

การประเมินประสิทธิภาพระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาและ
เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายขนาดกำลัง 3 กิโลวัตต์ โดยอาศัยการจำลองแบบ
ด้วยโปรแกรม PVsyst

Efficiency Evaluation of 3 kW Photovoltaic Rooftop and Grid Connected System
by Using PVsyst Programmed Modeling Simulation

ฉัตร ฝนาค^{1*}, จอมภพ แวศักดิ์^{2,3}, สมพล ชีวมงคลกานต์³ และปราณี หนูทองแก้ว³

Chat Pholnak^{1*}, Jompob Waewsak^{2,3}, Somphol Cheewamongkolkarn³ and Pranee Nutongkaew³

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้ได้นำเสนอผลการจำลองแบบเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาและเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายขนาดกำลัง 3 กิโลวัตต์ ที่จะติดตั้งในพื้นที่อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง และประเมินสมรรถนะของระบบภายใต้อิทธิพลของชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์ การหันเหทิศทางแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และมุมเอียงของหลังคา โดยใช้โปรแกรม PVsyst ผลการศึกษาพบว่า พลังงานที่ผลิตได้ต่อวันจะมีค่าเกิน 5.0 kWh/kWp/day ในช่วงเดือนมีนาคม-มิถุนายน ระบบสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เท่ากับ 4.855 MWh/year และมีอัตราส่วนสมรรถนะเฉลี่ยรายปี 81.1% เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนแบบ Poly-crystalline ให้ประสิทธิภาพเท่ากับ 15.46% และสามารถรองรับกำลังการผลิตไฟฟ้าด้วยกริดอินเวอร์เตอร์ขนาด 3.0 kW ผลจากการจำลองแบบยังแสดงให้เห็นอีกว่า เมื่อหันแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้และติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มุมเอียง 20 องศา จะได้รับความเข้มรังสีแสงอาทิตย์สูงสุดและระบบมีประสิทธิภาพสูงสุดโดยปริมาณพลังงานรวมรายปีเท่ากับ 1,700 kWh/m²

คำสำคัญ: เซลล์แสงอาทิตย์ ประสิทธิภาพของระบบ อัตราส่วนสมรรถนะ โปรแกรม PVsyst อินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อกับกริด

¹ อ.ดร., สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

² รศ.ดร., สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

³ นักวิจัย, ศูนย์วิจัยพลังงานทดแทนและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

¹ Lecturer, Dr., Department of Physics, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung, 93210

² Assoc. Prof. Dr., Department of Physics, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung, 93210

³ Researcher., Research Centre in Sustainable Energy & Environment, Thaksin University, Phatthalung, 93210

* Corresponding author: Tel.: 074-609600 ext. 2453. E-mail address: chat@tsu.ac.th

Abstract

This article presents the efficiency study of a 3 kW PV rooftop and grid connected system via program simulation technique which system will be setup in Pa-phayom region of Phthalung province. To evaluate a performance of this system, a model simulation is archived by Pvsyst program depending on the conditions of type of PV module, direction orientation and tilt orientation of the solar panels. The research study was found that the electrical energy producing per day or array yield was exceed to 5.0 kWh/kWp/day in March to June as 4.855 MWh/year. And performance ratio (PR) was 81.1% per year in an average. PV efficiency of a selected poly-crystalline silicon was 15.46% and suitable supporting by 3.0 kW grid inverter. Furthermore, the collecting intensity of solar energy and system efficiency were optimum when the solar panels were oriented in the south-east direction and tilt orientation at 20 degree as the annual yield of ~1,700 kWh/m².

Keywords: Solar Cell, System Efficiency, Performance Ratio, PVsyst Program, Grid-Connected Inverter

บทนำ

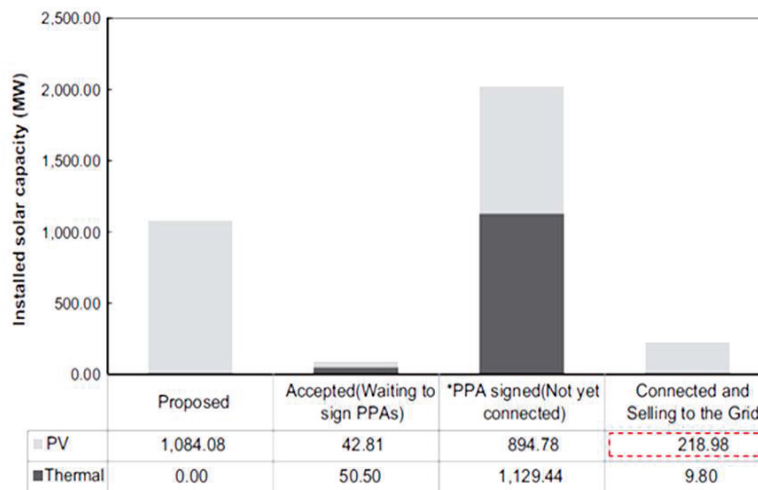
ประเทศไทยมีศักยภาพในพลังงานแสงอาทิตย์อยู่ในระดับที่ค่อนข้างสูง ความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศมีค่าเท่ากับ 18 MJ/m²-day โดยพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศไทยได้รับรังสีอาทิตย์สูงสุดระหว่างเดือนเมษายนและพฤษภาคมโดยมีค่าอยู่ในช่วง 20-23 MJ/m²-day บริเวณที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือได้รับรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปีมีค่าอยู่ในช่วง 19-20 MJ/m²-day พื้นที่ดังกล่าวคิดเป็น 11.0% ของพื้นที่ทั้งประเทศ นอกจากนี้ยังพบว่า 35.6% ของพื้นที่ทั้งหมดได้รับรังสีอาทิตย์เฉลี่ยมีค่าอยู่ในช่วง 18-19 MJ/m²-day [1] เราจึงสามารถนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ในรูปแบบพลังงานอื่นๆ ได้ เช่นการนำพลังงานแสงอาทิตย์เปลี่ยนรูปเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยอาศัยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ สำหรับประเทศไทยมีการสนับสนุนให้ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านเรือนและอาคารต่างๆ เพื่อขายไฟฟ้าที่ผลิตได้ในราคาพิเศษ คือราคา 6.16-6.96 บาทต่อหน่วย เป็นเวลา 25 ปี หรือใช้ไฟฟ้าที่ผลิตได้เองภายในบ้านหรืออาคารของตนเอง (ตารางที่ 1) ซึ่งเป็นการประหยัดและลดค่าไฟฟ้า [2-3]

ตารางที่ 1 นโยบายการรับซื้อไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาของประเทศไทย [3]

	Residential Scale	Commercial Scale	Utility Scale
Power (kWp)	0-10	> 10-250	> 250-1000
FiT rate (THB/unit)	6.96	6.55	6.16
Payback period (Years)	8-9	7-8	7-8

ปัจจุบันมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาสำหรับประเทศไทย วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (วสท.) ยังดำเนินการไม่แล้วเสร็จ โดยส่วนใหญ่มาตรฐานด้านอุปกรณ์ประกอบของระบบ Solar PV Rooftop จะอ้างอิงจากมาตรฐาน IEC ของยุโรปเป็นหลัก ขณะที่มาตรฐานการติดตั้งจะอ้างอิงจากมาตรฐาน AS/NZS 5033 ของประเทศออสเตรเลีย [4] และนิวซีแลนด์เป็นหลัก โดยปรับประยุกต์ใช้ให้สอดคล้องกับประเทศไทย แต่มีการอ้างอิงมาตรฐาน NEC ของประเทศสหรัฐอเมริกา [5] บางส่วนเท่านั้น ทำให้ระบบมีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น [6] สำหรับการเลือกเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมกับบ้านเรือนต้องคำนึงกำลังไฟฟ้ารวมของอุปกรณ์ไฟฟ้าและขนาดของอินเวอร์เตอร์ที่มีอยู่ในท้องตลาดที่มี

ขนาดเท่ากับหรือมากกว่า เพื่อให้ประโยชน์สูงสุดและไม่เกิดการลงทุนที่ไม่จำเป็น ระยะคืนทุนในแต่ละพื้นที่จะแตกต่างกัน เมื่อคิดที่จำนวนแผงเท่ากันจะเกิดจากสองกรณีคือ ค่าความเข้มข้นของแสงเฉลี่ยแต่ละพื้นที่ที่มีค่าแตกต่างกัน และจำนวนโหนดที่ติดตั้ง (ภาพที่ 1) สำหรับประสิทธิภาพถดถอยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มข้นของแสงที่เท่ากันแผงจะผลิตกระแสไฟฟ้าได้เท่ากันแต่ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะลดลงทุกปี [7]



*power purchase agreements

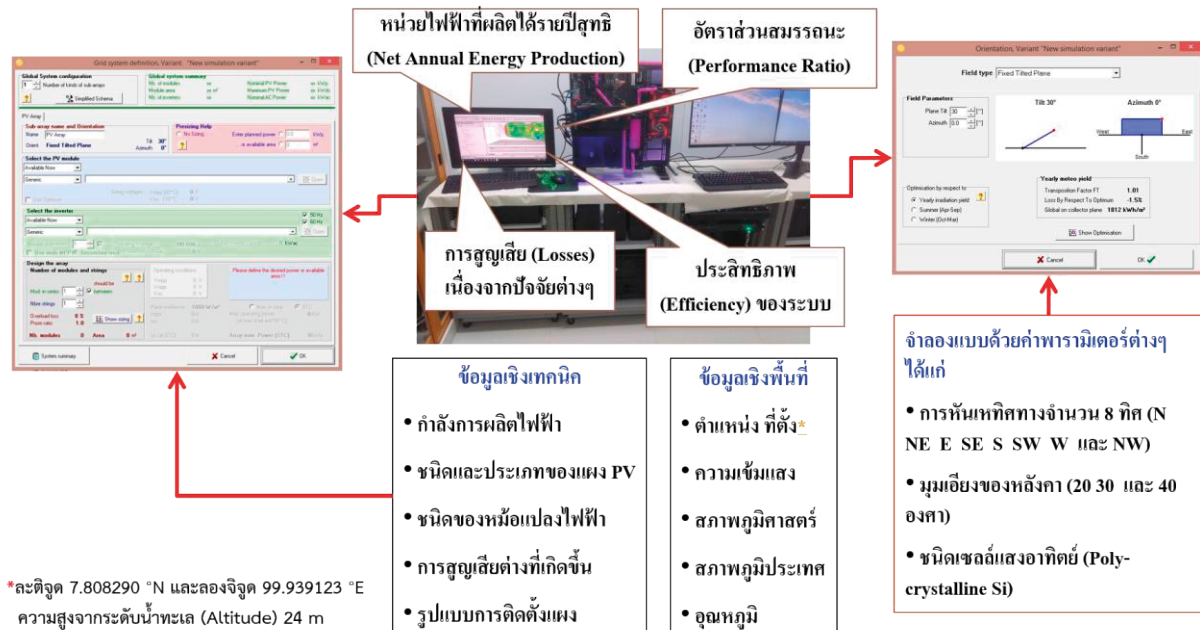
ภาพที่ 1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกำลังการผลิตระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานความร้อนที่ติดตั้งแล้วในประเทศไทย [2]

กระทรวงพลังงานโดยสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) มีนโยบายส่งเสริมและสนับสนุนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ โดยเพิ่มกำลังการผลิตติดตั้งจาก 3,000 MW เป็น 6,000 MW ภายในปี พ.ศ. 2579 โดยหนึ่งในมาตรการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์จะเป็นโครงการโซลาร์เสรี ซึ่งจะยอมให้ผู้ไฟฟ้าที่เป็นเจ้าของบ้านสามารถติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย (Distribution System) ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยไม่เกินขนาดของหม้อแปลงที่จะรองรับได้ งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาและเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายขนาดกำลังสูงสุด 3 กิโลวัตต์ เพื่อประเมินสมรรถนะของระบบจากอิทธิพลที่เกี่ยวข้องกับชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์ การหันเหทิศทางแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และมุมเอียงของหลังคา โดยอาศัยการจำลองแบบด้วยโปรแกรมซอฟต์แวร์ Photovoltaic System (PVsyst) [8] และใช้ฐานข้อมูลรังสีอาทิตย์จาก NASA เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาและเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายในพื้นที่อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการ

งานวิจัยนี้เป็นการจำลองแบบการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาและเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายขนาดกำลังการผลิต 3 กิโลวัตต์ โดยใช้ฐานข้อมูลรังสีอาทิตย์จาก NASA-SSE (Surface Meteorological and Solar Energy Programme) ข้อมูลจากดาวเทียมรายเดือน โดยมีความละเอียดของกริดเท่ากับ $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ (111 km) ข้อมูลครอบคลุมทั้งโลกเป็นระยะเวลา 10 ปี (1995-2005) อพ โหนดข้อมูลจากตำแหน่งสถานที่ติดตั้งระบบที่ละติจูด $7.808290^{\circ} \text{N}$ และลองจิจูด $99.939123^{\circ} \text{E}$ และที่ความสูงจากระดับน้ำทะเล (Altitude) 24 m แล้วจำลองแบบด้วยโปรแกรม PVsyst V.6.29 ภายใต้เงื่อนไข

ของการหันเหทิศทางจำนวน 8 ทิศ (N NE E SE S SW W และ NW) มุมเอียงของหลังคาทำมุม 20 องศา 30 องศา และ 40 องศา และชนิดเซลล์แสงอาทิตย์ประเภท Mono-crystalline, Poly-crystalline, Thin-Film และ Hetero-junction จำนวน 6 ชนิด วิเคราะห์หน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้รายปีสุทธิ (Net Annual Energy Production) หลังจากหักกลบการสูญเสีย (Losses) เนื่องจากปัจจัยต่างๆ แล้ววิเคราะห์ประสิทธิภาพ (Efficiency) และอัตราส่วนสมรรถนะ (Performance Ratio) ของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาและเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายขนาดกำลัง 3 kW แสดงดังแผนภาพที่ 2



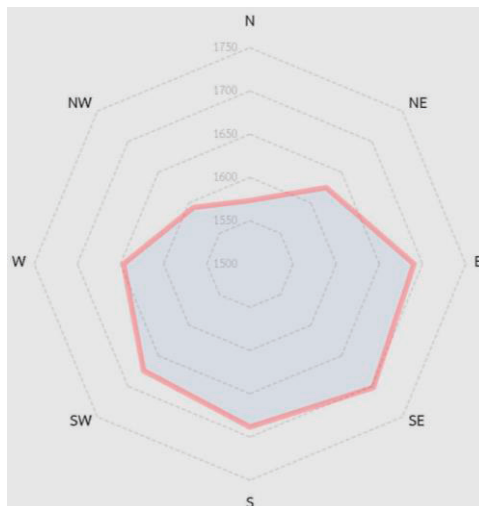
ภาพที่ 2 แผนภาพแสดงขั้นตอนการทําวิจัย ประกอบด้วยคอมพิวเตอร์และข้อมูลที่ดาวน์โหลดและพารามิเตอร์ต่างๆ ที่นําเข้าสู่โปรแกรมซอฟต์แวร์ PVsyst สำหรับการจำลองแบบ

ผลการวิจัย

ผลการจำลองแบบด้วยโปรแกรม PVsyst ของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาและเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายขนาดกำลัง 3 kW โดยอาศัยฐานข้อมูลรังสีอาทิตย์ NASA และจำลองแบบภายใต้เงื่อนไขของทิศทางการหันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มุมเอียงของหลังคาและชนิดเซลล์แสงอาทิตย์ ณ ตำแหน่งอาคารวิจัยพลังงานทดแทนและสิ่งแวดล้อมมหาวิทยาลัยทักษิณ ในพื้นที่อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

1. การหันเหทิศทางจำนวน 8 ทิศ (N NE E SE S SW W และ NW)

จากการศึกษาปัจจัยของการหันเหทิศทางของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์พบว่า ถ้าหันแผงเซลล์ไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ (SE) จะได้รับความเข้มรังสีแสงอาทิตย์สูงสุดและได้ปริมาณพลังงานรวมรายปีมากที่สุดประมาณ 1,700 kWh/m² และลำดับถัดมาเป็นทิศตะวันออก (E) มีค่าพลังงานรวมรายปีประมาณ 1,690 kWh/m² ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 รังสีอาทิตย์รวมบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh/m²) เฉลี่ยรายปี

2. การวางเซลล์แสงอาทิตย์ทำมุมเอียง 20 30 และ 40 องศา

จากการศึกษาการจำลองการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ยี่ห้อ Full Solar จำนวน 10 แผง ขนาดกำลังการผลิต 3 kW เอียงทำมุม 20 30 และ 40 องศา กับพื้นราบ พบว่าการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มุม 20 องศา ให้พลังงานไฟฟ้าและค่าประสิทธิภาพของระบบสูงสุด รองลงมาเป็นมุม 30 องศา การเปรียบเทียบปริมาณพลังงานที่ผลิตได้รายวันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำมุมต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าประสิทธิภาพที่ได้จากการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์เอียงทำมุม 20 30 และ 40 องศา

มุมเอียง (Degree)	รังสีอาทิตย์รวมที่ ตกกระทบ บนแผง (kWh/m ²)	รังสีอาทิตย์ ที่ใช้ประโยชน์ ได้ (kWh/m ²)	พลังงานไฟฟ้า ที่ผลิตได้จาก อาร์เรย์ (kWh)	พลังงานไฟฟ้า ที่ป้อนเข้าสู่ กริด (kWh)	ประสิทธิภาพ ของอาร์เรย์ (%)	ประสิทธิภาพ ของระบบ (%)
20	1736.3	1680.6	4367.5	4216.7	13.04	12.58
30	1668.2	1616.1	4207.5	4060.1	13.00	12.54
40	1579.4	1530.8	3997.8	3855.2	12.96	12.52

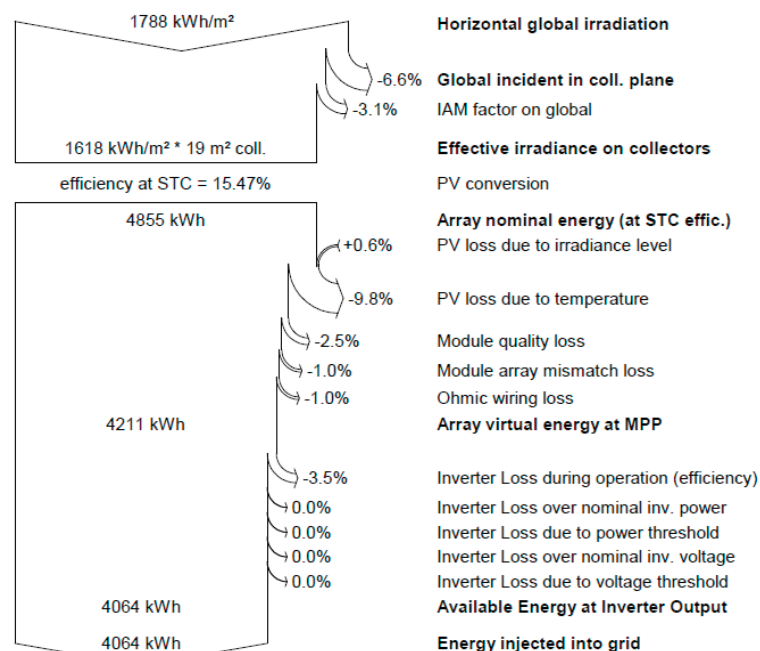
3. ชนิดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ประเภท Mono-crystalline, Poly-crystalline, Thin-Film และ Hetero-junction จำนวน 6 ชนิด

จากผลการศึกษา (ตารางที่ 3) พบว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-crystalline Si ยี่ห้อ FULL Solar รุ่น F-300P ให้ประสิทธิภาพเท่ากับ 15.46% และสามารถต้านทานต่อแรงลมบนหลังคาอาคารได้สูงสุด 2,400 Pa และรองรับกำลังการผลิตไฟฟ้าด้วยกริดอินเวอร์เตอร์ยี่ห้อ Sunseed รุ่น 3000TL ขนาด 3.0 kW ที่มีความเหมาะสมกันดี

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้รายปี (kWh)

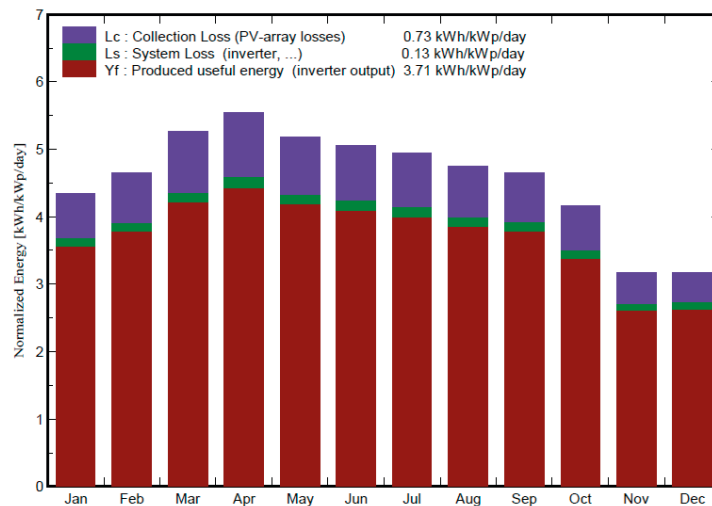
PV Module	Manufacturer	Produced Energy (kWh/year)	Specific product (kWh/kWp/year)	Performance Ratio PR (%)
Si-poly	FULL Solar	4060	1353	81.1
Si-mono	TOPSUN	3991	1330	79.7
Si-EFG	Sovello AG	3946	1315	78.8
a-Si:H single	Kaneka	3770	1257	75.3
a-Si:H tandem	Schueco	4268	1423	85.3
a-Si:H tripple	Xunlight Corporation	4030	1343	80.5
uCSi-aSi:H	NexPower	4179	1393	83.5
CdTe	First Solar	4286	1339	80.3
CIS	TSMC Solar Ltd.	4107	1369	82.1
CSG	CSG Solar AG	3655	1218	73.0
HIT	Panasonic	3935	1366	81.9

สำหรับการวิเคราะห์หน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้รายปีสุทธิ (Net Annual Energy Production) หลังจากหักการสูญเสีย (Losses) เนื่องจากปัจจัยต่างๆ พบว่าระบบสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 4,855 kWh/year แต่พลังงานที่ผลิตได้ป้อนเข้าสู่ระบบกริดอินเวอร์เตอร์ได้เพียง 4,064 kWh/year สาเหตุหลักเนื่องมาจากการเกิดการสูญเสียที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV loss) 14.3% และการสูญเสียที่เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter Loss) ขณะทำงานถึง 3.5% ซึ่งผลการวิเคราะห์นี้แสดงดังภาพที่ 4

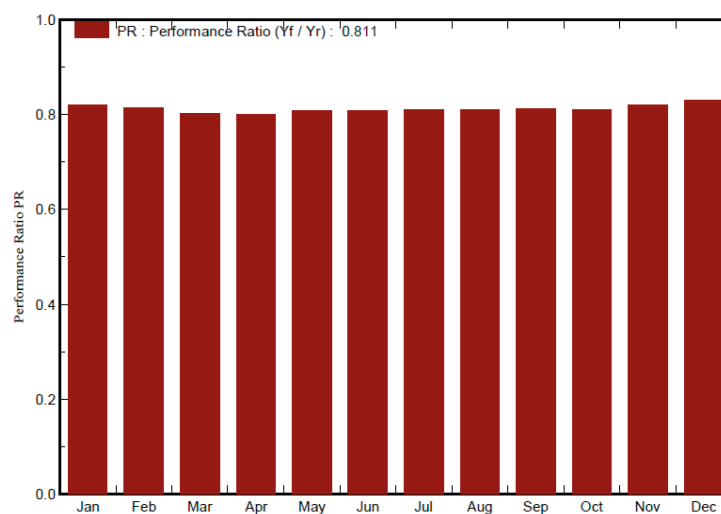


ภาพที่ 4 การสูญเสียที่เกิดในระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์

ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ (Efficiency) และอัตราส่วนสมรรถนะ (Performance Ratio) ของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาและเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายขนาดกำลัง 3 kW ด้วยการจำลองแบบโดยใช้โปรแกรม PVsyst โดยอาศัยข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์จากฐานข้อมูล NASA พบว่าพลังงานที่ผลิตได้ต่อวันจะมีค่าเกิน 5 kWh/kWp/day ในช่วงเดือนมีนาคม-มิถุนายน (ภาพที่ 5) ระบบมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เท่ากับ 4,855 kWh/year และมีอัตราส่วนสมรรถนะเฉลี่ยรายปี 81.1% แสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 5 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อวันรายเดือน



ภาพที่ 6 อัตราส่วนสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์

การอภิปรายผลและสรุปผลการวิจัย

การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาอาคารและเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายขนาดกำลัง 3 kWp ในพื้นที่อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง มีความเหมาะสมและให้ประสิทธิภาพสูง ระบบสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 4.855 MWh/year และมีอัตราส่วนสมรรถนะเฉลี่ยรายปี 81.1% ควรเลือกใช้เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-crystalline Si และ

รองรับกำลังการผลิตไฟฟ้าด้วยกริดอินเวอร์เตอร์ขนาด 3.0 kW ที่เหมาะสม และการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ควรหันไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ (SE) จึงจะได้รับความเข้มรังสีแสงอาทิตย์สูงสุดและได้ปริมาณพลังงานรวมรายปีมากที่สุดประมาณ 1,700 kWh/m² รวมทั้งการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มุมเอียง 20 องศา จะให้พลังงานไฟฟ้าและปริมาณพลังงานรวมรายปีมากที่สุด

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. กระทรวงพลังงาน. (2554). **ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย** (ออนไลน์). สืบค้นเมื่อ 23 กรกฎาคม 2559, จาก <http://www.dede.go.th>.
- [2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. กระทรวงพลังงาน. (2556). **ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา** (ออนไลน์). สืบค้นเมื่อ 23 กรกฎาคม 2559, จาก <http://www.dede.go.th>.
- [3] Chaianong, A. and Pharino, C. (2015). "Outlook and challenges for promoting solar photovoltaic rooftops in Thailand", **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. 48, 356-372.
- [4] Chapman, A.J., McLellan, B. and Tezuka, T. (2016). "Residential solar PV policy: an analysis of impacts, successes and failures in the Australia case", **Renewable Energy**. 86, 1265-1279.
- [5] Kaufmann, R.K. and Vaid, D. (2016). "Low electricity prices and greenhouse gas emissions due to rooftop solar: empirical results for Massachusetts", **Energy Policy**. 93, 345-352.
- [6] สมหมาย ดันติพันธุ์ไชย. (2558). "สรุปมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าของระบบ Solar PV Rooftop ตามมาตรฐาน NEC", **การประชุมวิชาการ PEA ปี 2558 เทคโนโลยีกับการพัฒนาระบบจำหน่ายไฟฟ้าในอนาคต**. 15. 27 พฤศจิกายน 2558, ณ ศูนย์ประชุมวายุภักษ์ ศูนย์ราชการเฉลิมพระเกียรติ แจ้งวัฒนะ. กรุงเทพฯ.
- [7] วรินดา ธีระสุภะ และรุ่งวิทย์ เหล่าชัยพฤกษ์. (2549). **การศึกษาแบบจำลองการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการอนุรักษ์**. กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- [8] Chacko, J.K. and Thomas, K.J. (2015). "Analysis of different solar panel arrangements using PVSYS", **International Journal of Engineering Research & Technology**. 4, 510-513.