

การหามุมเอียงที่เหมาะสมสำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้าในระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบลอยน้ำจากการวิเคราะห์เชิงทฤษฎีและโปรแกรมจำลอง

Optimal Tilt Angle and Energy Yield in Floating Photovoltaic Systems by Analytical Tilt Model and Simulation Program

ศุภณัฐ เลหาวิโรจน์¹ ธีรวิทย์ รัตนวิชัย² ทิพย์วรรณ พิงสุวรรณรักษ์^{3*} และ ฮิเดกิ ค้าชาย³

¹สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครพนม supanut.lhwr@npu.ac.th

²ส่วนอาคารปฏิบัติการและโครงสร้างพื้นฐาน ฝ่ายบริหารจัดการโครงการเครื่องกำเนิดแสงสยาม 2 สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน)
peerawoot@slri.or.th

³สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี thipwan@g.sut.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดลอยน้ำ (Floating Photovoltaic: FPV) จากการเอียงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดด้านเดียว (Mono-facial) และสองด้าน (Bifacial) ที่มุมองศาต่างๆ ระบบ FPV ถือเป็นทางเลือกที่น่าสนใจสำหรับการผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ เนื่องจากช่วยลดการใช้พื้นที่บนบก และการใช้ประโยชน์จากการระบายความร้อนของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ดีขึ้นจากการระเหยของน้ำ การศึกษาในครั้งนี้ได้ผสมผสานใช้แบบจำลองการเอียงแผงเชิงวิเคราะห์ (Analytical tilt model) การจำลองด้วยโปรแกรม PVsyst และข้อมูลการทำงานจริงจากระบบ FPV ณ อ่างเก็บน้ำของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ประเทศไทย จากการศึกษาการแบบจำลองการเอียงแผงเชิงวิเคราะห์ แสดงให้เห็นว่ามุมเอียงที่มากกว่า 8° จะให้ค่าความเข้มรังสีจากดวงอาทิตย์บนระนาบสูงสุด ขณะที่การจำลองด้วย PVsyst ได้คาดการณ์ค่าพลังงานไฟฟ้ารายปีสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดด้านเดียวด้วยค่า 273,449 kWh/ปี ที่มุมเอียง 4° ขณะที่เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสองด้านให้ค่า 280,129 kWh/ปี ที่มุมเอียง 12° สำหรับข้อมูลการทำงานจริงจากระบบ FPV ที่มุมเอียง 8° แสดงกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้มีความใกล้เคียงกับผลการจำลองเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะการแสดงให้เห็นถึงข้อได้เปรียบด้านประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสองหน้า จากผลการจำลองแสดงถึงความแม่นยำกับข้อมูลการทำงานจริง และยังแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของระบบ FPV แบบสองหน้าในการเพิ่มการผลิตพลังงาน งานวิจัยนี้นำเสนอกรอบแนวทางเชิงปฏิบัติสำหรับการออกแบบและการประเมินระบบ FPV ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ได้ทั้งในงานวิจัยและการติดตั้งในระดับพื้นที่ขนาดใหญ่ต่อไป

คำสำคัญ: เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดลอยน้ำ เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดหน้าเดียว เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสองหน้า มุมเอียง การจำลอง

Abstract

This study explores the optimization of floating photovoltaic (FPV) system performance, specifically focusing on the impact of tilt angle on energy yield for both monofacial and

bifacial modules. FPV systems offer a compelling alternative for solar energy generation, reducing land requirements and leveraging enhanced module cooling. Our investigation combined analytical modeling, PVsyst simulations, and real-world performance data from an FPV installation at Suranaree University of Technology reservoir in Thailand. The analytical model indicated an optimal tilt exceeding 8° for maximizing plane-of-array irradiance. PVsyst simulations predicted maximum annual energy yields for monofacial (273,449 kWh/year at 4°) and bifacial (280,129 kWh/year at 12°) configurations. Empirical data from an 8° FPV system closely corroborated PVsyst predictions, particularly highlighting the performance gains achievable with bifacial modules. The strong agreement between simulation and real-world data validates our methodology and demonstrates the potential of bifacial FPV systems to optimize energy production. This work provides a practical framework for designing and evaluating FPV systems, with implications for both research and large-scale deployment.

Keywords: Floating Photovoltaic, Mono-facial solar cell, Bifacial solar cell, Tilt angle, simulation

1. บทนำ

เมื่อไม่นานมานี้ระบบ FPV ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีความสามารถในการติดตั้งบนผิวน้ำได้หลายรูปแบบเช่น บ่อน้ำ อ่างเก็บน้ำ คลอง ทะเลสาบ และพื้นที่ชายฝั่งทะเล [1] การติดตั้งบนผิวน้ำสามารถลดการใช้พื้นที่จากการติดตั้งบนพื้นดินที่มีอย่างจำกัด สามารถเพิ่มประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์จากระบบระบายความร้อนด้วยน้ำที่อยู่ใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ อีกทั้งระบบ FPV ยังช่วยลดปริมาณการระเหยของน้ำจากอ่างเก็บน้ำซึ่งเป็นประโยชน์ต่อสิ่งแวดล้อมได้อีกด้วย [2]

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดด้านเดียวสามารถดูดซับแสงอาทิตย์ได้เพียงด้านหน้า ในขณะที่เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสองด้านสามารถรับแสงได้ทั้ง

*ผู้ประพันธ์บรรณกิจ

ด้านหน้าและด้านหลัง คุณสมบัตินี้ช่วยให้เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสองหน้าดูดซับความเข้มรังสีจากทั้งสองด้าน ส่งผลให้ได้รับพลังงานต่อปีที่สูงขึ้นมากกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดด้านเดียวเมื่อพิจารณาขนาดแผงที่มีพื้นที่เท่ากัน อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสองด้านยังขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น สภาพความเข้มรังสีแสงอาทิตย์เฉพาะพื้นที่ ระดับความสูงของการติดตั้ง ระยะห่างของแถวเซลล์แสงอาทิตย์ และค่าการสะท้อนของพื้นผิวด้านล่าง [3] สำหรับระบบ FPV ที่มีน้ำอยู่ใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถเพิ่มปริมาณการรับความเข้มรังสีทางด้านหลังได้เนื่องจากคุณสมบัติการสะท้อนแสงของผิวน้ำ นอกจากนี้สีของท่อนล้อยังส่งผลต่อปริมาณแสงที่ตกกระทบด้านหลังของเซลล์แสงอาทิตย์เนื่องจากมีค่า Albedo ที่แตกต่างกัน [4]

ในการศึกษานี้ ได้พิจารณาการหามุมเอียงที่เหมาะสมที่สุดสำหรับระบบ FPV ด้วย 2 วิธีคือการใช้แบบจำลองการเอียงแผงเชิงวิเคราะห์และการจำลองด้วยโปรแกรม PVsyst โดยแบบจำลองเชิงวิเคราะห์อ้างอิงจากสมการทางเรขาคณิตของดวงอาทิตย์ ร่วมกับข้อมูลความเข้มรังสีของแสงจากดวงอาทิตย์ด้วยฐานข้อมูล NASA POWER [5] เพื่อคำนวณค่าพลังงานความเข้มรังสีบนระนาบ (Plane-of-array irradiance: POAI) ที่มุมเอียงต่างๆ เพื่อหามุมที่ให้พลังงานความเข้มรังสีจากดวงอาทิตย์มากที่สุด ขณะที่การจำลองด้วยโปรแกรม PVsyst เป็นซอฟต์แวร์ที่สามารถออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ได้ทั้งระบบเล็กไปจนถึงขนาดใหญ่ โดยสามารถออกแบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตจากบริษัทต่างๆ ที่ถูกเก็บข้อมูลอยู่ในโปรแกรมได้ สามารถจำลองการติดตั้งในพื้นที่ที่ต้องการได้อย่างอิสระ สามารถกำหนดปริมาณเงาของสิ่งกีดขวาง และปัจจัยอื่นๆ เพื่อทำนายและจำลองผลการทดสอบหาปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ได้รับในแต่ละปี ดังนั้นการใช้ทั้งสองวิธีร่วมกันจะสามารถช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือและความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้



รูปที่ 1 ระบบ FPV ณ อ่างเก็บน้ำของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ประเทศไทย

รูปที่ 1 แสดงระบบ FPV ที่ได้ทำการติดตั้งจริง ได้ติดตั้งในอ่างเก็บน้ำของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เนื่องจากมีพื้นที่ผิวน้ำกว้าง ไม่มีเงาบังจากต้นไม้ใหญ่หรือสิ่งปลูกสร้าง และสะดวกต่อการปฏิบัติงานและการบำรุงรักษา ซึ่งระบบนี้ติดตั้งด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดด้านเดียวและสอง

ด้านบนท่อนล้อยน้ำ และได้มีการเก็บข้อมูลการทำงานจริงเป็นเวลา 1 ปี เพื่อนำมาประเมินความสอดคล้องของผลลัพธ์จากแบบจำลองเชิงวิเคราะห์ และการจำลองด้วยโปรแกรม PVsyst กับผลผลิตพลังงานจริงภายใต้ข้อจำกัดการติดตั้งในสภาวะแวดล้อมจริง

2. การทดลอง

2.1 การจำลองผล

การจำลองผลด้วยโปรแกรม PVsyst เวอร์ชัน 7.4 ของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดหน้าเดียวและสองหน้า ได้พิจารณาพื้นที่การจำลอง ณ อ่างเก็บน้ำของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ซึ่งพารามิเตอร์สำคัญที่ใช้ในการจำลองผลประกอบด้วยค่า Latitude Longitude มุมการเอียงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จำนวนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และค่าอื่นๆ โดยสามารถสรุปพารามิเตอร์ต่างๆ ได้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ที่ป้อนให้กับโปรแกรม PVsyst

List	Mono-facial	Bifacial
Latitude	14.87° North	
Longitude	102.03° East	
Albedo	-	0.19
Tilt	0, 4, 8, 12, 16, 20	
Azimuth	0°	
Number of PV modules	350 units	
PV model	JKM-540M-72HL4-V	JKM-535M-72HL4-BDVP
Modules	14 Strings x 25 In series	
Number of inverters	1 unit	
Inverter model	SUN20000-185KTL-H1	
Pitch	1.26 m	
Elevation	-	0 m
Module area	903 m ²	

2.2 แบบจำลองการเอียงแผงเชิงวิเคราะห์

การประมาณค่า POAI ($S_{\beta, total}$) สามารถพิจารณาจากมุมเอียงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ตั้งแต่มุม 0° – 20° เริ่มต้นพิจารณาให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์หันหน้าไปทางทิศใต้โดยให้มุม Azimuth เท่ากับ 0° จากนั้นจำแนกค่า POAI ออกเป็นสององค์ประกอบคือ $S_{\beta, direct}$ และ $S_{\beta, diffuse}$ ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ในสมการที่ (1) (2) และ (3) [6-7]

$$S_{\beta, direct} = S_{direct, normal} \times \sin(\alpha + \beta) \quad (1)$$

$$S_{\beta, diffuse} = S_{diffuse} \times \frac{1 + \cos(\beta)}{2} \quad (2)$$

$$S_{\beta, total} = S_{\beta, direct} + S_{\beta, diffuse} \quad (3)$$

โดยที่ $S_{direct, normal}$ คือค่าพลังงานความเข้มรังสีตรงในแนวตั้งฉากจากดวงอาทิตย์ (Direct normal irradiance [kWh/m²/day]) $S_{diffuse}$ คือค่าพลังงานความเข้มรังสีกระจายจากดวงอาทิตย์ในแนวระนาบ (Diffuse horizontal irradiance (kWh/m²/day)) α คือมุมเงยของดวงอาทิตย์

(Solar elevation angle) และ β คือ มุมเอียงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Tilt angle)

ซึ่งค่าของ $S_{direct,normal}$ และ $S_{diffuse}$ เป็นค่าเฉลี่ยพลังงานความเข้มรังสีในปี 2022 – 2023 โดยสามารถสืบค้นได้จากข้อมูลของ NASA POWER ในเว็บไซต์ <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> [5].

การหาค่ามุมเงยสามารถพิจารณาจากความสัมพันธ์ในสมการที่ (4) เมื่อพิจารณา ณ เวลาตอนเที่ยงตรง

$$\alpha = 90 - \phi + \delta \quad (4)$$

โดยที่ ϕ คือละติจูดของสถานที่ติดตั้ง ซึ่งในงานวิจัยนี้ติดตั้งที่ละติจูด 14.87 องศาเหนือ และ δ คือค่า Solar declination โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (5)

$$\delta \approx E \sin \left[\frac{(d-81)360}{365} \right] \quad (5)$$

โดยที่ E คือค่าคงที่ของการเอียงแกนโลกมีค่าคงที่เท่ากับ 23.45 d คือวันที่ 15 ในแต่ละเดือน เช่น ถ้าพิจารณาวันที่ 15 เดือนมกราคม d มีค่าเท่ากับ 15 ถ้าวันที่ 15 ของเดือนกุมภาพันธ์ d มีค่าเท่ากับ 31+15 = 46 หรือวันที่ 15 ของเดือนมีนาคม d มีค่าเท่ากับ 31+28+15 = 74 เป็นต้น

2.3 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งจริง

ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดด้านเดียวและชนิดสองด้านได้ถูกติดตั้งที่อ่างเก็บน้ำมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา ประเทศไทย (ละติจูด 14.87° เหนือ, ลองจิจูด 102.03° ตะวันออก) โดยระบบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดด้านเดียวใช้เซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 350 แผง มีกำลังรวม 374.5 kWp จากบริษัท JinkoSolar รุ่น JKM535-72HL4-BDVP และระบบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสองด้านใช้เซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 350 แผง มีกำลังรวม 378.0 kWp จากบริษัท JinkoSolar รุ่น JKM540-72HL4-BDVP

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดถูกติดตั้งบนหุ่นลอยน้ำชนิด High density polyethylene (HDPE) โดยติดตั้งที่มุมเอียงเท่ากับ 8° ความสูงห่างจากจากผิวหุ่น 0 เมตร และหันหน้าไปทางทิศใต้ ระบบทั้งสองถูกเชื่อมต่อเข้ากับอินเวอร์เตอร์จากบริษัท Huawei รุ่น SUN2000-185KTL-H1 ที่เป็นระบบสามเฟส ในการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ใช้จำนวน 25 แผงต่อหนึ่งสตริง สำหรับอุปกรณ์ตรวจวัดแสงได้ใช้เซนเซอร์วัดแสงรุ่น RK200-04 ของบริษัท Human Rika Electronic Tech การส่งข้อมูลของเซนเซอร์จะส่งผ่านการสื่อสารแบบ RS485 จากนั้นข้อมูลจะถูกส่งไปยังตัวควบคุมเพื่อแปลงสัญญาณ RS485 เป็นข้อมูลที่ถูกต้องแล้วส่งไปยัง Server ผ่านทางสัญญาณ Wifi พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งสองระบบถูกจ่ายเข้าสู่โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีเพื่อการใช้งานจริงต่อไป

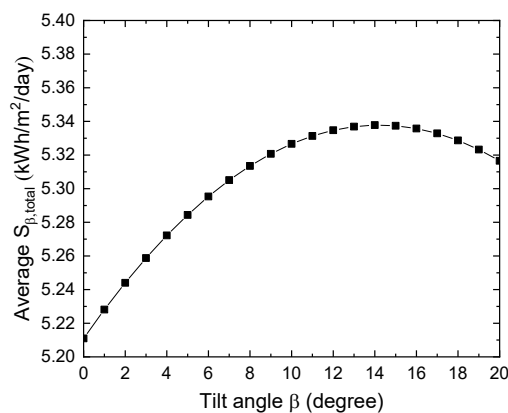
3. ผลการทดลองและการวิเคราะห์

3.1 แบบจำลองการเอียงแผงเชิงวิเคราะห์

ตารางที่ 2 แสดงค่า $S_{direct,normal}$ $S_{diffuse}$ และปริมาณของเมฆเฉลี่ยในแต่ละเดือนของปี 2022 และ 2023 ซึ่งมาจากรายงานข้อมูล NASA POWER ณ ตำแหน่งมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของค่าพลังงานความเข้มรังสีของแต่ละฤดูกาลอย่างชัดเจน โดยในช่วงฤดูหนาว (ธันวาคม-มกราคม) แสดงค่า $S_{direct,normal}$ ที่มากกว่า 5 kWh/m²/day ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณของเมฆที่ต่ำที่สุดในทางตรงกันข้าม ช่วงฤดูฝน (พฤษภาคม-กันยายน) มีปริมาณเมฆเพิ่มสูงขึ้น (มากกว่า 70%) และทำให้ค่า $S_{diffuse}$ เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ตารางที่ 2 ค่าพลังงานความเข้มรังสีจากดวงอาทิตย์และปริมาณของเมฆที่ได้จาก NASA POWER ณ ตำแหน่งมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Month	$S_{direct,normal}$ (kWh/m ² /day)	$S_{diffuse}$ (kWh/m ² /day)	Cloud amount (%)
Jan	5.167	1.664	37.8
Feb	3.964	2.129	48.9
Mar	3.808	2.498	45.7
Apr	3.033	2.761	59.3
May	2.441	2.562	79.5
Jun	2.806	2.743	86.5
Jul	1.919	2.774	90.7
Aus	1.947	2.694	91.3
Sep	1.227	2.575	94.4
Oct	2.489	2.372	82.6
Nov	3.874	2.047	69.0
Dec	5.085	1.670	44.3

รูปที่ 2 แสดงการเพิ่มขึ้นของค่า $S_{\beta,total}$ ตามการมุมเอียงที่ปรับเพิ่มขึ้นจาก 0° จนถึงประมาณ 14–16° โดยให้ค่าพลังงานความเข้มของรังสีรวมบนระนาบสูงสุดที่ 5.34 kWh/m²/day ซึ่งมากกว่าการเอียงแผงที่มุม 0° ประมาณ 2.5% ซึ่งผลลัพธ์ดังกล่าวถือเป็นการประมาณค่ามุมเอียงที่เหมาะสมที่สุดจากการคำนวณ



รูปที่ 2 ผลการคำนวณค่า $S_{\beta,total}$ เฉลี่ย ที่มุมเอียงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งแต่ 0° – 20°

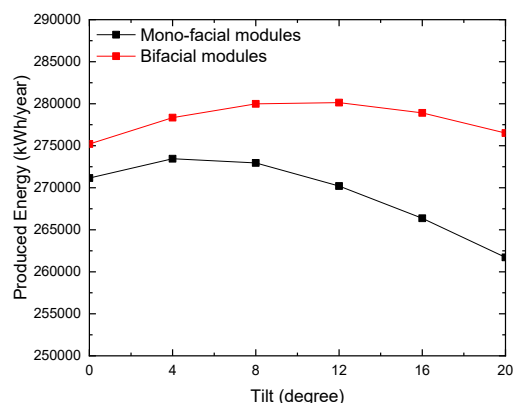
3.2 ผลการจำลองด้วยโปรแกรม PVsyst

จากการจำลองผลด้วยโปรแกรม PVsyst สามารถแสดงการผลิตกำลังไฟฟ้าสะสมเฉลี่ยรายวันของแต่ละเดือนตลอดทั้งปีได้ในตารางที่ 3 ผลการจำลองแสดงให้เห็นถึงการเอียงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากมุม 0° ถึง 20° โดยพบว่าที่มุมเอียง 4° ถึง 12° (ขึ้นอยู่กับแต่ละเดือน) ทั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดด้านเดียวและแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสองด้านให้ค่าปริมาณพลังงานที่เพิ่มขึ้น ซึ่งในเดือนเมษายน พฤษภาคม และมิถุนายน มีค่ากำลังไฟฟ้ารวมรายเดือนสูงที่สุดในทุกๆ ค่ามุมเอียง ทั้งนี้เนื่องจากตำแหน่งปรากฏของดวงอาทิตย์อยู่ใกล้โลกมากที่สุดในช่วงเวลาดังกล่าว จึงมีค่าความเข้มรังสีจากดวงอาทิตย์สูงขึ้น และก่อให้เกิดการผลิตพลังงานมากขึ้นตามลำดับ อย่างไรก็ตามหากพิจารณาค่าเฉลี่ย พบว่าค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสะสมรายวันสูงสุดอยู่ที่ 749 kWh/วัน ที่มุมเอียง 4° ทั้งในกรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดด้านเดียวและชนิดสองด้าน

ซึ่งจากการจำลองด้วยโปรแกรม PVsyst และวิธีแบบจำลองการเอียงแผงเชิงวิเคราะห์มีแนวโน้มที่ตรงกันคือ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งโดยให้มุมเอียงที่สูงขึ้นจาก 0° ส่งผลให้ได้รับกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น

รูปที่ 3 แสดงผลการจำลองพลังงานไฟฟ้ารวมของระบบ FPV ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดด้านเดียวและสองด้านที่ผลิตได้ใน 1 ปี ที่มุมเอียงต่างๆ โดยพบว่าผลผลิตของพลังงานมีค่าเพิ่มขึ้นจากการติดตั้งที่มุมเอียง 0°

จนถึงมุมเอียงประมาณ 4–12° ก่อนที่ค่าจะลดลงที่มุมมากขึ้น ทั้งนี้ยังพบอีกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดด้านเดียวให้ผลผลิตพลังงานต่อปีสูงสุดที่มุมเอียง 4° ด้วยปริมาณ 273,449 kWh/year ขณะที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสองด้านให้ผลผลิตสูงสุดที่มุมเอียง 12° ด้วยปริมาณ 280,129 kWh/year ซึ่งจากรูปยังแสดงถึงผลผลิตพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสองด้านที่มีค่ามากกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดด้านเดียวในทุกๆ มุมเอียงอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งชี้ให้เห็นว่าผลจากการรับแสงที่ด้านหลังมีผลต่อการเพิ่มขึ้นต่อผลผลิตพลังงานเป็นอย่างมาก



รูปที่ 3 การจำลองพลังงานไฟฟ้ารวมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดด้านเดียวและสองด้านที่ผลิตได้ใน 1 ปี เมื่อพิจารณามุมเอียงตั้งแต่ 0° – 20°

ตารางที่ 3 การจำลองกำลังไฟฟ้าสะสมเฉลี่ยรายวันของแต่ละเดือนตลอดทั้งปีที่อ่างเก็บน้ำมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Month	Average daily accumulated power output of solar panels (kWh/day)											
	0 degree		4 degree		8 degree		12 degree		16 degree		20 degree	
	Mono	Bi	Mono	Bi	Mono	Bi	Mono	Bi	Mono	Bi	Mono	Bi
Jan	682	684	712	713	727	728	729	731	730	732	730	732
Feb	719	718	737	737	676	676	679	679	678	678	675	676
Mar	796	791	804	801	807	805	806	804	802	801	794	794
Apr	843	838	842	839	809	806	798	797	784	785	768	771
May	822	818	812	811	796	797	776	779	753	759	727	736
Jun	880	876	864	864	816	818	791	796	763	772	732	744
Jul	764	764	753	755	735	740	714	721	690	699	664	676
Aug	740	738	735	736	725	728	711	715	695	701	676	684
Sep	742	740	746	745	721	721	716	717	709	711	699	702
Oct	699	699	713	713	720	721	722	723	720	722	716	718
Nov	595	598	612	615	601	603	599	602	595	599	591	596
Dec	633	636	660	663	672	674	673	676	674	676	673	676
Average	743	742	749	749	734	735	726	728	716	720	704	709

3.3 ผลการติดตั้งจริง

รายงานนี้แสดงค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสะสมที่ระบบ FPV ผลิตได้ต่อวันในแต่ละเดือนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดด้านเดียวและชนิดสองด้านที่ติดตั้งบนหุ่นลอยน้ำ ณ อ่างเก็บน้ำมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยมีรายละเอียดแสดงในตารางที่ 4 จากผลการวิเคราะห์พบว่า ระบบแผงเซลล์

แสงอาทิตย์ชนิดด้านเดียวมีค่าเฉลี่ยรายปีอยู่ที่ 753 kWh/day และระบบชนิดสองด้านมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 769 kWh/day เมื่อเปรียบเทียบกับที่มุมเอียงเดียวกันที่ 8° โดยค่าที่ได้จากการติดตั้งระบบ FPV จริงมีค่าที่สูงกว่าผลการจำลองเล็กน้อย

นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่าระบบ FPV สามารถผลิตพลังงานได้สูงในช่วงเดือนมีนาคม เมษายน พฤษภาคม และมิถุนายน ซึ่งตรงตามผลการ

จำลองจากโปรแกรม PVSyst อย่างไรก็ดี ในการติดตั้งระบบ FPV จริง แผงชนิดสองด้านให้ผลผลิตสูงกว่าอย่างชัดเจนในเดือนกรกฎาคมและกันยายนเมื่อเทียบกับแผงชนิดด้านเดียว ซึ่งเป็นผลจากความสามารถในการเก็บเกี่ยวความเข้มรังสีชนิด Diffuse ที่เพิ่มขึ้นในช่วงที่มีสภาพอากาศที่มีเมฆมากตามข้อมูลของ NASA POWER ที่แสดงในตารางที่ 1

ผลผลิตพลังงานรวมทั้งปีแสดงให้เห็นว่าระบบแผงชนิดด้านเดียวผลิตได้ประมาณ 274,845 kWh/year ขณะที่ระบบชนิดสองด้านผลิตได้ประมาณ 280,685 kWh/year เมื่อเปรียบเทียบกับผลการจำลองของ PVSyst ที่มุมเอียง 8° พบว่าผลการจำลองประเมินค่าไว้ที่ 272,957 kWh/year สำหรับชนิดด้านเดียว และ 279,985 kWh/year สำหรับชนิดสองด้าน ค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างการจำลองและค่าที่วัดได้จริงมีเพียง 0.69% สำหรับระบบชนิดด้านเดียว และ 0.25% สำหรับระบบชนิดสองด้าน แสดงให้เห็นถึงค่าความคลาดเคลื่อนที่น้อยมาก ผลลัพธ์นี้ยืนยันว่าการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์สามารถทำนายผลผลิตพลังงานจริงของระบบ FPV ได้ค่อนข้างแม่นยำ โดยมีความผิดพลาดเพียงเล็กน้อย

ตารางที่ 4 กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสะสมของระบบ FPV ในแต่ละเดือนของ 1 ปี ที่อ่างเก็บน้ำของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Month	Real installation at 8 degrees (kWh/day)	
	Mono facial	Bifacial
Jan	890	872
Feb	713	698
Mar	899	888
Apr	907	896
May	752	743
Jun	757	734
Jul	563	749
Aug	741	733
Sep	666	786
Oct	774	791
Nov	665	648
Dec	715	694
Average	753	769

4. สรุป

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาประสิทธิภาพของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบลอยน้ำทั้งชนิดด้านเดียวและชนิดสองด้าน โดยใช้การผสมผสานระหว่างการสร้างแบบจำลองการเอียงแผงเชิงวิเคราะห์ การจำลองด้วยโปรแกรม PVSyst และการเก็บข้อมูลจริงจากการติดตั้งในอ่างเก็บน้ำมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยแบบจำลองการเอียงแผงเชิงวิเคราะห์ได้ประมาณค่ามุมเอียงที่เหมาะสมเบื้องต้นที่มุมมากกว่า 8° ในขณะที่การจำลองด้วยโปรแกรม PVSyst คำนวณผลผลิตพลังงานรวมต่อปีสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดด้านเดียวที่ 273,449 kWh/year ที่มุมเอียง 4° และชนิดสองด้านที่ 280,129 kWh/year ที่มุมเอียง 12° ซึ่งผลการเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองด้วยโปรแกรม PVSyst กับข้อมูลจริงการติดตั้งจริง

ของระบบ FPV ที่มุมเอียง 8° พบว่ามีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 1% ซึ่งยืนยันถึงความแม่นยำของโปรแกรม PVSyst ในการจำลองระบบ FPV และยังสะท้อนให้เห็นถึงศักยภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสองด้านในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพลังงานในระบบ FPV ได้อย่างชัดเจน ดังนั้น ด้วยวิธีการจำลองการเอียงแผงเชิงวิเคราะห์และการจำลองจากโปรแกรม PVSyst จึงสามารถช่วยออกแบบการเอียงแผงของเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อหา มุมที่เหมาะสมที่สุดที่สามารถให้ผลผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงที่สุดของระบบ FPV อีกทั้งยังสามารถประยุกต์ใช้กับการออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนพื้นดินหรือบนหลังคาได้เช่นกันเดียวกัน

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และงานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยนครพนมสำหรับการเข้าร่วม EECON-48

เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Sahu, N. Yadav, and K. Sudhakar, "Floating photovoltaic power plant: A review" Renew. Sustain. Energy Rev., vol 66, pp. 815-824, 2016.
- [2] P. Ranjbaran, H. Yousefi, G. B. Gharehpetian, and F. R. Astaraei, "A review on floating photovoltaic (FPV) power generation units," Renew. Sust. Energ. Rev., vol. 110, pp. 332-347, 2019.
- [3] T.S. Liang, M. Praveetoni, C. Deline, J.S. Stein, and et al., "A review of crystalline silicon bifacial photovoltaic performance characterisation and simulation", Energy Environ. Sci., vol. 12(1), pp. 116-148, 2019.
- [4] พิรุณ รัตนวิชัย, ทิพย์วรรณ พิงสุวรรณรักษ์, ภาคิน อินทร์เจริญ, ศุภณัฐ เลหาวิโรจน์ และคณะ, ผลของทุนลอยน้ำสีเทากับทุนลอยน้ำสีดำที่มีผลต่อการผลิตกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้า, Thailand Electrical Engineering Journal, Vol 3(2), pp 13-16, 2023
- [5] NASA POWER database available at <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>.
- [6] J.A. Duffie, and W.A. Beckman, "Solar Engineering of Thermal Processes" John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey, 2013
- [7] S.R. Wenham, M.A. Green, M.E. Watt, and R. Corkish, "Applied photovoltaics" Earthscan in the UK and USA, 2007



ประวัติผู้เขียนบทความ

ดร. ศุภณัฐ เล่าหวิโรจน์ อาจารย์สาขาวิชา
วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย
นครพนม

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง: การวิเคราะห์วัสดุสารกึ่งตัวนำ
การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ ซิลิคอนนาโนควอนตัมดอท เทคโนโลยีฟิล์มบาง
พลังงานหมุนเวียน



ผศ. ดร. ทิพย์วรรณ พิงสุวรรณรักษ์ อาจารย์ประจำ
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง: ระบบการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์
พลังงานหมุนเวียน พลังงานชีวมวล เทคโนโลยีฟิล์ม
บาง การวิเคราะห์วัสดุสารกึ่งตัวนำ ซิลิคอนนาโนควอนตัมดอท



ดร. พีรุฒิ รัตนวิชัย ตำแหน่งวิศวกรไฟฟ้า ส่วนอาคาร
ปฏิบัติการและโครงสร้างพื้นฐาน ฝ่ายบริหารจัดการ
โครงการเครื่องกำเนิดแสงสยาม 2 สถาบันวิจัยแสง
ซินโครตรอน (องค์การมหาชน) โดยมีความเชี่ยวชาญ
และความสนใจด้านการวิเคราะห์คุณลักษณะของวัสดุ

สารกึ่งตัวนำ เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดเพอร์อฟสไกต์ วัสดุซิงค์ออกไซด์ (ZnO)
ระบบควบคุม และเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT)



นายอิเดกิ คำชาย เป็นนักศึกษาปริญญาโท สาขา
วิศวกรรมไฟฟ้า ภายใต้การดูแลของ ผศ.ดร. ทิพย์วรรณ
พิงสุวรรณรักษ์ จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ได้
ศึกษาเกี่ยวกับระบบพลังงานแสงอาทิตย์ ระบบโครงข่าย
ไฟฟ้าอัจฉริยะ และระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่, การ

เพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของแบตเตอรี่เพื่อควบคุมระบบการ
จัดการพลังงาน ในกรณีศึกษา ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ประเทศไทย
งานวิจัยที่น่าสนใจในปัจจุบัน ได้แก่ การจัดการพลังงาน อัลกอริทึม
เทคนิคการเพิ่มประสิทธิภาพระบบพลังงานแสงอาทิตย์ในโครงข่ายไฟฟ้า
อัจฉริยะ