-day}$ เป็นปริมาณที่เพียงพอสำหรับนำไปประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ในกระบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้า [2] โดยกระบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อระบบจำหน่าย เป็นระบบที่ใช้สำหรับพื้นที่ที่ระบบสายส่งการไฟฟ้าเข้าถึงแล้วและใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงกลางวันเป็นหลัก [3] โดยเฉพาะกับอาคารขนาดใหญ่ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าสูงกว่ามาตรฐาน ที่ผ่านมามีการศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งที่ละจุด 1 งบศก จากการศึกษาพบว่าระบบมีประสิทธิภาพอยู่ที่ 25%-34% โดยทิศที่ให้สมรรถนะสูงสุดคือทิศตะวันตก แต่เมื่อละจุดพื้นที่ศึกษาเพิ่มขึ้นถึง 32 งบศก ทิศได้จะให้ประสิทธิภาพสูงขึ้น [4] นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยอื่น ๆ ที่ศึกษาเกี่ยวกับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง [5-6]

เพื่อการประยุกต์ใช้พื้นที่ผนังด้านข้างอาคารในการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ และการใช้พื้นที่ว่างให้เกิดประโยชน์ จากการศึกษาของ ศศิเทพ ศรีไชยกิจ (2557) อ้างถึงใน [7] พบว่าการเพิ่มสมรรถนะกรอบอาคารสำนักงาน ด้วยการประยุกต์ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์บังแดดติดตั้งทำมุม 90 องศา กับพื้นราบ ผนังหน้าเซลล์แสงอาทิตย์ไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ สามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศภายในอาคารได้ 15.65% ของการใช้งานระบบปรับอากาศเดิม อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้ยังสามารถศึกษาต่อยอดได้อีก กล่าวคือ การศึกษาดังกล่าวศึกษาเพียงทิศตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งยังขาดการศึกษาประสิทธิภาพสำหรับทิศอื่น ๆ นอกจากนี้ตามงานวิจัยที่ได้กล่าวถึงก่อนหน้านี้ศึกษาละจุดที่แตกต่างกันและได้ผลที่แตกต่างกัน ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงได้จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมรรถนะของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง 4 ทิศ ได้แก่ ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก ทิศตะวันตก โดยติดตั้งทดสอบ ณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ที่ละจุด 14 งบศกเหนือ

วิธีการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ มีวิธีดำเนินการวิจัยดังนี้

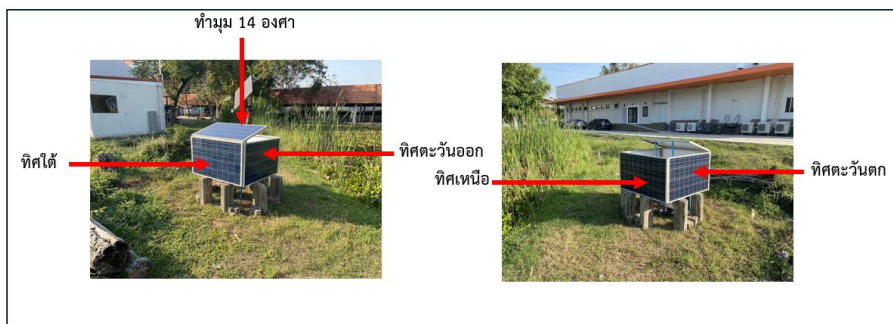
1. การศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากเอกสารวิจัย บทความวิชาการ ข้อมูลอินเทอร์เน็ต เพื่อรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการศึกษาทดสอบประสิทธิภาพระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง รวมถึงข้อมูลอื่น ๆ ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการวิจัยนี้ได้

2. การออกแบบการทดลองและติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง

การออกแบบและติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง (ภาพที่ 1) มีหลักการโดยติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ตั้งฉากกับแนวราบบนฐานรองเป็นรูปสี่เหลี่ยม ผนังหน้าแผงเซลล์ไปทาง ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ และทิศตะวันตก ทิศละ 1 ชุด พร้อมทั้งติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำมุม 14 องศา กับแนวราบ ผนังหน้าเซลล์ไปทาง ทิศใต้ 1 ชุด โดยที่แต่ละชุดมีขนาดกำลังผลิตไฟฟ้า 100 วัตต์ เชื่อมต่อเข้ากับเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าและเครื่องแปลง

กระแสไฟฟ้า (Grid Tie Invertor) จ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าระบบสายส่ง (อาคารเรียน) และวัดค่าความเข้มแสงดวงอาทิตย์จากเครื่องวัดความเข้มแสง (Pyranometer) ที่ติดตั้งใกล้กับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง



ภาพที่ 1 ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง

3. การทดลองและเก็บข้อมูลการผลิตพลังงานไฟฟ้า

การทดสอบการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ทำการเก็บข้อมูลค่ากระแสไฟฟ้า (แอมป์) แรงดันไฟฟ้า (โวลต์) กำลังไฟฟ้า (วัตต์) พลังงานไฟฟ้า (วัตต์ชั่วโมง) ด้วยเซนเซอร์วัดพลังงานไฟฟ้า แบบ real-time ทุก ๆ 10 นาที โดยใช้ อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Thing) พร้อมทั้งเก็บค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (วัตต์/ตารางเมตร) ทุก ๆ 1 วินาที ที่บันทึกไว้ใน Secure Digital Card ที่คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ละติจูด 14 องศาเหนือ ตั้งแต่วันที่ 22 มีนาคม 2567 ถึง 28 พฤษภาคม 2567

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ กำลังไฟฟ้าและสมรรถภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) การวิเคราะห์กำลังไฟฟ้า: โดยนำข้อมูลค่ากระแสไฟฟ้าและค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบไปวิเคราะห์ เพื่อแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงและความแตกต่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ในช่วงดวงอาทิตย์โคจรอ้อมได้ โคจรตั้งฉากพื้นที่ศึกษา และโคจรอ้อมเหนือ ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 1

$$P = VI \quad (1)$$

โดยที่ P คือ กำลังไฟฟ้า (วัตต์)

V คือ แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)

A คือ กระแสไฟฟ้า (แอมป์)

2) การวิเคราะห์สมรรถภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้า (Performance Ratio): โดยนำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบไปประเมินสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ตามมาตรฐาน International Electrotechnical

$$Y_f = E_{PVAC} / P_O \quad (2)$$

$$Y_r = H_i / G_{STC} \quad (3)$$

$$PR = Y_f / Y_r \quad (4)$$

Commission หรือ IEC 61724 ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2-4 [8]

โดยที่ PR คือ สมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์

Y_f คือ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบต่อกำลังการติดตั้งสูงสุด (kWh/kW_p)

Y_r คือ คี้อัตราส่วนระหว่างค่าพลังงานแสงอาทิตย์รวมบนระนาบแผงเซลล์ (H , kWh/m²-day) ต่อความเข้มรังสีแสงอาทิตย์มาตรฐาน (G , 1 kW/m²-day) [9]

E_{PVAC} คือ ผลรวมพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับที่ผลิตจากระบบผลิตไฟฟ้า (kWh)

P_o คือ ขนาดของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้ง (kW_p)

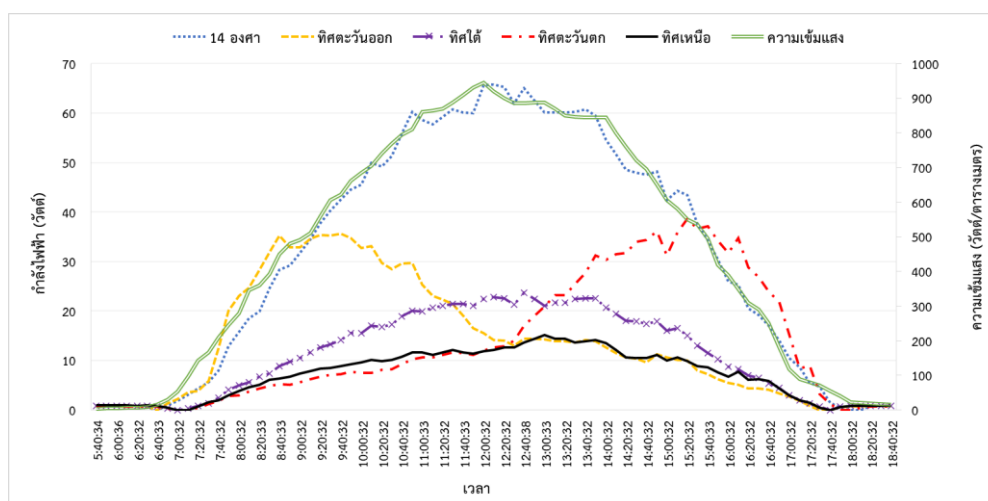
H_i คือ ค่าพลังงานแสงอาทิตย์รวมบนระนาบแผงเซลล์ (kWh/m²-day)

G_{STC} คือ ค่ารังสีอาทิตย์ที่มาตรฐาน STC (1 kW/m²-day)

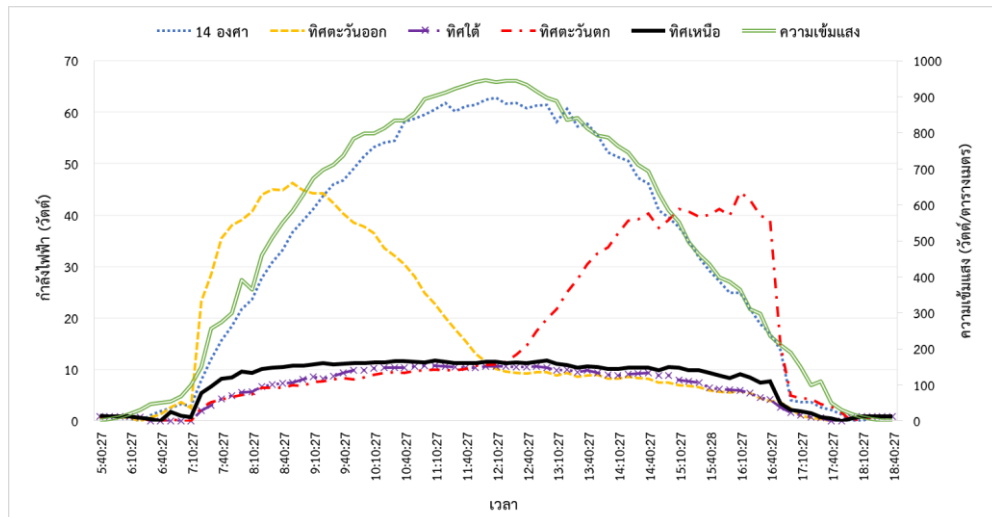
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การผลิตกำลังไฟฟ้า

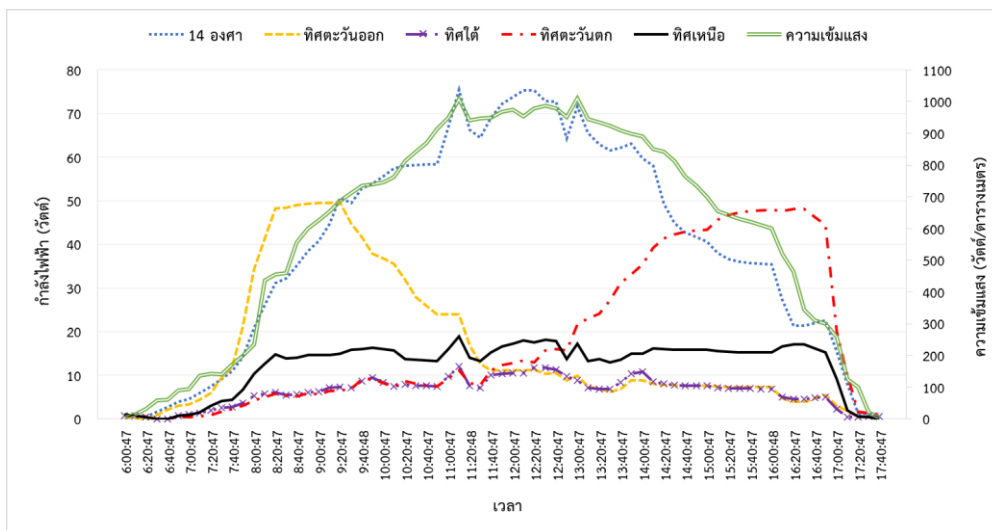
การศึกษารังนี้ทำการเก็บข้อมูลในช่วงที่ดวงอาทิตย์โคจรอ้อมใต้อยู่เล็กน้อยจนถึงโคจรอ้อมเหนือเล็กน้อย จึงส่งผลให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศเหนือและทิศใต้ได้รับแสงอาทิตย์ไม่เต็มที่ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ในช่วงดังกล่าวจึงไม่สูง ซึ่งต่างจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศตะวันออกที่รับแสงอาทิตย์เต็มที่ในช่วงเช้า และแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศตะวันตกได้รับแสงอาทิตย์เต็มที่ในช่วงบ่าย จึงผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงกว่าในช่วงดังกล่าว โดยจากผลวิเคราะห์การผลิตกำลังไฟฟ้าจะเห็นได้ว่าการโคจรอ้อมเหนือและอ้อมใต้ของดวงอาทิตย์มีผลอย่างมากต่อกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ โดยเฉพาะแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งทิศเหนือและทิศใต้ มีผลแสดงดังภาพที่ 2-4 แต่อย่างไรก็ตามจากข้อมูลการศึกษานี้สามารถคาดการณ์ได้ว่า เมื่อดวงอาทิตย์โคจรอ้อมทิศเหนือมากขึ้น กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศเหนือจะมีแนวโน้มสูงขึ้น เช่นเดียวกันเมื่อดวงอาทิตย์กลับมาโคจรอ้อมทิศใต้มากขึ้นกว่าช่วงที่ทำการทดสอบ แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศใต้มีแนวโน้มจะผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงขึ้น เนื่องจากมุมที่รังสีแสงอาทิตย์ตกกระทบจะเข้าหามุมที่ตั้งฉากกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์มากขึ้น หรือได้รับพลังงานแสงอาทิตย์มากขึ้น ณ ช่วงเวลาดังกล่าว



ภาพที่ 2 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ช่วงดวงอาทิตย์อ้อมใต้เล็กน้อย (วันที่ 22 มีนาคม 2567)



ภาพที่ 3 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ช่วงดวงอาทิตย์ตั้งฉากพื้นที่ศึกษา (วันที่ 30 เมษายน 2567)

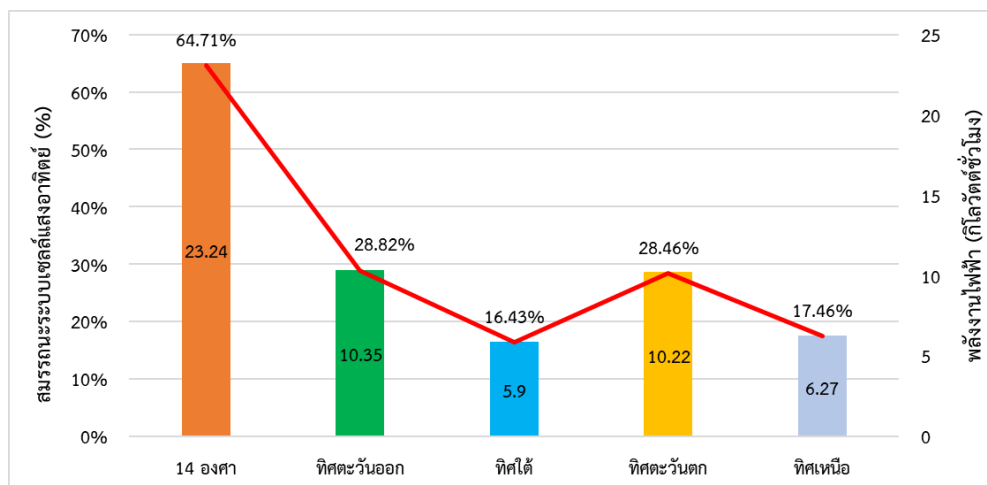


ภาพที่ 4 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ช่วงดวงอาทิตย์อ้อมเหนือ (วันที่ 28 พฤษภาคม 2567)

การผลิตพลังงานไฟฟ้าและสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์

จากผลวิเคราะห์สมรรถนะของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งที่ได้จากการทดสอบพบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศตะวันออกและตะวันตก มีสัดส่วนของสมรรถนะสูงเกือบครึ่งหนึ่ง เมื่อเปรียบเทียบกับชุดที่ติดตั้งทำมุม 14 องศาแบบแนวราบหันหน้าเซลล์ไปทางทิศใต้ ดังแสดงในภาพที่ 5 สอดคล้องกับการศึกษาของ [10] แต่มีความแตกต่างในส่วนสมรรถนะของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศเหนือและทิศใต้ เนื่องจากในงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลในช่วงที่ดวงอาทิตย์โคจรอ้อมใต้เล็กน้อยจนถึงโคจรอ้อมเหนือเล็กน้อยเท่านั้น ไม่ครอบคลุมระยะเวลาตลอดทั้งปีที่ดวงอาทิตย์สามารถโคจรอ้อมเหนือและอ้อมใต้ได้มากขึ้นไปอีก ซึ่งพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งด้านทิศเหนือและทิศใต้จะสูงเพิ่มขึ้นไปด้วย ดังนั้นจึงสามารถคาดการณ์ได้ว่า เมื่อมีการเก็บข้อมูลครบทั้งปี สมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แนวตั้งด้านทิศเหนือและทิศใต้มีแนวโน้มจะสูงขึ้น ส่วนในด้านทิศตะวันออกและทิศตะวันตกจะไม่แตกต่างจากผลการศึกษานี้มากนัก ในขณะที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งทำมุม 14 องศา จะมีสมรรถนะที่ลดลง เนื่องจากตำแหน่งของดวงอาทิตย์จะโคจรรอบจากจุดที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับรังสี

แสงอาทิตย์ ซึ่งทำให้การผลิตไฟฟ้าลดลง มีผลทำให้สมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งมีแนวโน้มเข้าใกล้สมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งโดยทั่วไปมากยิ่งขึ้น



ภาพที่ 5 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้และสมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์

สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยสรุปได้ว่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศตะวันออก ทิศตะวันตก ทิศเหนือ และทิศใต้ เท่ากับ 10.35 10.22 6.27 และ 5.9 กิโลวัตต์ชั่วโมง และมีสมรรถนะระบบ 28.82 % 28.46% 17.46% และ 16.43% ตามลำดับ ในขณะที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ติดตั้งท่ามุม 14 องศา กับแนวราบหันหน้าเซลล์ไปทางทิศใต้ ผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 23.24 กิโลวัตต์ชั่วโมง และมีสมรรถนะระบบ 64.71% แสดงให้เห็นว่าช่วงการโคจร อ้อมเหนือและอ้อมใต้ของดวงอาทิตย์มีผลต่อกำลังผลิตไฟฟ้าและสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งโดยเฉพาะด้านทิศใต้และทิศเหนือ ที่จะผลิตกำลังไฟฟ้าได้และมีสมรรถนะลดลงเมื่อดวงอาทิตย์โคจรไป ผังตรงกันข้ามแผงที่ติดตั้ง ส่วนระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศตะวันออกและทิศตะวันตกมีสมรรถนะสูงใกล้เคียงกัน ดังนั้นหากต้องการใช้ประโยชน์พื้นที่ด้านข้างอาคารในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า การติดตั้งแบบแนวตั้งด้านทิศตะวันออกและทิศตะวันตกจะมีความเหมาะสมมากกว่าด้านทิศเหนือและทิศใต้ เนื่องจากจะสามารถผลิตไฟฟ้าได้ใกล้เคียงกันในทุก ๆ วัน ในขณะที่แผงด้านทิศเหนือและทิศใต้จะสามารถผลิตไฟฟ้าได้ดีขึ้นในช่วงที่ดวงอาทิตย์โคจรอยู่ในฝั่งที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์เท่านั้น

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้สามารถศึกษาต่อยอดได้ด้วยการทดสอบระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งและเก็บข้อมูลให้ครบตลอดทั้งปี ซึ่งจะทำให้การวิเคราะห์สมรรถนะของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งครบถ้วนมากยิ่งขึ้น และควรมีการศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการลงทุนติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง ก่อนที่จะนำไปติดตั้งใช้งานกับอาคารจริง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สาขาวิชาเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการวิจัย ทำให้งานวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] ประเสริฐ สินสุขประเสริฐ. (2566). นโยบายและแผนพลังงานหมุนเวียนของประเทศไทย สืบค้นเมื่อ 26 ธันวาคม 2566, จาก <https://www.thailand-energy-academy.org/assets/upload/coursedocument/file/Renewable%20Energy%20Policy.pdf>
- [2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (ม.ป.ป.). โครงการปรับปรุงแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย (ปี 2560) สืบค้นเมื่อ 26 ธันวาคม 2566, จาก https://oldwww.dede.go.th/download/OpenBigData/Solar_Map_1_2560.pdf
- [3] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (ม.ป.ป.). คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน ชุดที่ 2 (พลังงานแสงอาทิตย์) สืบค้นเมื่อ 26 ธันวาคม 2566, จาก https://oldwww.dede.go.th/article_attach/h_solar.pdf
- [4] Pantić, L. S., Pavlović, T. M., & Milosavljević, D. D. (2015). A practical field study of performances of solar modules at various positions in Serbia. Thermal Science.
- [5] Ghazali, A., Haw, L. C., Mat, S., & Sopian, K. (2017). Performance and financial evaluation of various photovoltaic vertical facades on high-rise building in Malaysia. Energy and Buildings.
- [6] Reker, S., Schneider, J., & Gerhards, C. (2022). Integration of vertical solar power plants into a future German energy system. Smart Energy.
- [7] ศศิเทพ ศรีไชยกิจ. (2557). การเพิ่มสมรรถนะของกรอบอาคารด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของอาคารสำนักงาน. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. กรุงเทพมหานคร : มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต.
- [8] เอกพันธ์ ผัดศรี คณภรณ์ ก้อนแก้ว และอักรินทร์ อินทนิเวศน์. (2561). “การวิเคราะห์ประสิทธิภาพและสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับสายส่งขนาด 300 kW”, ใน การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา ครั้งที่ 3 ประจำปี 2561, วันที่ 30 สิงหาคม 2561 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี. ชลบุรี : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
- [9] อีระศักดิ์ วาทยโยธา. (2020). การประเมินผลระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และแบตเตอรี่แบบวอร์เอฟภายหลังการติดตั้งสำหรับการรักษาเสถียรภาพและลดค่าไฟฟ้า: กรณีศึกษาโรงพยาบาลทั่วไป. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. กรุงเทพมหานคร : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [10] Shen, L. T., & Fan, J. (2015). Study on the performance of vertical solar PV systems in tropical region. Energy Engineering.