



การศึกษาประสิทธิภาพระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์
แบบแนวตั้ง

โดย

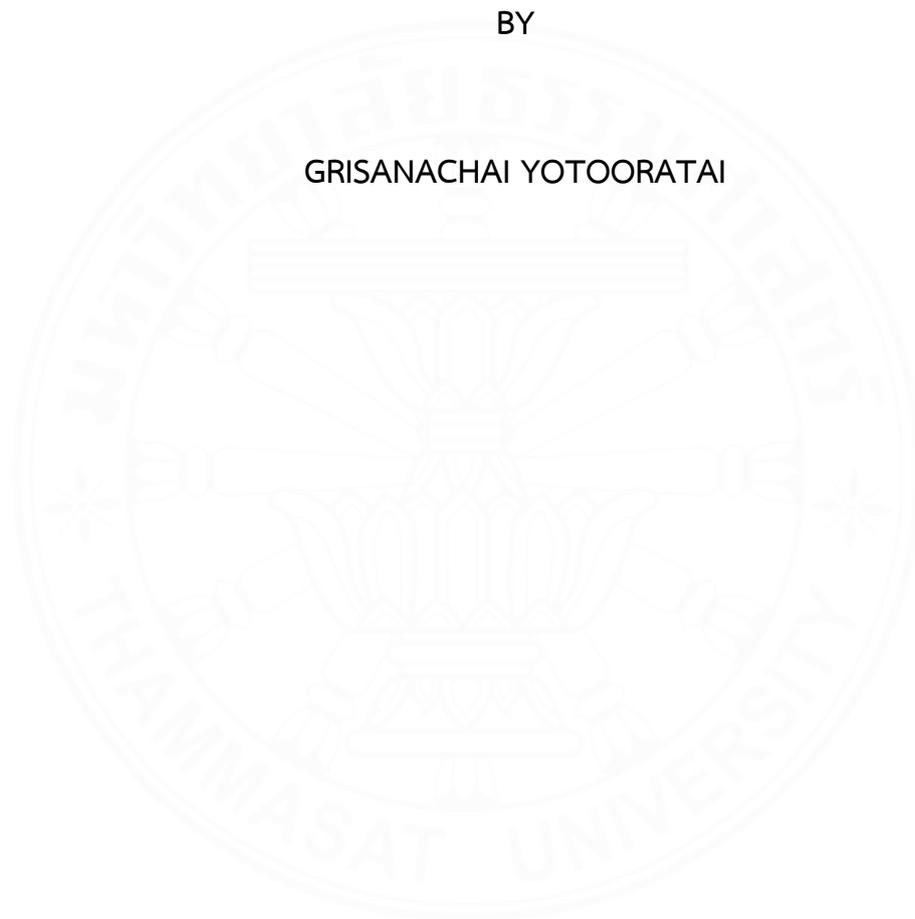
กฤษณชัย ยอดอรทัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน)
สาขาวิชาเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ปีการศึกษา 2566

STUDY ON THE EFFICIENCY OF
A VERTICAL SOLAR PHOTOVOLTAIC
POWER GENERATION SYSTEM

BY

GRISANACHAI YOTOORATAI



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF MASTER DEGREE OF SCIENCE
DEPARTMENT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT TECHNOLOGY
FACULTY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
THAMMASAT UNIVERSITY
ACADEMIC YEAR 2023

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

วิทยานิพนธ์

ของ

กฤษณชัย ยอดอรรถทัย

เรื่อง

การศึกษาประสิทธิภาพระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง

ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน)

เมื่อ วันที่ 1 กรกฎาคม พ.ศ. 2567

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



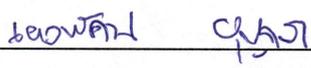
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์



(รองศาสตราจารย์ ดร.ธนิต เรืองรุ่งชัยกุล)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เยาวทัศน์ บุญกล้า)

คณบดี



(รองศาสตราจารย์ ดร.สุเพชร จิระจรกุล)

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาประสิทธิภาพระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง
ชื่อผู้เขียน	กฤษณชัย ยอดอรทัย
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน)
สาขาวิชา/คณะ/มหาวิทยาลัย	สาขาวิชาเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รองศาสตราจารย์ ดร.ธนิต เรืองรุ่งชัยกุล
ปีการศึกษา	2566

บทคัดย่อ

ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง คือหนึ่งในรูปแบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ได้รับการออกแบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พื้นที่ด้านข้างอาคารให้เกิดประโยชน์สูงสุดโดยเฉพาะอาคารสูง ที่ผ่านมามีการศึกษาและได้รับผลที่แตกต่างกันเมื่อศึกษาที่ละจุดแตกต่างกัน งานวิจัยนี้จึงจัดทำขึ้นมาเพื่อศึกษาสมรรถนะของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งโดยทำการศึกษา ณ ที่ตั้งละติจูด 14 องศาเหนือ จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าการโคจรอ้อมเหนือและอ้อมใต้ของดวงอาทิตย์ที่เปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลมีผลต่อกำลังผลิตไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง โดยเฉพาะด้านทิศใต้และทิศเหนือที่จะผลิตกำลังไฟฟ้าได้ลดลงเมื่อดวงอาทิตย์โคจรด้านฝั่งตรงกันข้ามกับแผงที่ติดตั้ง การศึกษาสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งพบว่าระบบด้านทิศตะวันออกและทิศตะวันตกมีสมรรถนะสูงใกล้เคียงกันและสูงกว่าระบบด้านทิศเหนือและทิศใต้

คำสำคัญ: เซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง อินเทอร์เน็ทในทุกสิ่ง เซลล์แสงอาทิตย์เชื่อมต่อบระบบจำหน่าย

Thesis Title	STUDY ON THE EFFICIENCY OF A VERTICAL SOLAR PHOTOVOLTAIC POWER GENERATION SYSTEM
Author	Grisanachai Yotooratai
Degree	Master of science department of sustainable
Department/Faculty/ University	Department sustainable development technology Faculty of science and technology Thammasat university
Thesis Advisor	Associate Professor Tanit Ruangrunghaikul, Ph.D.
Academic Year	2023

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. 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, outperforming those oriented north and south.

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

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ เรื่อง การศึกษาประสิทธิภาพระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความอนุเคราะห์จาก รองศาสตราจารย์ ดร.ธนิต เรืองรุ่งชัยกุล ที่ให้คำแนะนำเรื่อง ระเบียบวิธีวิจัย ความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับ ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง และแนวทางการออกแบบระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง รวมถึงแนวคิดในการทำงานวิจัยให้มีคุณภาพตั้งแต่เริ่มการศึกษาจนสิ้นสุดการศึกษา

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เยาวทัศน์ บุญกล้า ที่ให้ความอนุเคราะห์เข้าร่วมเป็นกรรมการ รวมถึงให้คำแนะนำและแนวทางในการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณ สาขาวิชาเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการวิจัย ทำให้งานวิจัยในครั้งนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่มอบทุนเรียนดีเพื่อการศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา ตามบันทึกข้อตกลงเลขที่ ทบ 40/2565

นายกฤษณชัย ยอดอรรถชัย

สารบัญ

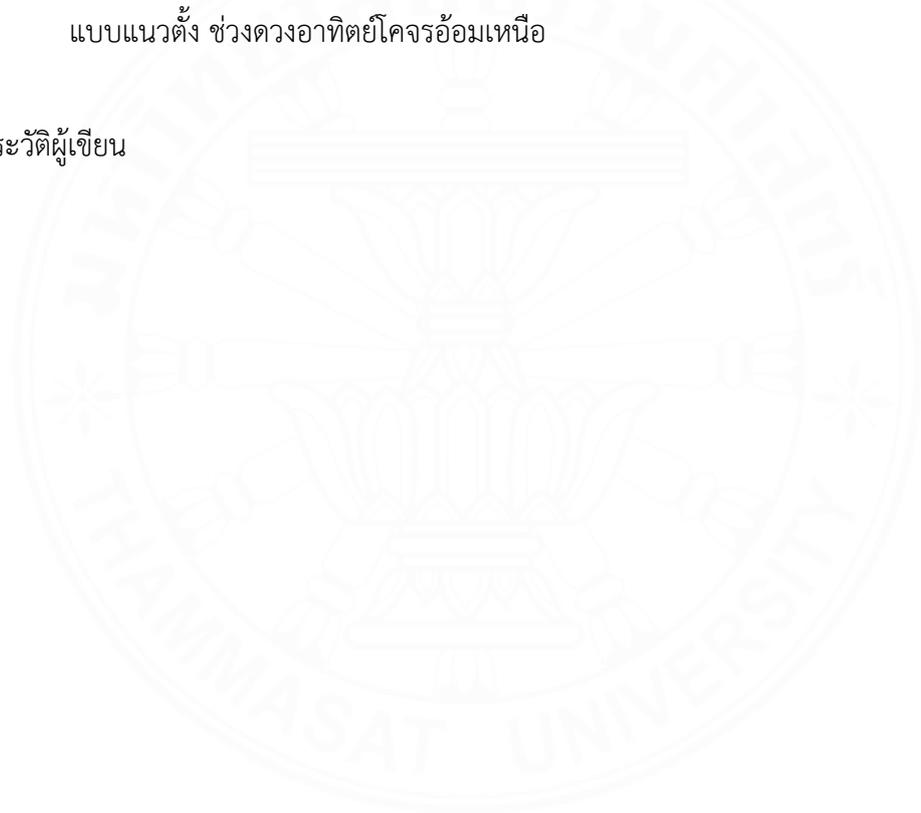
	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(1)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(2)
กิตติกรรมประกาศ	(3)
สารบัญตาราง	(7)
สารบัญภาพ	(8)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์โครงการวิจัย	2
1.3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	2
1.4 ขอบเขตของโครงการวิจัย	3
1.5 สถานที่ทำวิจัย	3
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย	3
บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 เอกสารและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1.1 แผนงานสำคัญของกระทรวงพลังงานในปี 2566	4
2.1.2 ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย	5
2.1.3 การโคจรของดวงอาทิตย์	10
2.1.4 เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์	12
2.1.5 ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์	17

สารบัญต่อ (ต่อ)

	หน้า
2.1.6 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter)	20
2.1.7 อาคารสูงในประเทศไทย	20
2.1.8 สัดส่วนการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานของประเทศไทย	21
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	22
 บทที่ 3 วิธีการศึกษา	 29
3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลและศึกษาข้อมูลเบื้องต้น	29
3.2 การออกแบบระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง	29
3.3 การทดสอบประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์ แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง	34
3.4 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ	35
 บทที่ 4 ผลการศึกษา	 38
4.1 การผลิตกำลังไฟฟ้า	38
4.2 ประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์	42
4.3 ประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า	43
4.4 การผลิตพลังงานไฟฟ้าและสมรรถนะระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบ แนวตั้ง	47
 บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	 49
5.1 สรุปผลการศึกษา	49
5.2 ข้อเสนอแนะ	49
 รายการอ้างอิง	 50

สารบัญต่อ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก	54
ภาคผนวก ก ภาพถ่ายการทดสอบระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ แบบแนวตั้ง ช่วงดวงอาทิตย์โคจรอ้อมใต้	55
ภาคผนวก ข ภาพถ่ายการทดสอบระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ แบบแนวตั้ง ช่วงดวงอาทิตย์โคจรอ้อมเหนือ	56
ประวัติผู้เขียน	58



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ค่าความเข้มข้นสีของดวงอาทิตย์จากดาวเทียมสำรวจเปรียบเทียบค่าที่ได้จาก สถานีวัดภาคพื้นดิน	7



สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย	6
2.2 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทยในรายเดือน พ.ศ.2560	10
2.3 ทิศทางการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์	11
2.4 ปრაกฏการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการขึ้นและตกของดวงอาทิตย์	12
2.5 ส่วนประกอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์	12
2.6 หลักการทำงานแผงเซลล์แสงอาทิตย์	13
2.7 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์ (Mono Crystalline Silicon)	14
2.8 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโพลีคริสตัลไลน์ (Poly Crystalline)	14
2.9 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัส (Amorphous)	15
2.10 เซลล์แสงอาทิตย์แบบใส	16
2.11 Bifacial photovoltaic technology	17
2.12 พยากรณ์แนวโน้มการใช้งาน Bifacial Solar Panels	17
2.13 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Stand-alone system)	18
2.14 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์เชื่อมต่อบริเวณสายส่งไฟฟ้าการไฟฟ้า (Grid Connected)	19
2.15 เซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (PV hybrid system)	19
2.16 ไมโครอินเวอร์เตอร์ (Micro-inverter)	20
2.17 อาคารสูงในประเทศไทย	21
2.18 สัดส่วนการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน	22
2.19 การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแนวตั้ง ทิศตะวันตก ทิศเหนือ ทิศใต้ และทิศ ตะวันออก	23
2.20 การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำมุม 12 องศา กับแนวระนาบ	23
2.21 ความแตกต่างของการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งกับ ผนังอาคาร	24
2.22 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปีจากแบบจำลองที่ 1-5	25
2.23 พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือนที่ผลิตได้จากการติดตั้งทั้ง 3 แบบ	26
2.24 การผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์รายเดือนที่มีการวางตัวในทิศทางต่าง ๆ	27

สารบัญญภาพ (ต่อ)

	หน้า
2.25 มุมการติดตั้งแผงวัสดุบังเงา 0 – 90 องศา	28
3.1 ภาพรวมระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง	30
3.2 การออกแบบระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง	30
3.3 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโพลีคริสตัลไลน์	31
3.4 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเชื่อมต่อระบบจำหน่าย (Grid Tie Micro Inverter)	31
3.5 เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง และ Shunt	32
3.6 เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ	32
3.7 โมดูล RS485	32
3.8 ESP8266	33
3.9 Wi-Fi router	33
3.10 Arduino IDE	33
3.11 Google Sheets	34
3.12 เครื่องวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (Pyranometer)	34
3.13 การติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง ทิศใต้ ทิศตะวันออก และ หันใต้ 14 องศา	35
3.14 การติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งทิศเหนือ และทิศตะวันตก	35
4.1 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ช่วงดวงอาทิตย์อ่อนได้เล็กน้อย วันที่ 22 มีนาคม 2567	39
4.2 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ช่วงดวงอาทิตย์ตั้งฉากพื้นที่ศึกษา วันที่ 30 เมษายน 2567	40
4.3 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ช่วงดวงอาทิตย์อ่อนเหนือ วันที่ 28 พฤษภาคม 2567	41
4.4 ประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์	42
4.5 ประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า	43
4.6 ประสิทธิภาพรวมระบบ ณ วันที่ 22 มีนาคม 2567	45
4.7 ประสิทธิภาพรวมระบบ ณ วันที่ 25 เมษายน 2567	46
4.8 ประสิทธิภาพรวมระบบ ณ วันที่ 28 พฤษภาคม 2567	47
4.9 พลังงานไฟฟ้าและสมรรถนะของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบ แนวตั้ง	47

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

กระทรวงพลังงานประเทศไทยมีนโยบายขับเคลื่อนการใช้พลังงานสะอาดเพื่อลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ตามเป้าหมายสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอน ภายในปี ค.ศ. 2050 และเป้าหมายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ภายในปี ค.ศ. 2065 (กระทรวงพลังงาน, 2566) เนื่องด้วยประเทศไทยตั้งอยู่ในพื้นที่ใกล้เขตเส้นศูนย์สูตรได้รับรังสีดวงอาทิตย์อย่างต่อเนื่องและคงที่ตลอดทั้งปี ซึ่งความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศมีค่าเท่ากับ $17.6 \text{ MJ/m}^2\text{-day}$ (กระทรวงพลังงาน, 2560) จัดอยู่ในระดับที่ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับประเทศอื่น ๆ เช่น ประเทศญี่ปุ่น ประเทศไอร์แลนด์ และประเทศอังกฤษ เป็นต้น ซึ่งเป็นปริมาณที่เพียงพอสำหรับนำไปประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีและนวัตกรรมเพื่อพัฒนาให้เกิดประโยชน์ในด้านต่าง ๆ เช่น ใช้ความร้อนจากดวงอาทิตย์ในกระบวนการอบแห้ง ใช้รังสีดวงอาทิตย์ในกระบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้า (กระทรวงพลังงาน, 2554) โดยกระบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์มีอยู่ 3 รูปแบบหลัก คือ รูปแบบที่ 1 ระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Standalone system) รูปแบบที่ 2 ระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (PV Hybrid system) และ รูปแบบที่ 3 ระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์เชื่อมต่อบริษัทจำหน่าย (PV Grid connected system) ซึ่งระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์เชื่อมต่อบริษัทจำหน่าย คือหนึ่งในระบบที่ได้รับความนิยมและมีความเหมาะสมสำหรับพื้นที่ ๆ ระบบสายส่งการไฟฟ้าเข้าถึงแล้ว เช่น พื้นที่เขตเมือง หรือพื้นที่ที่มีระบบจำหน่ายไฟฟ้าเข้าถึง เป็นต้น (กระทรวงพลังงาน, 2564) โดยเฉพาะกับอาคารขนาดใหญ่ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าจำนวนมากกว่ามาตรฐาน (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก องค์การมหาชน, 2556 อ้างถึงใน Green Style, 2021) เนื่องจากในช่วงเวลากลางวันเมื่อเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับแสงแล้วจะผลิตพลังงานไฟฟ้าออกมา ซึ่งสามารถนำพลังงานไฟฟ้านั้นไปใช้ได้ทันทีกับเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ เช่น เครื่องปรับอากาศ หลอดไฟ เป็นต้น เพื่อเป็นการประยุกต์ใช้พลังงานทางเลือกและลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายไฟฟ้าของภาครัฐ

กระบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งสำหรับพื้นที่ในประเทศไทยจึงควรได้รับการศึกษาทดสอบประสิทธิภาพเพื่อเป็นแหล่งข้อมูลและแนวทางสำหรับผู้สนใจ เนื่องจากในปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยีผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ไปประยุกต์ใช้งานติดตั้งทั้งบนหลังคาและชั้นดาดฟ้าอาคาร เช่น โรงงานอุตสาหกรรม ที่พักอาศัย อาคารสำนักงาน

เป็นต้น อย่างไรก็ตามการติดตั้งควรทำมุมเอียงประมาณ 15-20 องศากับแนวราบและหันหน้าไปทางทิศใต้ เพื่อให้ได้ศักยภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าออกมากที่สุด (จารุวรรณ, 2021) ซึ่งการติดตั้งแบบดังกล่าวเหมาะสำหรับพื้นที่ที่มีความลาดชันน้อย ขณะเดียวกันสำหรับอาคารสูงส่วนใหญ่มีพื้นที่หลังคาหรือชั้นดาดฟ้าค่อนข้างน้อยเนื่องจากถูกใช้เป็นที่สำหรับติดตั้งเครื่องปรับอากาศ หรืออื่น ๆ (Redweik et al, 2013 อ้างถึงใน Ghazali et al, 2017) และบางอาคารปลายยอดมีรูปทรงที่ยากต่อการติดตั้งใช้งานระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อเทียบกับพื้นที่ด้านข้างที่มีมากกว่าและยังได้รับแสงตลอดทั้งวันโดยเฉพาะอาคารที่มีความสูงเกิน 150 เมตร วัดจากระดับพื้นดินและอยู่ห่างจากอาคารหรือสิ่งปลูกสร้างอื่นที่มีความสูงใกล้เคียงกัน สามารถติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่าและยังเป็นการใช้พื้นที่ว่างเปล่าให้เกิดประโยชน์ (Yang et al, 2000 อ้างถึงใน Ghazali et al, 2017)

ในงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจศึกษาทดสอบประสิทธิภาพระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง 4 ทิศ ได้แก่ ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก ทิศตะวันตก เพื่อวิเคราะห์ความเหมาะสมการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง

1.2 วัตถุประสงค์โครงการวิจัย

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบประสิทธิภาพและประเมินสมรรถนะของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง

1.3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. รวบรวมข้อมูลจากเอกสารวิจัย หนังสือ บทความวิชาการ ข้อมูลอินเทอร์เน็ต และแหล่งอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับ การศึกษาทดสอบประสิทธิภาพระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง รวมถึงข้อมูลอื่น ๆ ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการวิจัยนี้ได้

2. ออกแบบและติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง โดยติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง 4 ชุด ชุดละ 1 ทิศ ได้แก่ ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก โดยทั้ง 4 ชุด เป็นระบบเซลล์แสงอาทิตย์เชื่อมต่อบนระบบจำหน่าย (PV Grid connected system)

3. ทดสอบและเก็บข้อมูลการผลิตพลังงานไฟฟ้า ตั้งแต่วันที่ 22 มีนาคม 2567 ถึง 28 พฤษภาคม 2567

4. วิเคราะห์ผลการทดสอบและอภิปรายผลการทดสอบ

5. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

1.4 ขอบเขตของโครงการวิจัย

งานวิจัยนี้มีขอบเขตการศึกษาโดยทดสอบประสิทธิภาพระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง โดยเก็บข้อมูลจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 100 วัตต์

1.5 สถานที่ทำวิจัย

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ละติจูด 14 องศาเหนือ

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

1. สามารถนำข้อมูลไปใช้ในการประกอบการตัดสินใจติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง

2. สามารถนำผลการศึกษาไปพัฒนาต่อยอดเพื่อพัฒนาอุปกรณ์รับแสงอาทิตย์ในแนวตั้ง บริเวณพื้นที่ผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ในระดับอุตสาหกรรม เช่น โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น

บทที่ 2

วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พลังงานถือเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญอย่างมากสำหรับการดำรงชีวิตของมนุษย์ โดยในปัจจุบันมีเทคโนโลยีและนวัตกรรมหลากหลายรูปแบบ ที่สามารถเปลี่ยนทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่ให้กลายเป็นพลังงานหรือเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพลังงานให้ดียิ่งขึ้น โดยที่ส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดเพื่อความยั่งยืนด้านพลังงาน ซึ่งหนึ่งในทางเลือกที่นิยมสำหรับเทคโนโลยีเปลี่ยนทรัพยากรธรรมชาติเป็นพลังงานคือเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นเทคโนโลยีที่ไม่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกในระหว่างกระบวนการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า แต่ด้วยปัจจัยพื้นที่สำหรับการติดตั้งต้องใช้พื้นที่ที่มีความเหมาะสมจึงสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ ปัจจุบันพื้นที่ชั้นดาดฟ้าหรือหลังคาเป็นหนึ่งในทางเลือกที่ได้รับความนิยมค่อนข้างสูงสำหรับการติดตั้งเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ แต่เป็นหนึ่งในข้อจำกัดสำหรับอาคารที่มีความสูงที่มีพื้นที่ชั้นดาดฟ้าน้อยที่ต้องการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อใช้ในอาคารให้ได้มากที่สุด ในขณะเดียวกันพื้นที่ผนังด้านนอกอาคารสูงเป็นพื้นที่ว่างเปล่าที่ได้รับแสงอาทิตย์ แม้ว่าจะมีความแตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลาหรือทิศทางที่ติดตั้ง แต่ถือได้ว่าเป็นพื้นที่หนึ่งที่มีความน่าสนใจในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าให้กับอาคารสูงและเป็นการใช้พื้นที่ว่างเปล่าให้เกิดประโยชน์ ผู้วิจัยจึงเห็นความสำคัญที่จะนำเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์มาทำการทดสอบติดตั้งแบบแนวตั้ง 4 ทิศ ทิศละ 1 ชุด ได้แก่ ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าและเป็นข้อมูลที่จะนำไปประยุกต์เพื่อติดตั้งใช้งานระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งต่อไปในอนาคต

2.1 เอกสารและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 แผนงานสำคัญของกระทรวงพลังงานในปี 2566

สำหรับแผนงานสำคัญของกระทรวงพลังงานในปี พ.ศ.2566 มุ่งสู่พลังงานสะอาด เพื่อตอบโจทย์สังคมยุคไร้คาร์บอน โดยมีแผนงานและโครงการแบ่งเป็น 2 มิติ ดังต่อไปนี้

มิติที่ 1 พลังงานสร้างความมั่นคงสู่สังคมคาร์บอนต่ำ โดยแผนพลังงานชาติและแผนพลังงานสาขาใหม่เน้นการส่งเสริมพลังงานสะอาด ตามเป้าหมายสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอน ภายในปี ค.ศ.2050 และเป้าหมายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ภายในปี ค.ศ.2065 มี

แผนการลงทุน Grid Modernization ของประเทศฉบับแรก ปลดล็อก ปรับปรุงกฎ กติกา เพื่อส่งเสริมการซื้อขายไฟฟ้าสะอาดเชิงพื้นที่ ส่งเสริมการลงทุนรถ EV และสถานีอัดประจุไฟฟ้า

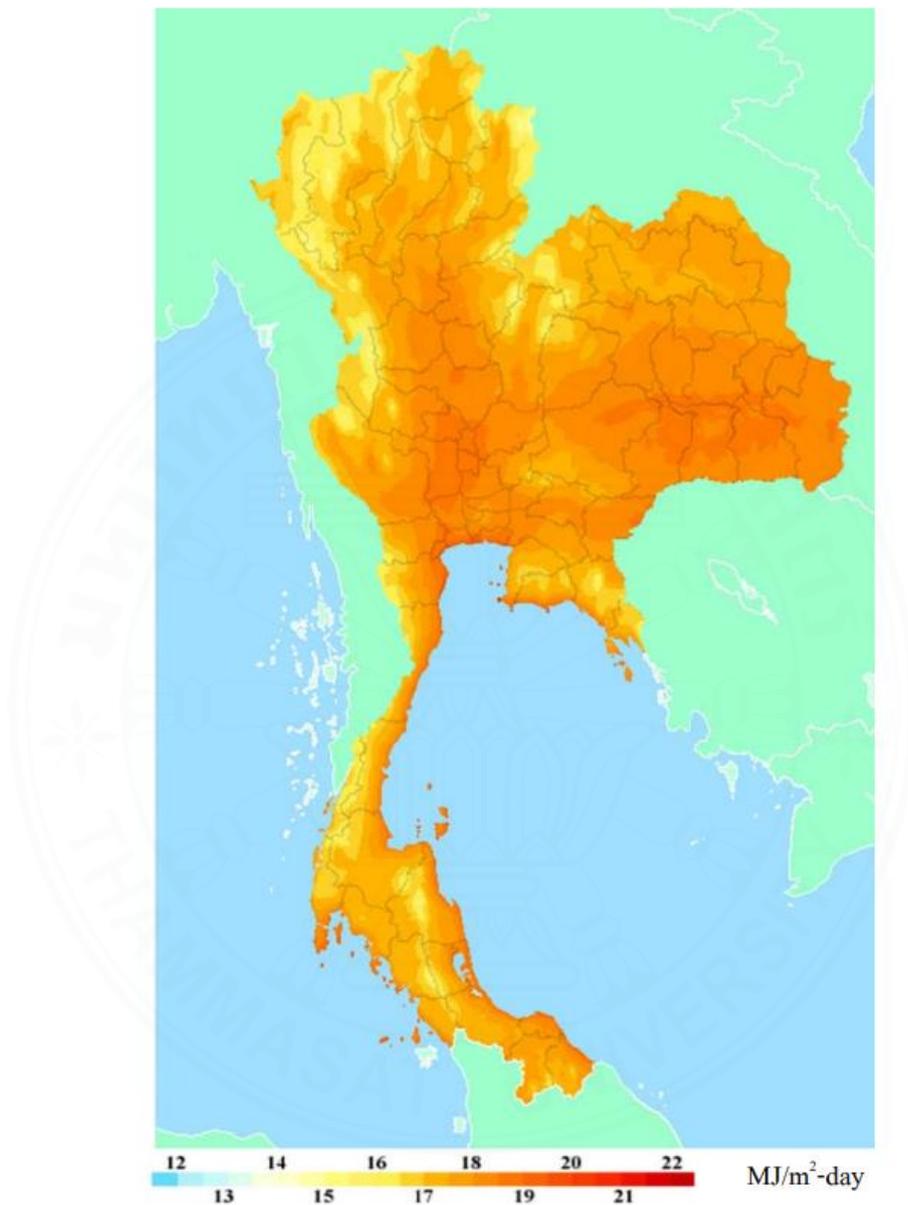
มติที่ 2 พลังงานเสริมสร้างเศรษฐกิจ ด้วยการจัดหาก๊าซธรรมชาติจากแหล่งในประเทศ และประเทศเพื่อนบ้านซึ่งมีต้นทุนการผลิตต่ำกว่าการนำเข้า Spot LNG (Liquefied Natural Gas) เร่งพัฒนาเครื่องมือทางการเงินเพื่อส่งเสริมพลังงานทดแทน และการอนุรักษ์พลังงาน พร้อมกันนี้ยังส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาสำหรับหน่วยงานของรัฐ การบังคับใช้เกณฑ์ด้านพลังงานสำหรับการออกแบบอาคารสร้างใหม่ BEC (Building Energy Code) เป็นต้น (กระทรวงพลังงาน, 2566)

2.1.2 ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์และจัดทำแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย โดยการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากดาวเทียมสำรวจร่วมกับข้อมูลที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดิน พบว่าความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์ตามพื้นที่ต่าง ๆ ในแต่ละเดือนของประเทศได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ พื้นที่โดยส่วนใหญ่ของประเทศได้รับรังสีของดวงอาทิตย์สูงสุดอยู่ระหว่างเดือนเมษายนถึงพฤษภาคม มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 20 ถึง 23 MJ/m²-day เมื่อพิจารณาแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีพบว่าพื้นที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดเฉลี่ยตลอดทั้งปีอยู่ที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ รวมถึงพื้นที่บางส่วนของจังหวัดบุรีรัมย์ นครราชสีมา ศรีสะเกษ สุรินทร์ ร้อยเอ็ด ยโสธร อุบลราชธานี อุตรธานี และพื้นที่บางส่วนของภาคกลางที่จังหวัดชัยนาท สุพรรณบุรี อยุธยา และลพบุรี โดยได้รับรังสีของดวงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดทั้งปีอยู่ที่ 18 ถึง 20 MJ/m²-day ซึ่งพื้นที่ที่กล่าวถึงคิดเป็น 11% ของพื้นที่ทั้งหมดในประเทศไทยและยังพบว่า 35.6% ของพื้นที่ทั้งหมดได้รับรังสีของดวงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดทั้งปีในช่วง 18-19 MJ/m²-day และจากการคำนวณรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศไทยพบว่ามีค่าอยู่ที่ 17.6 MJ/m²-day จากข้อมูลดังกล่าวมาข้างต้นแสดงให้เห็นว่าประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง ดังแสดงใน "แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย" (ภาพที่ 2.1) (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2560)

ภาพที่ 2.1

แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย



หมายเหตุ. ภาพแสดงแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย, จาก กระทรวงพลังงาน, 2560 (https://www.dede.go.th/download/OpenBigData/Solar_Map_1_2560.pdf)

ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์ที่ได้จากแผนที่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดิน โดยมีความแตกต่างในรูปของ root mean square difference (RMSD) = 7.3% ซึ่งถือว่ามีความละเอียดของแผนที่อยู่ในเกณฑ์ดี ดังแสดงในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ค่าความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์จากดาวเทียมสำรวจเปรียบเทียบค่าที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดิน

สถานี	จังหวัด	H (map) MJ/m ²	H (measurement) MJ/m ²	Difference (%)
1	กรุงเทพมหานคร	17.9	17.5	2.2
2	กาญจนบุรี (กรมอุตุนิยมวิทยา)	18.0	18.4	2.0
3	กาญจนบุรี (ทองผาภูมิ)	17.1	17.3	0.8
4	ขอนแก่น	17.9	18.5	3.0
5	ชลบุรี	17.3	17.9	3.2
6	ชุมพร	17.5	17.5	0.1
7	เชียงราย	17.0	17.1	0.6
8	เชียงใหม่	17.2	18.0	4.8
9	ดอยอินทนนท์ (แม่กลาง)	17.0	16.8	0.8
10	ดอยอินทนนท์ (เรดาร์)	17.0	16.1	5.3
11	ดอยอินทนนท์ (สำนักงาน)	17.0	15.4	9.1
12	ตรัง	16.9	17.9	5.8
13	ตราด	17.2	17.1	0.3
14	ตาก	16.7	16.5	1.3
15	นครพนม	17.4	17.4	0.5
16	นครราชสีมา	18.1	18.1	0.1
17	นครสวรรค์	18.3	17.9	2.2
18	นราธิวาส	18.8	18.6	1.0
19	น่าน	17.2	17.3	0.3
20	ประจวบคีรีขันธ์	18.7	18.5	1.1
21	ปราจีนบุรี	17.9	17.6	1.7
22	พิษณุโลก	17.9	18.2	1.8
23	เพชรบูรณ์	17.6	17.8	1.1
24	แพร่	17.1	17.6	2.9
25	ภูเก็ต	17.9	19.1	6.7
26	แม่สะเรียง	16.8	16.8	0.0
27	แม่ฮ่องสอน	17.0	16.3	4.5
28	ร้อยเอ็ด	18.1	18.9	4.3
29	ระนอง	15.8	16.0	1.0
30	ลพบุรี	17.9	18.4	2.7
31	เลย	17.1	16.8	1.6
32	สงขลา	17.1	17.7	3.3
33	สระแก้ว	18.2	16.8	7.5
34	สุราษฎร์ธานี (เกาะสมุย)	18.2	18.7	2.8

หมายเหตุ. ตารางแสดงค่าความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์จากดาวเทียมสำรวจเปรียบเทียบค่าที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดิน, จาก กระทรวงพลังงาน, 2554 (https://www.dede.go.th/article_attach_solar.pdf)

แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์รายเดือน ของประเทศไทยพบว่าค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในเดือนต่าง ๆ (ภาพที่ 2.2) มีค่าเพิ่มหรือลดลงเกิดขึ้นได้ตามสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงและมุมตกกระทบของรังสีดวงอาทิตย์ของพื้นที่ในเดือนดังกล่าว โดยในเดือนมกราคม

พื้นที่บริเวณตอนเหนือของประเทศไทยมีค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยต่ำกว่าภาคอื่น ๆ ค่ารังสีรวมรายวันเฉลี่ยต่อเดือนอยู่ในช่วง 15-18 MJ/m²-day แม้เป็นบริเวณกว้างถึงภาคกลางตอนบนสำหรับภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์สูงกว่าภาคอื่น ๆ โดยส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในช่วง 18-19 MJ/m²-day สำหรับภาคใต้ตอนบนและบริเวณชายฝั่งด้านตะวันออกมีค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์อยู่ในช่วง 16-18 MJ/m²-day สำหรับภาคใต้ตอนล่างฝั่งตะวันตกจะมีบางพื้นที่ เช่น บริเวณภูเก็ต พังงา และกระบี่ มีความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ช่วง 18-20 MJ/m²-day

การกระจายความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในเดือนกุมภาพันธ์มีค่าเพิ่มขึ้นกว่าเดือนมกราคม โดยทางตอนเหนือสุดของประเทศไทยมีค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ประมาณ 17-19 MJ/m²-day บริเวณทางตอนกลางของประเทศไทยความเข้มรังสีดวงอาทิตย์สูงขึ้นโดยมีค่าอยู่ในช่วง 20-22 MJ/m²-day บริเวณทางตอนใต้ของประเทศไทยและภาคตะวันตกตอนใต้มีค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนอยู่ในช่วง 19-21 MJ/m²-day

การกระจายความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของเดือนมีนาคม โดยทางตอนใต้และตะวันตกของประเทศไทยมีค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์สูงมีค่าอยู่ในช่วง 20-22 MJ/m²-day ส่วนภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีการกระจายความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เป็นแถบกว้างมีความเข้มอยู่ในช่วง 20-23 MJ/m²-day กระจายอยู่ทั่วประเทศ และภาคเหนือมีความเข้มรังสีดวงอาทิตย์อยู่ในช่วง 18-22 MJ/m²-day

การกระจายของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของเดือนเมษายน ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์สูงทั่วทั้งประเทศ มีค่าอยู่ในช่วง 18-23 MJ/m²-day โดยเฉพาะทางภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย รังสีดวงอาทิตย์มีความเข้มสูงกระจายอยู่ระหว่าง 20-23 MJ/m²-day บริเวณภาคเหนือยังคงมีความเข้มรังสีดวงอาทิตย์สูงประมาณ 19-22 MJ/m²-day ในขณะที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ต่ำประมาณ 17-20 MJ/m²-day

การกระจายของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของเดือนพฤษภาคม โดยพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศไทยมีความเข้มรังสีดวงอาทิตย์กระจายอยู่ในช่วง 16-21 MJ/m²-day บริเวณตลอดแนวเทือกเขาของภาคตะวันตกค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ลดลงอยู่โดยจะในช่วง 15-19 MJ/m²-day ส่วนภาคใต้ฝั่งตะวันตกของประเทศไทยมีค่าลดลงอยู่ในช่วง 15-18 MJ/m²-day ภาคใต้ฝั่งตะวันออกยังคงมีค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์อยู่ในช่วง 18-20 MJ/m²-day สำหรับภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์มีค่าสูงประมาณ 20-22 MJ/m²-day

การกระจายของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของเดือนมิถุนายน โดยค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ทั่วประเทศกระจายอยู่ในช่วง 15-21 MJ/m²-day สำหรับบริเวณเขตภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยในจังหวัดสิงห์บุรี ร้อยเอ็ด มหาสารคาม สุรินทร์ บุรีรัมย์ ศรีสะเกษ และจังหวัดใกล้เคียงยังมีค่าความเข้มสูงอยู่ในช่วง 20-22 MJ/m²-day

การกระจายของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของเดือนกรกฎาคม ค่ารังสีดวงอาทิตย์ลดลงมีค่าส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 14-20 MJ/m²-day โดยเฉพาะทางภาคเหนือตอนบน และภาคตะวันตกของประเทศซึ่งติดกับเทือกเขาตะนาวศรี และภาคใต้ฝั่งตะวันตกมีค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ต่ำประมาณ 14-17 MJ/m²-day โดยบริเวณความเข้มสูง 18-20 MJ/m²-day จะปรากฏเป็นหย่อมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

การกระจายของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของเดือนสิงหาคม โดยการกระจายของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ทั่วทั้งประเทศอยู่ในช่วง 13-19 MJ/m²-day แต่บริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศยังคงมีความเข้มรังสีดวงอาทิตย์สูงคือมีค่าอยู่ในช่วง 18-20 MJ/m²-day ส่วนทางภาคตะวันตกที่ติดกับเทือกเขาและภาคใต้ฝั่งภาคตะวันตกของประเทศมีค่าต่ำสุดในรอบปีมีค่าประมาณ 13-16 MJ/m²-day

การกระจายของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของเดือนกันยายน พื้นที่ทุกภาคของประเทศยังคงมีค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์กระจายอยู่ในช่วง 14-19 MJ/m²-day มีเพียงบริเวณพื้นที่เล็ก ๆ ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือในจังหวัดร้อยเอ็ด มหาสารคาม และกาฬสินธุ์ มีค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์สูงอยู่ในช่วง 19-21 MJ/m²-day

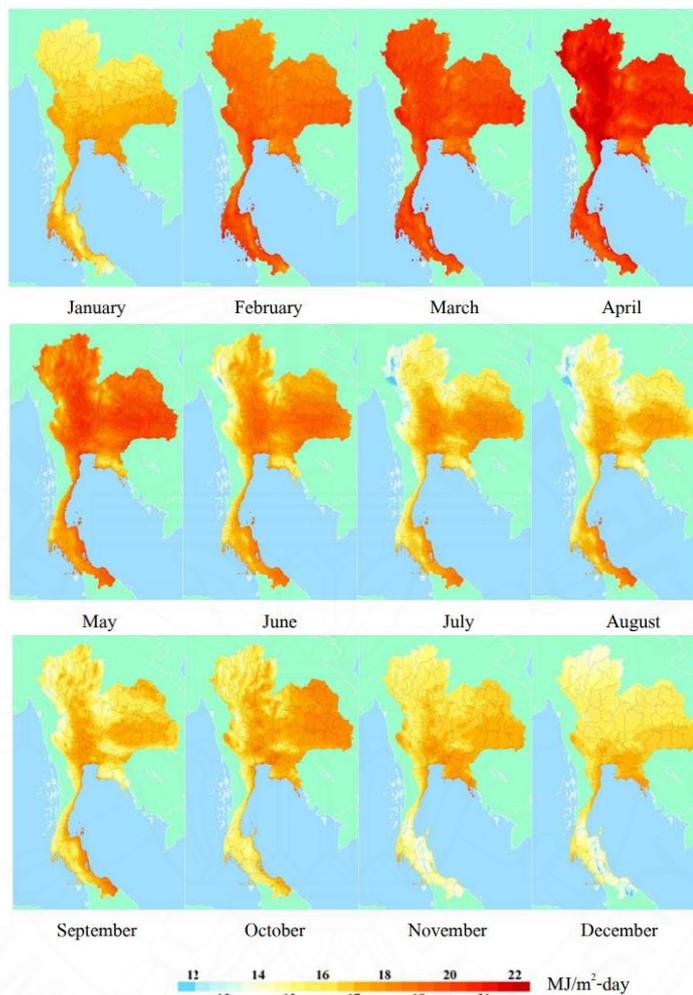
การกระจายของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของเดือนตุลาคม ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศมีค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์อยู่ในช่วง 17-19 MJ/m²-day ส่วนบริเวณอื่น ๆ ของประเทศยังคงมีความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนไม่ต่างกับเดือนกันยายน ยกเว้นทางภาคเหนือตอนบนและภาคใต้ของประเทศที่มีความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนลดลงเป็น 14-17 MJ/m²-day

การกระจายของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของเดือนพฤศจิกายน พื้นที่ทั่วประเทศมีค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์อยู่ในช่วง 13-17 MJ/m²-day สำหรับภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีการกระจายความเข้มรังสีดวงอาทิตย์คล้ายคลึงกันมีค่าอยู่ในช่วง 18-19 MJ/m²-day

การกระจายของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของเดือนธันวาคม รังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิวโลกบริเวณประเทศไทยยังคงมีค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์กระจายอยู่ในช่วง 12-16 MJ/m²-day ส่วนบริเวณอื่นของประเทศค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์อยู่ในช่วง 17-19 MJ/m²-day โดยทางภาคเหนือตอนบนของประเทศค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์มีค่าลดลงอยู่ในช่วง 13-16 MJ/m²-day

ภาพที่ 1.2

แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทยในรายเดือน พ.ศ.2560



หมายเหตุ. ภาพแสดงแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทยในรายเดือน พ.ศ.2560, จาก กระทรวงพลังงาน, 2560 (https://www.dede.go.th/download/OpenBigData/Solar_Map_1_2560.pdf)

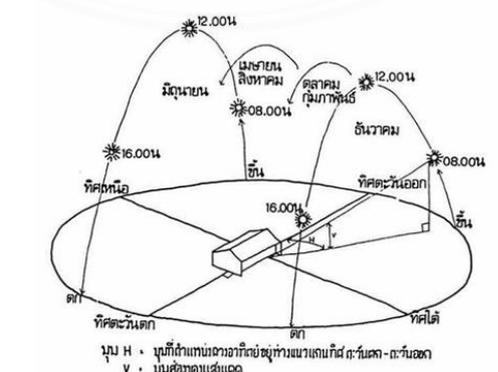
2.1.3 การโคจรของดวงอาทิตย์

โดยทั่วไปดวงอาทิตย์โคจรขึ้นจากทิศตะวันออกและลับขอบฟ้าทางทิศตะวันตก ขึ้นลงสลับกันในลักษณะนี้เหมือนเดิมทุกวัน แต่ในรายละเอียดนอกเหนือจากที่กล่าวมาแล้ว ทิศทางของดวงอาทิตย์ในประเทศไทยจะโคจรจากทิศตะวันออกไปยังทิศตะวันตกโดยมีการอ้อมไปทางทิศเหนือหรือทิศใต้ เป็นวงโค้งที่ไม่ได้ตั้งฉากกับพื้นดินอยู่เสมอไป (ภาพที่ 2.3) โดยดวงอาทิตย์จะโคจรอ้อมทิศใต้เป็นเวลา 8 เดือน ตั้งแต่เดือนกันยายนจนถึงเดือนเมษายน และจะกลับมาโคจรอ้อมทิศเหนือ 4 เดือน ตั้งแต่เดือนพฤษภาคมจนถึงเดือนสิงหาคม ซึ่งปรากฏการณ์นี้มีสาเหตุมาจาก

แกนโลกที่เอียงทำมุม 23.5 องศาจากแนวตั้งฉากกับระนาบที่โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์ นอกจากนี้ที่กล่าวมาแล้วการที่แกนโลกเอียงยังส่งผลให้เกิดฤดูกาลต่าง ๆ ด้วย โดยช่วงที่ดวงอาทิตย์โคจรอ้อมเหนือหรืออ้อมใต้ในรอบ 1 ปี ได้ส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการขึ้นและตกของดวงอาทิตย์ ดังนี้ 1) วันวสันตวิษุวัต (วะ-สัน-ตะ-วิ-สุ-วัต) (Vernal Equinox) ในปี พ.ศ.2562 ตรงกับวันที่ 21 มี.ค. เป็นวันที่ดวงอาทิตย์ขึ้นทางทิศตะวันออกเฉียงออกและตกทางทิศตะวันตกพอดี ส่งผลให้ช่วงเวลากลางวันเท่ากับกลางคืนพอดี นับเป็นวันที่ประเทศทางซีกโลกเหนืออย่างเข้าสู่ฤดูใบไม้ผลิ ส่วนซีกโลกใต้เข้าสู่ฤดูใบไม้ร่วง 2) วันครีษมายัน (ครี-ด-สะ-มา-ยัน) (Summer Solstice) ในปี พ.ศ.2562 ตรงกับวันที่ 21 มิ.ย. เป็นวันที่ดวงอาทิตย์ขึ้นทางทิศตะวันออกเฉียงไปทางเหนือมากที่สุด และตกทางทิศตะวันตกเฉียงไปทางเหนือมากที่สุด ส่งผลให้ช่วงเวลากลางวันยาวที่สุดในรอบปี สำหรับประเทศทางซีกโลกเหนือนับเป็นวันที่ย่างเข้าสู่ฤดูร้อน ส่วนประเทศทางซีกโลกใต้ช่วงกลางวันจะสั้นที่สุดในรอบปี นับเป็นวันที่ย่างเข้าสู่ฤดูหนาว 3) วันศารทวิษุวัต (สาด-ทะ-วิ-สุ-วัต) (Autumnal Equinox) ในปี พ.ศ. 2562 ตรงกับวันที่ 23 ก.ย. เป็นวันที่ดวงอาทิตย์ขึ้นทางทิศตะวันออกเฉียงออกและตกทางทิศตะวันตกพอดี ส่งผลให้ช่วงเวลากลางวันเท่ากับกลางคืนพอดี นับเป็นวันที่ประเทศทางซีกโลกเหนืออย่างเข้าสู่ฤดูใบไม้ร่วง ส่วนซีกโลกใต้เข้าสู่ฤดูใบไม้ผลิ และ 4) วันเหมายัน (เห-มา-ยัน) (Winter Solstice) ในปี พ.ศ. 2562 ตรงกับวันที่ 22 ธ.ค. เป็นวันที่ดวงอาทิตย์ขึ้นทางทิศตะวันออกเฉียงไปทางใต้มากที่สุด และตกทางทิศตะวันตกเฉียงไปทางใต้มากที่สุด ส่งผลให้ช่วงเวลากลางวันสั้นที่สุดและกลางคืนยาวที่สุดในรอบปี หรือที่คนไทยเรียกว่า “ตะวันอ้อมข้าว” สำหรับประเทศทางซีกโลกเหนือ นับเป็นวันที่ย่างเข้าสู่ฤดูหนาว ส่วนประเทศทางซีกโลกใต้ช่วงกลางวันจะยาวที่สุดในรอบปี นับเป็นวันที่ย่างเข้าสู่ฤดูร้อน (ภาพที่ 2.4) (สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน), 2562)

ภาพที่ 2.3

ทิศทางการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์

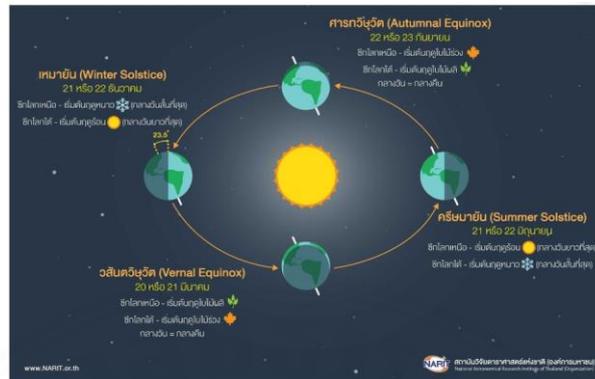


หมายเหตุ. ภาพทิศทางการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์, จาก Design Makes a Better Life, 2016

(<https://dsignsomething.com/2016/03/14/qa>)

ภาพที่ 2.4

ปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการขึ้นและตกของดวงอาทิตย์



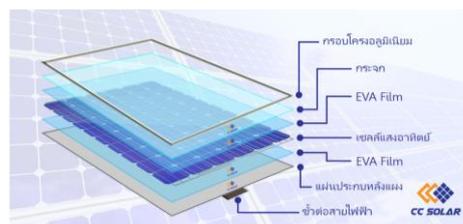
หมายเหตุ. ภาพปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการขึ้นและตกของดวงอาทิตย์, จาก สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน), 2562 (<https://www.narit.or.th/index.php/news/760-4135-narit-winter-solstice-2562>)

2.1.4 เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ผลิตจากสารกึ่งตัวนำชนิดพิเศษที่สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current; DC) ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันที รวมทั้งสามารถเก็บไว้ในแบตเตอรี่เพื่อเป็นพลังงานสำรองได้ ตัวแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะประกอบด้วย กรอบโครงอลูมิเนียม กระจก EVA Film เซลล์แสงอาทิตย์ EVA Film แผ่นประกอบหลังแผง และขั้วต่อสายไฟ ดังแสดงในภาพที่ 2.5 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ถือว่าเป็นแหล่งพลังงานสะอาดและไม่สร้างมลภาวะแก่สิ่งแวดล้อมเหมือนกับแหล่งพลังงานอื่น ๆ เช่น น้ำมัน โรงไฟฟ้าที่มีกระบวนการผลิตจากก๊าซธรรมชาติ และถ่านหิน เป็นต้น (CC SOLAR, 2565)

ภาพที่ 2.5

ส่วนประกอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์

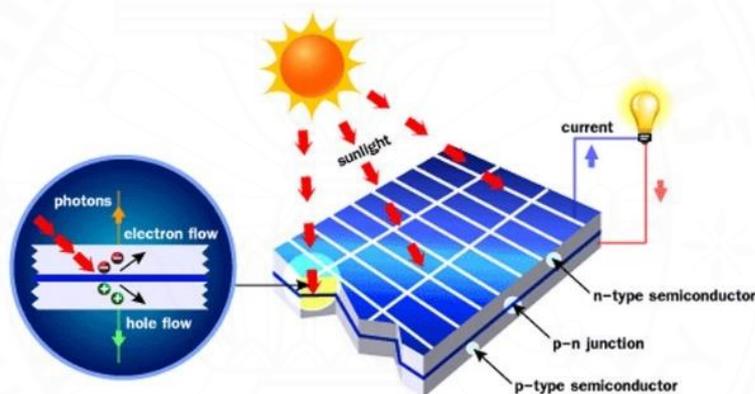


หมายเหตุ. ภาพแสดงส่วนประกอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์, จาก CC SOLAR, 2565 (<http://www.ccsolar-thai.com/ReadArticle.aspx?subheadid>)

N-Type คือแผ่นซิลิคอนที่ผ่านกระบวนการโด๊ป (Doping) ด้วยสารฟอสฟอรัส ทำให้มีคุณสมบัติสามารถส่งอิเล็กตรอนเมื่อได้รับแสง P-Type คือแผ่นซิลิคอนที่ผ่านกระบวนการโด๊ป (Doping) ด้วยสารโบรอน ทำให้โครงสร้างของอะตอมเกิดการสูญเสียอิเล็กตรอน (โฮล) เมื่อได้รับแสงจะมีคุณสมบัติเป็นตัวรับอิเล็กตรอน โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีหลักการทำงานเมื่อมีแสงตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์จะเกิดการถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนและโฮล ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนโดยอิเล็กตรอนจะเคลื่อนไปรวมตัวกันที่ Front Electrode และโฮลก็จะเคลื่อนไปรวมตัวกันที่ Back Electrode จากนั้นเมื่อมีการเชื่อมต่อระบบวงจรไฟฟ้าจาก Front Electrode และ Back Electrode จนครบวงจรจะเกิดเป็นกระแสไฟฟ้าขึ้นสามารถนำไปใช้งานได้ ดังภาพที่ 2.6

ภาพที่ 2.6

หลักการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์



หมายเหตุ. ภาพแสดงหลักการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์, จาก LinkedIn, 2566

(<https://www.linkedin.com/pulse/how-do-solar-panels-work-summercon-limited-l3ikf>)

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนที่พบใช้งานอยู่ทั่วไป 3 ชนิด ได้แก่ (NREL, 2024)

(1) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์ (Mono Crystalline Silicon) เป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตจากผลึกซิลิคอนเชิงเดี่ยว (Mono-Silicon) โดยมีลักษณะเซลล์เป็นสี่เหลี่ยมตัดมุมทั้งสี่มุมและมีสี่ขั้วในแต่ละเซลล์ ซึ่งทำมาจากซิลิคอนที่มีความบริสุทธิ์สูงผ่านการกวนให้ผลึกเกาะกันที่แกนกลางทำให้เกิดเป็นแท่งทรงกระบอก จากนั้นทำการตัดให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมและลบมุมทั้งสี่ด้านออกส่งผลให้ประสิทธิภาพที่ได้สูงสุด ปัจจุบันมีประสิทธิภาพแผงอยู่ที่ 22-27% มีลักษณะดังภาพที่ 2.7

ภาพที่ 2.7

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์ (Mono Crystalline Silicon)



หมายเหตุ. ภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์ (Mono Crystalline Silicon), จาก CC SOLAR, 2565 (<http://www.ccsolar-thai.com/ReadArticle.aspx?subheadid>)

(2) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโพลีคริสตัลไลน์ (Poly Crystalline Silicon) เป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตจากผลึกซิลิคอน โดยมีกระบวนการผลิตที่นำเอาซิลิคอนเหลวหล่อใส่โมลด์ที่เป็นสี่เหลี่ยมให้ได้แผ่นบาง จากนั้นนำมาตัดทำให้แต่ละเซลล์เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสโดยสี่ของเซลล์ที่ได้จะออกสีน้ำเงิน ปัจจุบันมีประสิทธิภาพแผงอยู่ที่ 18-22% ดังภาพที่ 2.8

ภาพที่ 2.8

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโพลีคริสตัลไลน์ (Poly Crystalline)



หมายเหตุ. ภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโพลีคริสตัลไลน์ (Poly Crystalline), จาก CC SOLAR, 2565 (<http://www.ccsolar-thai.com/ReadArticle.aspx?subheadid>)

(3) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัส (Amorphous) เป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตจาก สารที่แปลงพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้ามาฉาบเป็นชั้นบาง ๆ นำมาซ้อนเป็นกันชั้น ปัจจุบันมีประสิทธิภาพแผงอยู่ที่ 10-15% มีลักษณะดังภาพที่ 2.9

ภาพที่ 2.9

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัส (Amorphous)



หมายเหตุ. ภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัส (Amorphous), จาก CC SOLAR, 2565 (<http://www.ccsolar-thai.com/ReadArticle.aspx?subheadid>)

นอกจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว ปัจจุบันได้มีการพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดใสขึ้น โดยในขณะที่โลกกำลังเผชิญปัญหาสิ่งแวดล้อม ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีราคาที่ลดลงเรื่อย ๆ แต่ก็ได้รับความนิยมมากขึ้นเช่นกัน โดยข้อจำกัดหนึ่งของแผงเซลล์แสงอาทิตย์คือพื้นที่ติดตั้ง สำหรับบนอาคารมีข้อจำกัดเรื่องพื้นที่ติดตั้งทำให้ส่วนใหญ่สามารถติดตั้งได้เพียงบนหลังคาของอาคารเท่านั้น ซึ่งอาจไม่เพียงพอต่อการใช้งาน จนกระทั่งเมื่อปลายปี 2017 มหาวิทยาลัยรัฐมิชิแกน (MSU) นำโดยศาสตราจารย์ Richard -Lunt อาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์ เปิดเผยผลงานวิจัยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดใส (ภาพที่ 2.10) สามารถใช้แทนกระจกหน้าต่างอาคารได้โดยไม่มีผลต่อแสงที่ทะลุผ่านกระจก หลักการทำงานคือตัวเนื้อกระจกจะรับและหักเหแสงในคลื่นความถี่ที่มนุษย์ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า เช่น อินฟราเรด และ อัลตราไวโอเล็ต เข้าสู่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็กและบางที่ติดตั้งอยู่ที่ขอบกระจก ซึ่งทำหน้าที่ผลิตไฟฟ้าต่อไป โดยเซลล์แสงอาทิตย์แบบนี้เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่สามารถเปลี่ยนโฉมอุตสาหกรรมพลังงานและการใช้เซลล์แสงอาทิตย์ได้อย่างมากในอนาคตเมื่อเซลล์แสงอาทิตย์ไม่จำเป็นต้องอยู่แค่บนหลังคาอีกต่อไป แต่สามารถติดตั้งในแนวตั้งได้รอบผนังอาคารทำให้สามารถเพิ่มพื้นที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้มากกว่าเดิมอีกหลายเท่า เช่น อาคารที่สูงและไม่ได้ใช้งานพื้นที่ผนังด้านนอกอาคาร เป็นต้น

ภาพที่ 2.10

เซลล์แสงอาทิตย์แบบใส



หมายเหตุ. ภาพเซลล์แสงอาทิตย์แบบใส, จาก มูลนิธิแม่ฟ้าหลวง ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2562 (<https://home.maefahluang.org/17652676/solar-mirror.>)

ที่วิจัยได้ประมาณไว้ว่าเฉพาะในสหรัฐอเมริกา น่าจะมีผนังกระจกอาคารมากถึง 7,000 ล้านตารางเมตร ซึ่งถ้าสามารถติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบใสบนกระจกทั้งหมดจะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ถึง 40% ของความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดในสหรัฐอเมริกา และอนาคตอาจจะทำได้ถึง 100% ถ้าเทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าถูกพัฒนาให้ทันสมัยมากขึ้น อย่างไรก็ตามเซลล์แสงอาทิตย์แบบใสนี้ยังอยู่ในขั้นตอนวิจัยและพัฒนา ถึงแม้โครงการนี้ได้รับริเริ่มมาแล้วประมาณ 5 ปี โดยปัจจุบันประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์แบบใสอยู่ที่ 5% ในขณะที่เซลล์แสงอาทิตย์แบบทั่วไปซึ่งถูกวิจัยและพัฒนามากกว่า 50 ปีมีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าอยู่ที่ 15-18% ทางที่วิจัยตั้งใจจะพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์แบบใสให้มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับแบบทั่วไปมากขึ้นเรื่อย ๆ และสามารถประยุกต์ใช้ได้กับวัสดุอื่น ๆ นอกเหนือกระจกหน้าต่างอาคารด้วย (มูลนิธิแม่ฟ้าหลวง ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2562)

และยังมีในส่วนของเซลล์แสงอาทิตย์สองหน้า (Bifacial photovoltaic technology) โดยเซลล์แสงอาทิตย์สองหน้า คือ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งด้านหน้าและด้านหลัง (ภาพที่ 2.11) ที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้โดยมีประสิทธิภาพอยู่ที่ 22-23% และสามารถติดตั้งใช้งานได้คล้ายคลึงกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเดิมที่มีอยู่ในปัจจุบัน จากการคาดการณ์แนวโน้มด้านการตลาดในปี 2030 Bifacial photovoltaic technology ในตลาดโลกจะเพิ่มขึ้นถึง 70% (ภาพที่ 2.12) (Renogy marketing team, 2023)

ภาพที่ 2.11

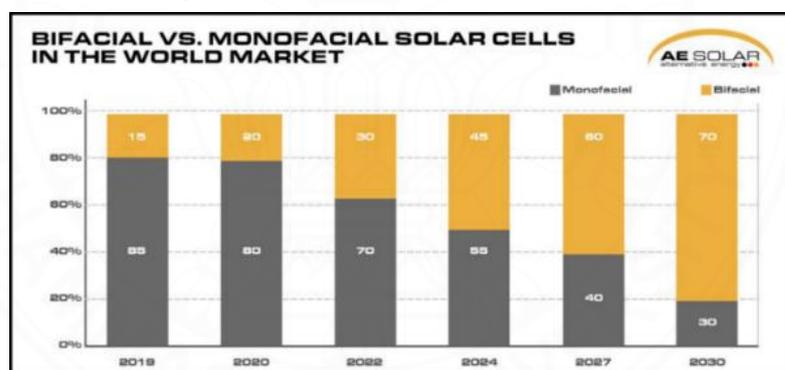
Bifacial photovoltaic technology



หมายเหตุ. ภาพ Bifacial photovoltaic technology, จาก Renogy marketing team, 2023
(<https://www.thesolarbiz.com/canadian-bihiku-415w-bifacial-solar-panel.html>)

ภาพที่ 2.12

พยากรณ์แนวโน้มการใช้งาน Bifacial Solar Panels



หมายเหตุ. พยากรณ์แนวโน้มการใช้งาน Bifacial Solar Panels, จาก Renogy marketing team, 2023 (<https://ae-solar.com/bifacial-solar-panels-what-are-they-and-how-do-they-work/>)

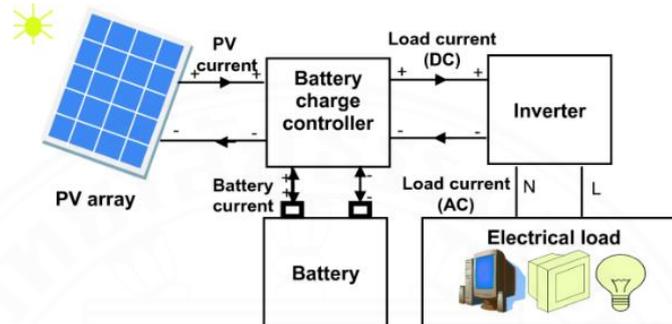
2.1.5 ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ มีอยู่ 3 แบบ ได้แก่ (กระทรวงพลังงาน, 2559) 1) ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Stand-alone system) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ได้รับการออกแบบสำหรับใช้งานในพื้นที่ชนบทที่ไม่มีระบบสายส่งไฟฟ้า โดยทั่วไประบบนี้จะมีอุปกรณ์ที่สำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ แบตเตอรี่

และอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ เป็นต้น ซึ่งมีรายละเอียดดังภาพที่ 2.13

ภาพที่ 2.13

ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Stand-alone system)



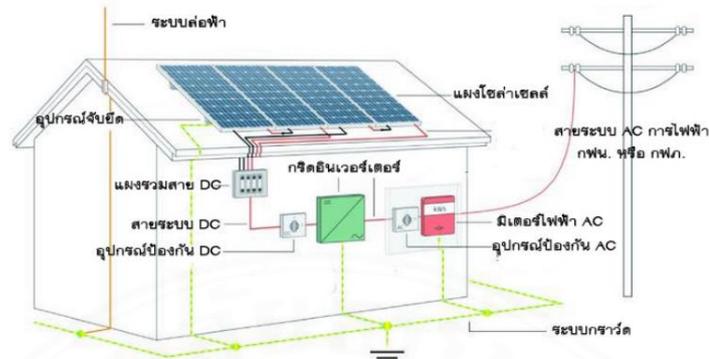
หมายเหตุ. ภาพแสดงระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Stand-alone system), จาก T.

Touahri, 2018 (https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-04789-4_25)

2) ระบบเซลล์แสงอาทิตย์เชื่อมต่อบริเวณสายส่งไฟฟ้าของการไฟฟ้า (Grid Connected) หรือระบบออนกริด (On Grid) (ภาพที่ 2.14) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ได้ไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ออกมาและแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ผ่าน Grid Tie Inverter ที่เชื่อมต่อเข้ากับระบบสายส่งของการไฟฟ้า ในกรณีที่ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้ามากกว่าความต้องการใช้งานสามารถจำหน่ายพลังงานไฟฟ้าส่วนเกินที่ไม่ได้ใช้ให้กับการไฟฟ้าผ่านระบบสายส่งที่เชื่อมต่ออยู่แล้วกับระบบออนกริด สำหรับผู้ใช้ที่ได้รับใบอนุญาตจากหน่วยงานราชการ นอกจากนี้หากระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้งานระบบสายส่งของการไฟฟ้าจะจ่ายพลังงานไฟฟ้าส่วนที่ขาดเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการใช้งาน (Super user, 2558)

ภาพที่ 2.14

ระบบเซลล์แสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบสายส่งไฟฟ้าการไฟฟ้า (Grid Connected)

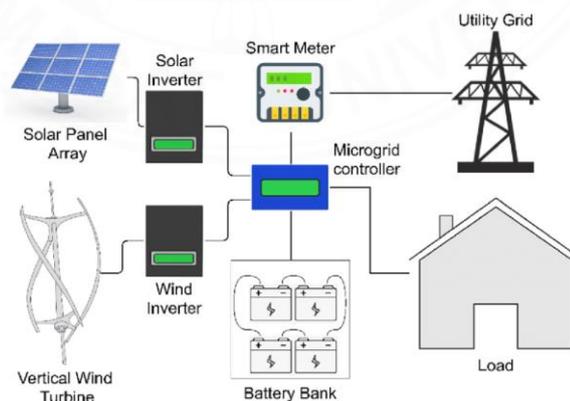


หมายเหตุ. ภาพแสดงระบบเซลล์แสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบสายส่งไฟฟ้าการไฟฟ้า (Grid Connected), จาก Super user, 2558 (<https://www.solarhub.co.th/index>)

3) เซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (PV hybrid system) (ภาพที่ 2.15) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ถูกออกแบบสำหรับทำงานร่วมกับอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าอื่น ๆ เช่น ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับกังหันลมผลิตไฟฟ้า ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้าจากชีวมวล หรือระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับกังหันพลังน้ำ เป็นต้น โดยรูปแบบระบบจะขึ้นอยู่กับการออกแบบตามวัตถุประสงค์โครงการเป็นกรณีเฉพาะ

ภาพที่ 2.15

เซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (PV hybrid system)



หมายเหตุ. ภาพแสดงเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (PV hybrid system), จาก Dhaker Abbas, 2013 (https://www.researchgate.net/figure/Schematic-diagram-of-wind-PV-hybrid-system-with-battery-storage_fig2_259463149)

2.1.6 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter)

เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current; DC) ไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current; AC) จากแหล่งจ่าย เช่น เซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เป็นต้น ซึ่งที่พบอยู่ใช้งานทั่วไปมีอยู่ 3 ประเภทหลัก ๆ ได้แก่ อินเวอร์เตอร์แบบ Pure Sine Wave อินเวอร์เตอร์แบบ Modify Sine Wave และอินเวอร์เตอร์แบบ Square wave inverter โดยในส่วนของอินเวอร์เตอร์แบบ Micro Grid Inverter เป็นอินเวอร์เตอร์แบบ Pure Sine Wave (ภาพที่ 2.16) ที่สามารถเชื่อมต่อกับสายส่งจากการไฟฟ้าได้ ซึ่ง 1 เครื่อง หากต่อใช้งานร่วมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง จะสามารถดึงกำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ออกมาได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำงานอย่างอิสระจึงสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้อย่างเต็มที่ และมีฟังก์ชัน Anti-Islanding ในตัว (ระบบความปลอดภัยที่ตัดการทำงานเมื่อไม่มีไฟฟ้าในระบบโครงข่าย) ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดของการไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ทำให้หมดปัญหาเรื่องไฟไหลย้อนเข้าสู่ระบบสายส่งของการไฟฟ้าที่ก่อให้เกิดปัญหาหมอกควันหมอกควัน และยังมีสวิตช์ตัดการทำงาน (Mechanical Disconnection Switch) ในตัว ซึ่งเป็นการเพิ่มความปลอดภัยให้กับระบบเมื่อระบบผลิตไฟฟ้ามีปัญหา (WENNEXT, 2563)

ภาพที่ 2.16

ไมโครอินเวอร์เตอร์ (Micro-inverter)



หมายเหตุ. ภาพไมโครอินเวอร์เตอร์ (Micro-inverter), จาก TF ENERGY, 2021

(<https://www.tfsolarcell.com/th/articles/215135-ไมโครอินเวอร์เตอร์-%28micro-inverter%29>)

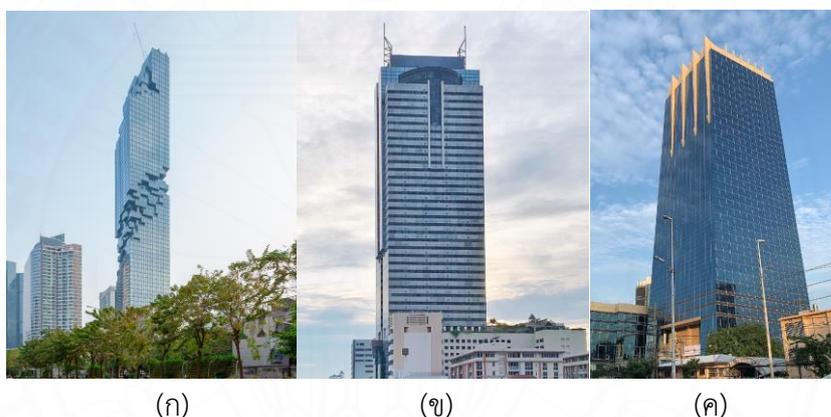
2.1.7 อาคารสูงในประเทศไทย

อาคารสูง หมายถึง อาคารที่บุคคลอาจเข้าอยู่หรือเข้าใช้สอยได้โดยมีความสูงตั้งแต่ 23 เมตรขึ้นไป การวัดความสูงของอาคารให้วัดจากระดับพื้นดินที่ก่อสร้างถึงพื้นดาดฟ้า สำหรับ

อาคารทรงจั่วหรือปั้นหยาให้วัดจากระดับพื้นดินที่ก่อสร้างถึงยอดผนังของชั้นสูงสุด โดยปัจจุบันพบว่าประเทศไทยมีอาคารที่มีความสูงเกิน 150 เมตร วัดจากระดับพื้นดินมากกว่า 80 อาคาร และมีหลากหลายรูปทรง โดยส่วนใหญ่อาคารเหล่านี้ตั้งอยู่ในพื้นที่กรุงเทพมหานครฯ เช่น ตึกคิงเพาเวอร์มหานคร (ภาพที่ 2.17-ก), อาคารสินสาธร (ภาพที่ 2.17-ข) และพื้นที่ต่างจังหวัดบางส่วน เช่น ตึกรีเพล็กซ์ชั้น โอเชียนวิว ทาวเวอร์ บี (ภาพที่ 2.17-ค) เป็นต้น ซึ่งมีอาคารสูงหลายอาคารที่ตั้งอยู่ห่างจากอาคารอื่นที่มีความสูงระดับเดียวกันหรือใกล้เคียงกัน นั่นหมายถึงอาคารเหล่านี้จะได้รับแสงแดดตลอดทั้งวันโดยที่ไม่มีเงาบังจากสิ่งปลูกสร้างใด ๆ ที่อยู่ใกล้เคียง (Wikiwand, 2557)

ภาพที่ 2.17

อาคารสูงในประเทศไทย



หมายเหตุ. ภาพอาคารสูงในประเทศไทย, จาก Wikiwand, 2557

(<https://www.wikiwand.com/th>)

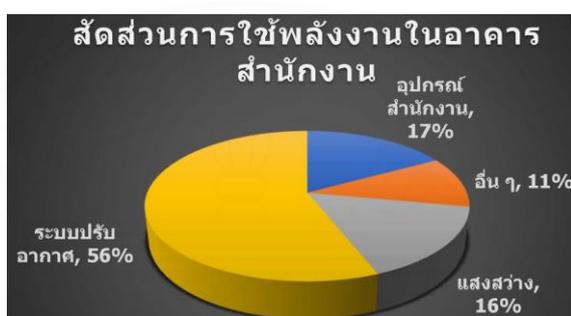
2.1.8 สัดส่วนการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานในประเทศไทย

จากข้อมูลการสำรวจพบว่าปัจจุบันประเทศไทยมีอาคารสำนักงานและอาคารขนาดใหญ่ทั่วประเทศรวมประมาณ 1,700 แห่ง ซึ่งมีมูลค่าการใช้พลังงานโดยเฉพาะไฟฟ้าสูงถึงปีละ 53,800 ล้านบาท คิดเป็นสัดส่วนประมาณ 8% ของการใช้พลังงานทั้งหมด โดยแบ่งเป็นอาคารสำนักงานขนาดใหญ่ 600 แห่ง ใช้พลังงานปีละ 21,300 ล้านบาท และอาคารสำนักงานเฉพาะที่อยู่ในกรุงเทพฯ 350 แห่ง ใช้พลังงานมากถึงปีละ 9,500 ล้านบาท ทั้งนี้ในปัจจุบันพบว่า การใช้พลังงานในกลุ่มอาคารสำนักงานถือว่าค่อนข้างมีอัตราการการใช้พลังงานที่สูงกว่าค่ามาตรฐาน คือเฉลี่ยประมาณ 225 กิโลวัตต์ชั่วโมง/ตารางเมตร/ปี ในขณะที่ค่ามาตรฐานอยู่ที่ประมาณ 170 กิโลวัตต์ชั่วโมง/ตารางเมตร/ปี โดยข้อมูลสัดส่วนการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน พบว่าการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศนั้นมีสัดส่วนสูงสุด คือประมาณ 56% รองลงมาคืออุปกรณ์สำนักงาน 17% แสงสว่าง 16%

และอื่น ๆ 11% จากข้อมูลเบื้องต้นพบว่าการใช้พลังงานของอาคารส่วนใหญ่คือเครื่องปรับอากาศ รองลงมาคืออุปกรณ์สำนักงาน และแสงสว่าง ซึ่งเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้ในช่วงเวลาทำงานเพื่ออำนวยความสะดวกในการทำงาน ซึ่งเวลาทำงานส่วนใหญ่คือช่วงกลางวัน แสดงดังภาพที่ 2.18 (Green Style, 2021)

ภาพที่ 2.18

สัดส่วนการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน



หมายเหตุ. ภาพแสดงสัดส่วนการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน, จาก Green Style, 2021

(<https://www.facebook.com/GreenstyleSE>)

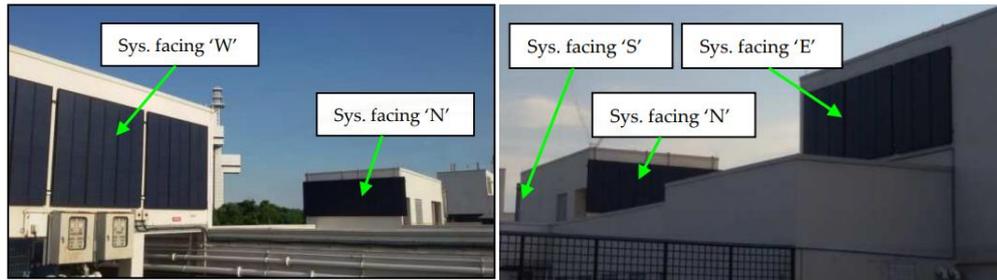
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Shen et al. (2015) ศึกษาประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งในพื้นที่เขตร้อน ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบบอเมอร์ฟัสขนาด 1.116 กิโลวัตต์ 5 ชุด และใช้กริดไทน์อินเวอร์เตอร์บันทึกค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ตลอดการทดลอง โดยทำการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับผนังด้านนอกตึก 4 ทิศ ทิศละ 1 ชุด ได้แก่ ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ และทิศตะวันตก (ภาพที่ 2.19) เปรียบเทียบกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งทำมุม 12 องศา กับแนวระนาบบนชั้นดาดฟ้าหันไปทางทิศใต้ 1 ชุด (ภาพที่ 2.20) ในประเทศสิงคโปร์ระยะเวลา 1 ปี พบว่าประสิทธิภาพของการผลิตพลังงานไฟฟ้าของชุดติดตั้งทำมุม 12 องศา กับแนวระนาบบนชั้นดาดฟ้ามีค่าสูงสุดที่ 1,090 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี รองลงมาคือชุดที่ติดตั้งแบบตั้งฉาก 90 องศา กับแนวระนาบหันไปทางทิศตะวันตก 560 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี ทิศใต้ 458 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี ทิศตะวันออก 451 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี และทิศเหนือ 406 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปีตามลำดับ (ภาพที่ 2.21) จากผลที่ได้จากการทดลองการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ติดตั้งทำมุม 12 องศา กับแนวระนาบสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เกือบ 2 เท่าของการติดตั้งแบบแนวตั้งที่ได้กำลังสูงสุด แต่อย่างไรก็ตามการติดตั้งแบบแนวตั้ง

ยังสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ตั้งแต่ 37% ถึง 51% เมื่อเทียบกับการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ติดตั้งทำมุม 12 องศากับแนวระนาบ

ภาพที่ 2.19

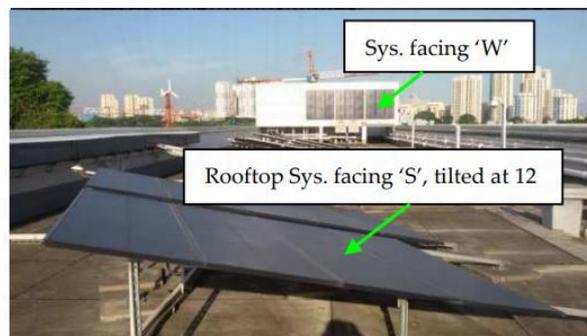
การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแนวตั้ง ทิศตะวันตก ทิศเหนือ ทิศใต้ และทิศตะวันออก



หมายเหตุ. ภาพการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแนวตั้ง ทิศตะวันตก ทิศเหนือ ทิศใต้ และทิศตะวันออก, จาก *Shen et al., 2015*.

ภาพที่ 2.20

การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำมุม 12 องศากับแนวระนาบ



หมายเหตุ. ภาพการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำมุม 12 องศากับแนวระนาบ, จาก *Shen et al., 2015*

ภาพที่ 2.21

ความแตกต่างของการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งกับผนังอาคาร

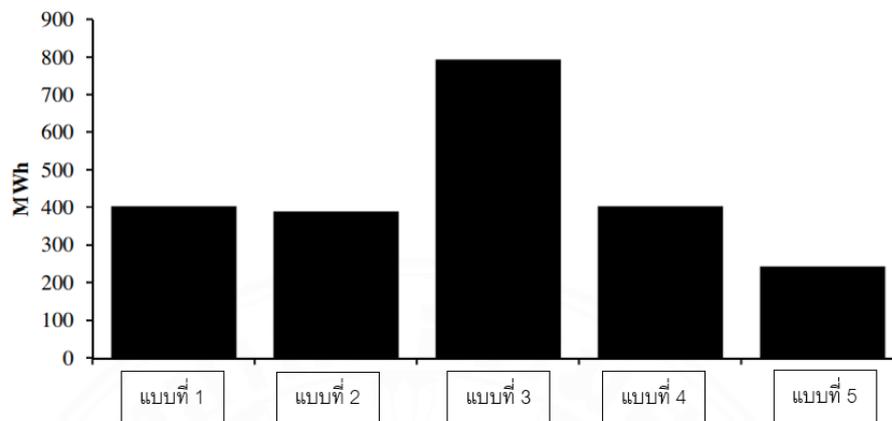


หมายเหตุ. ภาพแสดงความแตกต่างของการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งกับผนังอาคาร, จาก Shen et al., 2015

Ghazali et al. (2017) ศึกษาประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งกับผนังด้านนอกบนอาคารสูงในประเทศมาเลเซีย ใช้โปรแกรม System Advisor Model (SAM) จำลองระบบเซลล์แสงอาทิตย์และอาคารสูง 5 แบบ ในการทดลอง โดยทำการจำลองระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบางประสิทธิภาพ 15.6% ติดกับผนังด้านนอกอาคารสูงขนาดพื้นที่ 1 ด้าน 4,320 ตารางเมตร 2 ทิศ ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก แบ่งเป็น 4 แบบ ได้แก่ แบบที่ 1 จำลองติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์กับผนังด้านนอกทิศตะวันออกทั้งหมด แบบที่ 2 ผนังด้านนอกทิศตะวันตกทั้งหมด แบบที่ 3 ผนังด้านนอกทิศตะวันตกและทิศตะวันตกทั้งหมด แบบที่ 4 ผนังด้านนอกส่วนบนทิศตะวันตกและทิศตะวันตก เปรียบเทียบกับแบบที่ 5 จำลองติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในแนวราบบนชั้นดาดฟ้าอาคารขนาดพื้นที่ 1,296 ตารางเมตร พบว่าแบบจำลองที่ผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงสุดคือแบบที่ 3 แบบที่ 4 แบบที่ 1 แบบที่ 2 มีค่าใกล้เคียงกัน และแบบที่ 5 ตามลำดับ พลังงานไฟฟ้าแบบจำลองที่ 1-4 ผลิตได้อยู่ระหว่าง 400-700 กิโลวัตต์ชั่วโมง และแบบจำลองที่ 5 ผลิตได้อยู่ที่ 240 กิโลวัตต์ชั่วโมง ต่อปี (ภาพที่ 2.22) ส่วนของประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ต่อพื้นที่ติดตั้งแบบที่ 5 มีค่าสูงกว่าแบบที่ 1-4 ที่มีค่าใกล้เคียงกัน

ภาพที่ 2.2

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปีจากแบบจำลองที่ 1-5

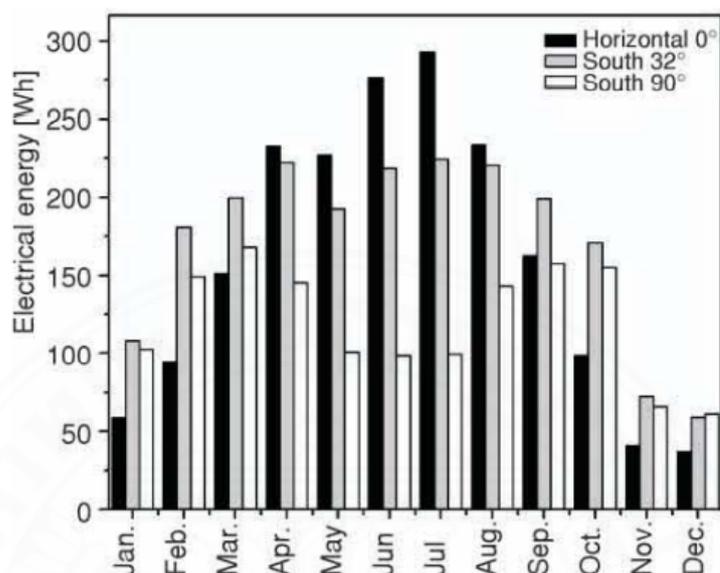


หมายเหตุ. ภาพพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปีจากแบบจำลองที่ 1-5, จาก Ghazali et al., 2017

Pantić et al. (2015) ศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีลักษณะการติดตั้งที่แตกต่างกันในประเทศเซอร์เบีย ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์ขนาด 60 วัตต์ 3 ชุดและใช้ Mini-KLA บันทึกค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้ตลอดการทดลอง โดยทำการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็น 3 แบบ แบบละ 1 ชุด ได้แก่ ติดตั้งแบบแนวราบ ติดตั้งทำมุม 32 องศา กับแนวราบหันไปทางทิศใต้ และติดตั้งแบบแนวตั้งหันไปทางทิศใต้ ในห้องปฏิบัติการด้านพลังงานแสงอาทิตย์ มหาวิทยาลัยนิช ประเทศเซอร์เบีย ระยะเวลา 1 ปี พบว่าประสิทธิภาพของการผลิตพลังงานไฟฟ้าแบบติดตั้งทำมุม 32 องศา กับแนวราบหันไปทางทิศใต้ มีค่าสูงสุดที่ 68.2 กิโลวัตต์ ชั่วโมง รองลงมาคือติดตั้งแบบแนวราบ 58.1 กิโลวัตต์ ชั่วโมง และติดตั้งแบบแนวตั้งหันไปทางทิศใต้ 43.9 กิโลวัตต์ ชั่วโมง (ภาพที่ 2.23)

ภาพที่ 2.23

พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือนที่ผลิตได้จากการติดตั้งทั้ง 3 แบบ

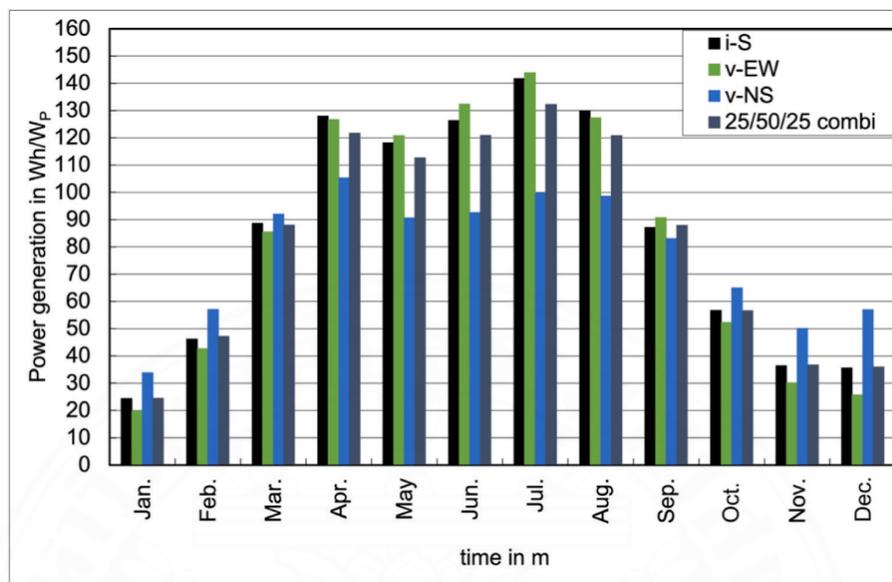


หมายเหตุ. ภาพพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือนที่ผลิตได้จากการติดตั้งทั้ง 3 แบบ, จาก Pantić et al., 2015

Reker et al. (2022) อนาคตกับการประยุกต์ใช้ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าระดับอุตสาหกรรมด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งสำหรับประเทศเยอรมนี ใช้โปรแกรม Energy PLAN ในปี 2030 ที่ลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลง 80% ที่เชื่อมโยงกับปี 1990 เพื่อศึกษาผลการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งจากการวางตัวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทิศต่าง ๆ โดยมีการจำลองติดตั้ง 4 แบบ แบบที่ 1 เอียงหันไปทางทิศใต้ แบบที่ 2 แนวตั้งด้านทิศตะวันออก-ตะวันตก แบบที่ 3 แนวตั้งด้านทิศเหนือ-ทิศใต้ แบบที่ 4 เป็นแบบผสมที่มีแบบที่ 1 25% แบบที่ 2 50% และแบบที่ 3 25% พบว่าในช่วงฤดูร้อนระบบที่ติดตั้งแบบที่ 1 และ แบบที่ 2 ให้ผลตอบแทนสูงสุดในช่วงเดือนกรกฎาคม รองลงมาคือระบบที่ติดตั้งแบบที่ 4 และแบบที่ 3 ตามลำดับ ส่วนในช่วงฤดูหนาวระบบที่ติดตั้งแบบที่ 3 ให้ผลตอบแทนสูงกว่าระบบที่ติดตั้งแบบที่ 1 2 และ 4 ซึ่งให้ผลตอบแทนที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากฤดูหนาวมักจะมีวันที่มีแสงแดดส่องถึงน้อยลงและระยะเวลาการผลิตไฟฟ้าโดยรวมสั้น ระบบผลิตไฟฟ้าทุกแห่งจึงผลิตไฟฟ้าได้น้อยลงในฤดูหนาวเมื่อเทียบกับฤดูร้อน ดังภาพที่ 2.24

ภาพที่ 2.24

การผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์รายเดือนที่มีการวางตัวในทิศทางต่าง ๆ

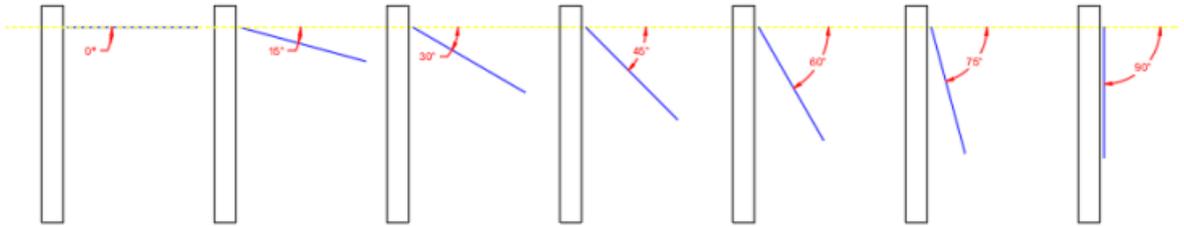


หมายเหตุ. ภาพการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์รายเดือนที่มีการวางตัวในทิศทางต่าง ๆ, จาก Reker et al., 2022

ศศิเทพ ศรีไชยกิจ. (2557) ศึกษาการเพิ่มสมรรถนะของกรอบอาคารด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ของอาคารสำนักงานโดยใช้เทคนิคทางด้าน Building Energy Simulation จำลองการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดที่ทำจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 12.54 กิโลวัตต์ ที่อาคารหันหน้าไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ เป็นระยะเวลา 1 ปี โดยกำหนดมุมการติดตั้งตั้งแต่ 0–90 องศา (ภาพที่ 2.25) โดยระยะอุปกรณ์บังแดดติดตั้งห่างกันทำมุมทุก 15 องศา เพื่อทราบถึงค่าการลดการใช้พลังงานของอาคารที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้านข้างของกรอบอาคารด้วยโปรแกรม Energy Plus และใช้เทคนิคทางด้าน Energy Simulation ในการจำลองการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยโปรแกรม PVSyst ผลการศึกษาพบว่ามุมการติดตั้งที่ 90 องศา สามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศภายในอาคารได้อยู่ที่ 7,186 kWh ต่อปี หรือประมาณ 15.65% ของการใช้พลังงานระบบปรับอากาศเดิม

ภาพที่ 2.25

มุมการติดตั้งแผงวัสดุบังเงา 0 - 90 องศา



หมายเหตุ. ภาพแสดงมุมการติดตั้งแผงวัสดุบังเงา 0 - 90 องศา, จาก ศศิเทพ ศรีไชยกิจ, 2557



บทที่ 3

วิธีการศึกษา

การดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็น 4 ช่วง ได้แก่ 1) การเก็บรวบรวมและศึกษาข้อมูลเบื้องต้น 2) ออกแบบระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง และ 3) ทดสอบประสิทธิภาพระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง และ 4) การวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยมีรายละเอียดการวิจัยดังนี้

3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลและศึกษาข้อมูลเบื้องต้น

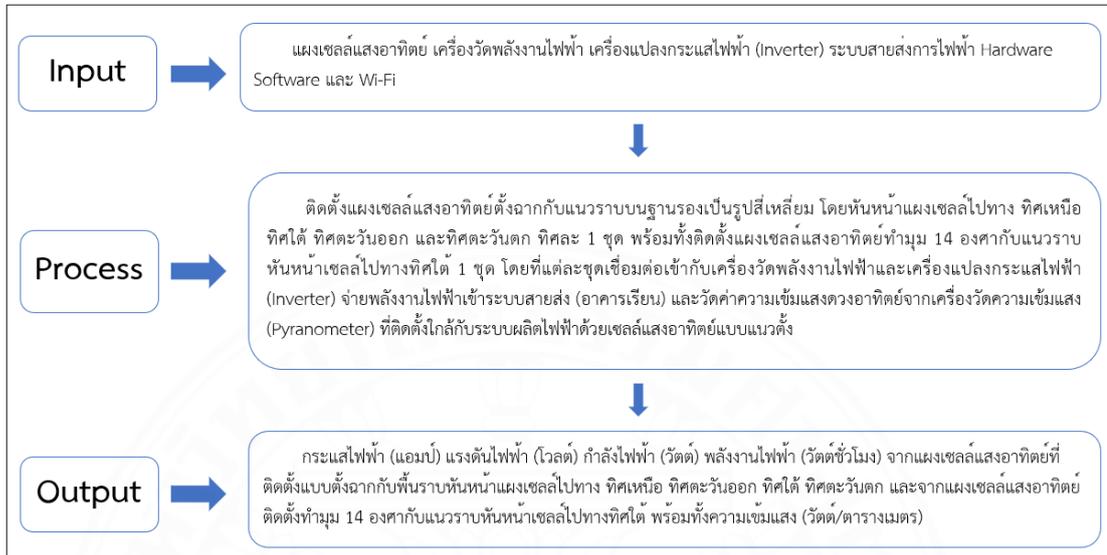
การเก็บรวบรวมข้อมูลและศึกษาข้อมูลเบื้องต้นทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากเอกสารงานวิจัย บทความวิชาการ ข้อมูลออนไลน์ และแหล่งอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ การเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์กับระบบสายส่งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง รวมถึงข้อมูลอื่น ๆ ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการวิจัยนี้ได้

3.2 การออกแบบระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง

การออกแบบระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง มีแนวทางโดยนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาติดตั้งแบบตั้งฉากกับแนวราบ 4 ทิศ ทิศละ 1 ชุด ได้แก่ ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ และทิศตะวันตก พร้อมทั้งติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำมุม 14 องศา กับแนวราบหันหน้าแผงเซลล์ไปทางทิศใต้ 1 ชุด โดยที่แต่ละชุดเชื่อมต่อเข้ากับระบบสายส่ง ผ่านเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter) และเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า เพื่อบันทึกค่าแบบ real-time โดยใช้ Internet of Thing (IoT) และวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์ด้วยเครื่องวัดค่าความเข้มแสง (Pyranometer) มีรายละเอียดดังภาพที่ 3.1-3.2

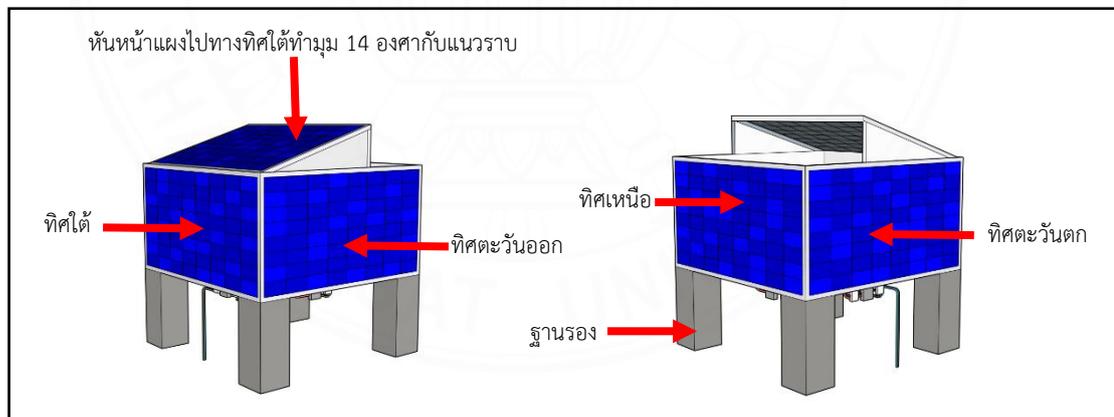
ภาพที่ 3.1

ภาพรวมระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง



ภาพที่ 3.2

การออกแบบระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง



หลังจากการออกแบบระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งเรียบร้อยแล้ว ทำการติดตั้งระบบโดยมีรายละเอียดอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

1. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ใช้สำหรับเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อทดสอบประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าของระบบ โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโพลีคริสตัลไลน์ขนาด 100 วัตต์ แรงดันไฟฟ้า 17.5 โวลต์ และกระแสไฟฟ้า 5.72 แอมป์ ดังภาพที่ 3.3

ภาพที่ 3.3

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโพลีคริสตัลไลน์



2. เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อกับระบบสายส่ง (Grid Tie Micro Inverter) ใช้สำหรับแปลงไฟฟ้ากระแสตรงที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (ภาพที่ 3.4) โดยใช้เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าตรงขนาด 120 วัตต์ รับกระแสไฟฟ้าได้สูงสุด 7.5 แอมป์ รับแรงดันไฟฟ้าได้สูงสุด 30 โวลต์ แปลงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับตั้งแต่ 220-230 โวลต์ กำลังไฟฟ้าสูงสุด 110 วัตต์ และกระแสไฟฟ้าสูงสุด 0.43 แอมป์

ภาพที่ 3.4

เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเชื่อมต่อบรรณจําหน่วย (Grid Tie Micro Inverter)



3. เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง (PZEM-017) และ Shunt (ภาพที่ 3.5) ใช้สำหรับวัดกำลังไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้ากระแสตรง ที่จ่ายออกมาจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยสามารถวัดกระแสไฟฟ้าได้ตั้งแต่ 0-50 แอมป์ แรงดันไฟฟ้า 0-300 โวลต์

ภาพที่ 3.5

เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง และ Shunt



4. เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ (PZEM-004T) (ภาพที่ 3.6) ใช้สำหรับวัดกำลังไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ ที่จ่ายออกมาจากเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า โดยสามารถวัดกระแสไฟฟ้าได้ตั้งแต่ 0-100 แอมป์

ภาพที่ 3.6

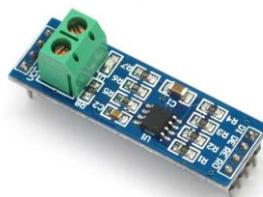
เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ



5. โมดูล RS485 ใช้สำหรับรับค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อแปลงเป็นสัญญาณ RS485 ส่งค่าไปยัง Node MCU ESP8266 มีลักษณะดังภาพที่ 3.7

ภาพที่ 3.7

โมดูล RS485



6. Node MCU ESP8266 ใช้สำหรับรับค่าที่ส่งมาจาก RS485 และเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ เพื่อส่งค่าที่ได้ไปแสดงผลใน Google Sheet ผ่านสัญญาณ Wi-Fi มีลักษณะดังภาพที่ 3.8

ภาพที่ 3.8

ESP8266



7. Wi-Fi router ใช้เป็นตัวรับ-ส่งสัญญาณ Wi-Fi ค่าที่ได้จาก ESP8266 มีลักษณะดัง

ภาพที่ 3.9

ภาพที่ 3.9

Wi-Fi router



8. Arduino IDE (ภาพที่ 3.10) ใช้รวบรวมคำสั่งการตรวจวัดของ PZEM-004T และ PZEM-017 รวมถึงคำสั่งการส่งข้อมูลไปแสดงผลใน Google Sheets

ภาพที่ 3.10

Arduino IDE



9. Google Sheets (ภาพที่ 3.11) ใช้สำหรับแสดงผลและบันทึกค่าพลังงานไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า

ภาพที่ 3.11

Google Sheets



10. เครื่องวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (Pyranometer) (ภาพที่ 3.12) ใช้สำหรับค่าความเข้มแสงดวงอาทิตย์ในหน่วยวัตต์ต่อตารางเมตร

ภาพที่ 3.12

เครื่องวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (Pyranometer)



3.3 การทดสอบประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง

หลังจากออกแบบระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งเรียบร้อยแล้ว ทำการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อทดสอบประเมินประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง (ภาพที่ 3.13-3.14) โดยทำการบันทึกค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ของระบบในแต่ละทิศ ได้แก่ ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก ทิศตะวันตก รวมถึงระบบติดตั้งทำมุม

14 องศา กับแนวราบหันไปทางทิศใต้ และค่าความเข้มแสงอาทิตย์ ตั้งแต่ 22 มีนาคม 2567 – 28 พฤษภาคม 2567

ภาพที่ 3.13

การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศใต้ ทิศตะวันออก และหันใต้ 14 องศา



ภาพที่ 3.14

การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศเหนือและทิศตะวันตก



3.4 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

เมื่อทำการทดสอบและเก็บรวบรวมข้อมูลครบแล้ว นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์เพื่อประเมินประสิทธิภาพระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง เปรียบเทียบกับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งทำมุม 14 องศา กับแนวราบหันไปทางทิศใต้

การประเมินประสิทธิภาพระบบผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์อ้างอิงตามมาตรฐาน International Electrotechnical Commission หรือ IEC 61724 (เอกพันธ์ ผัดศรี และคณะ 2561) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ คือ อัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้ากระแสตรงที่ผลิตได้จากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่อกำลังแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.1

$$\eta_{PV}(\%) = \frac{P_{DC}}{G A} \times 100 \quad (3.1)$$

โดยที่ η_{PV} คือ ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (%)

P_{DC} คือ กำลังไฟฟ้ากระแสตรงจากระบบ (W)

G คือ ความเข้มแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบ (W/m^2)

A คือ พื้นที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์รวม (m^2)

2. ประสิทธิภาพของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter) คือ อัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้จากเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ต่อกำลังไฟฟ้ากระแสตรงจากระบบ PV สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.2

$$\eta_{inv}(\%) = \frac{P_{AC}}{P_{DC}} \times 100 \quad (3.2)$$

โดยที่ η_{inv} คือ ประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (%)

P_{AC} คือ กำลังไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้จากเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter) (W)

3. ประสิทธิภาพรวมของระบบ คือ อัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้จากเครื่องแปลง กระแสไฟฟ้า (Invertor) ต่อกำลังแสงอาทิตย์ตกกระทบสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.3

$$\eta_{sys}(\%) = \frac{P_{AC}}{G A} \times 100 \quad (3.3)$$

โดยที่ η_{sys} คือ ประสิทธิภาพรวมของระบบ (%)

4. พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากระบบต่อขนาดของระบบที่ติดตั้ง (Y_f) หรือผลผลิตสุดท้าย เป็นค่าที่บ่งบอกปริมาณการผลิตไฟฟ้ากระแสสลับต่อการติดตั้งระบบ 1 kW_p ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.4

$$Y_f = \frac{EPV(AC)}{P_o} \quad (3.4)$$

โดยที่ Y_f คือ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบต่อกำลังการติดตั้งสูงสุด (kWh/kW_p)
 $EPV(AC)$ คือ ผลรวมพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับที่ผลิตจากระบบผลิตไฟฟ้า (kWh)
 P_o คือ ขนาดของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้ง (kW_p)

5. อัตราส่วนระหว่างค่าพลังงานแสงอาทิตย์รวมบนระนาบแผงเซลล์ (H_i) ต่อความเข้มรังสีแสงอาทิตย์มาตรฐาน (G_{STC}) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.5

$$Y_r = \frac{H_i}{G_{STC}} \quad (3.5)$$

โดยที่ Y_r คือ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่อกำลังการติดตั้งสูงสุดตามทฤษฎี (kWh/kW_p)

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

H_i คือ ค่าพลังงานแสงอาทิตย์รวมบนระนาบแผงเซลล์ (kWh/m²-day)

6. สมรรถนะระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Performance Ratio หรือ PR) เป็นค่าที่บ่งถึงคุณลักษณะการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ และแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.6

$$PR = \frac{Y_f}{Y_r} \quad (3.6)$$

โดยที่ PR คือ สมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์

บทที่ 4

ผลการศึกษา

หลังจากรวบรวมผลที่ได้จากการทดสอบระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งครบแล้ว ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาวิเคราะห์ประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง แบ่งออกเป็น 4 ส่วนหลัก คือ 1) การผลิตกำลังไฟฟ้า โดยนำค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบไปสร้างกราฟ เพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างและลักษณะการผลิตกำลังไฟฟ้าของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งแต่ละชุด 2) ประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยนำค่ากำลังไฟฟ้ากระแสตรงที่ผลิตได้จากระบบมาวิเคราะห์ร่วมกับค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากเครื่องวัดค่าความเข้มแสง (Pyranometer) ด้วยสมการที่ 3.1 เพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งในแต่ละทิศ 3) ประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า โดยนำค่ากำลังไฟฟ้ากระแสสลับและกระแสตรงมาวิเคราะห์ด้วยสมการที่ 3.2 เพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแต่ละชุด และประสิทธิภาพรวมระบบ โดยนำค่ากำลังไฟฟ้ากระแสสลับที่ผลิตได้จากระบบมาวิเคราะห์ร่วมกับค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากเครื่องวัดค่าความเข้มแสง (Pyranometer) ด้วยสมการที่ 3.3 เพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของประสิทธิภาพระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าในแต่ละทิศ 4) การผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยนำค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบไปสร้างกราฟ เพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างการผลิตพลังงานไฟฟ้าของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งแต่ละชุด และสมรรถนะของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง โดยนำค่าพลังงานไฟฟ้าและค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากการทดสอบไปวิเคราะห์ด้วยสมการที่ 3.4-3.6 และนำผลที่ได้ไปสร้างกราฟ เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งแต่ละชุด โดยมีผลการทดสอบดังต่อไปนี้

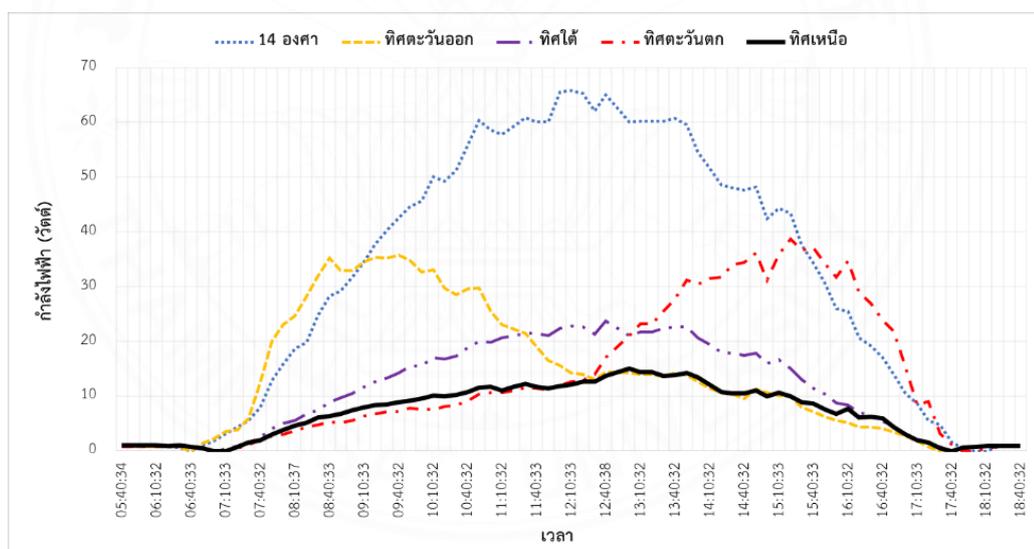
4.1 การผลิตกำลังไฟฟ้า

การวิเคราะห์การผลิตกำลังไฟฟ้าที่ทำการทดสอบและเก็บข้อมูลการผลิตกำลังไฟฟ้าตลอดทั้งวัน ในช่วงวันที่ 22 มีนาคม 2567 ซึ่งเป็นช่วงที่ดวงอาทิตย์โคจรอ้อมใต้เล็กน้อย มีผลแสดงดังภาพที่ 4.1 จากการวิเคราะห์โดยสร้างเป็นกราฟพบว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศ

ตะวันออกผลิตกำลังไฟฟ้าได้มากกว่าชุดอื่น ๆ ตั้งแต่เช้าตรู่จนถึง 09:10 น. ขณะเดียวกันตั้งแต่เวลา 15:40 น. เป็นต้นไป แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศตะวันตกผลิตกำลังไฟฟ้าได้มากกว่าชุดอื่น ๆ เนื่องจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศตะวันออกได้รับแสงอาทิตย์เต็มที่ในช่วงเช้า และแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศตะวันตกได้รับแสงอาทิตย์เต็มที่ในช่วงบ่าย ส่วนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศใต้ผลิตกำลังไฟฟ้าได้ไม่สูงมาก เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวดวงอาทิตย์โคจรอ้อมใต้อยู่เพียงเล็กน้อยส่งผลให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับแสงอาทิตย์ไม่เต็มที่ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จึงไม่มาก ขณะเดียวกันในส่วนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศเหนือผลิตกำลังไฟฟ้าได้น้อยกว่าชุดอื่น ๆ ตลอดทั้งวัน เนื่องจากแสงที่ได้รับเป็นเพียงแสงกระเจิงและแสงสะท้อนจากที่อื่นเท่านั้น

ภาพที่ 4.1

กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ช่วงดวงอาทิตย์อ้อมใต้อยู่เล็กน้อย (วันที่ 22 มีนาคม 2567)

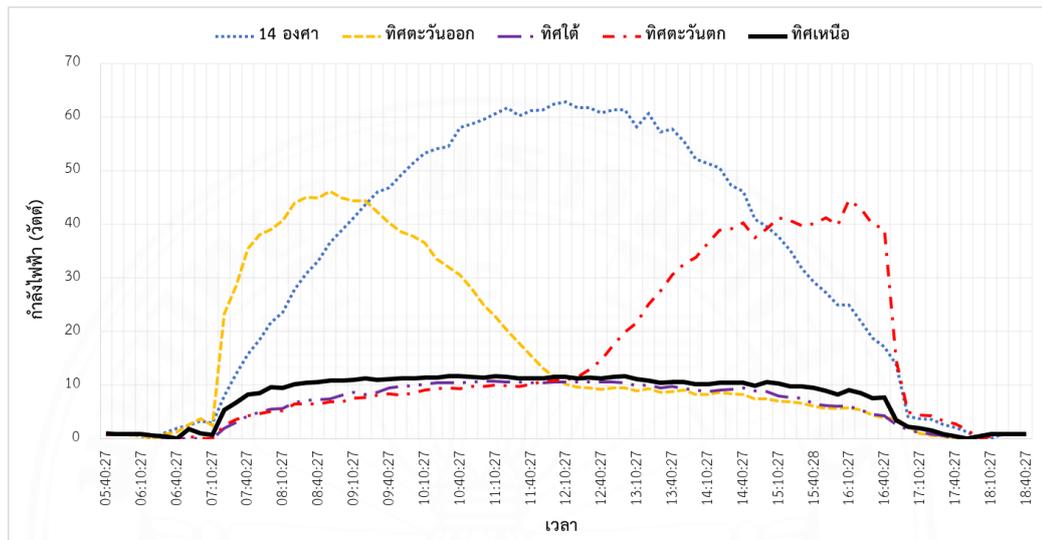


ในวันที่ 30 เมษายน 2567 วันที่ดวงอาทิตย์อยู่ในตำแหน่งตั้งฉากกับพื้นที่ทดสอบในช่วงเที่ยงวัน กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศใต้ลดลงไปและน้อยกว่าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศเหนืออยู่เล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องมาจากในวันที่ดวงอาทิตย์อยู่ในตำแหน่งตั้งฉากกับพื้นที่ตอนเที่ยงวัน ดวงอาทิตย์จะขึ้นทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือเล็กน้อย และจะโคจรอ้อมไปตกทิศตะวันตกเฉียงเหนือเล็กน้อยเช่นกัน ดังจะเห็นได้จากกราฟในภาพที่ 4.2 กำลังไฟฟ้าในช่วงเช้าและเย็นของแผงที่ติดตั้งด้านทิศเหนือจะมีค่าสูงกว่าแผงที่ติดตั้งด้านทิศใต้

และในส่วนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศตะวันออกและทิศตะวันตกมีลักษณะกราฟการผลิตกำลังไฟฟ้าไม่เปลี่ยนแปลงไปมาก แต่กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้เพิ่มขึ้น

ภาพที่ 4.2

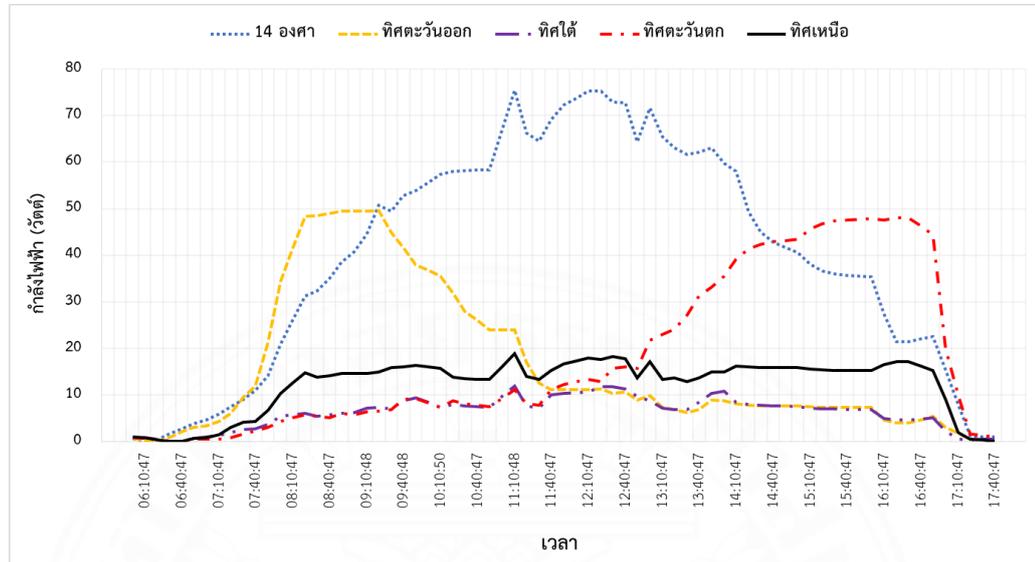
กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ช่วงดวงอาทิตย์ตั้งฉากพื้นที่ศึกษา (วันที่ 30 เมษายน 2567)



และเมื่อดวงอาทิตย์โคจรอ้อมขึ้นทางเหนือมากขึ้นในช่วงวันที่ 28 พฤษภาคม 2567 พบว่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศเหนือเพิ่มขึ้น แต่กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศใต้ลดลงไปอีก ในส่วนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศตะวันออกและทิศตะวันตกผลิตกำลังไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้น โดยลักษณะกราฟการผลิตกำลังไฟฟ้าไม่เปลี่ยนแปลงไปมาก อย่างไรก็ตามกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งน้อยกว่าแบบติดตั้งทำมุม 14 องศา กับแนวราบหันหน้าเซลล์ไปทางทิศใต้ในเวลาเที่ยง แสดงดังภาพที่ 4.3

ภาพที่ 4.3

กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ช่วงดวงอาทิตย์อ้อมเหนือ (วันที่ 28 พฤษภาคม 2567)



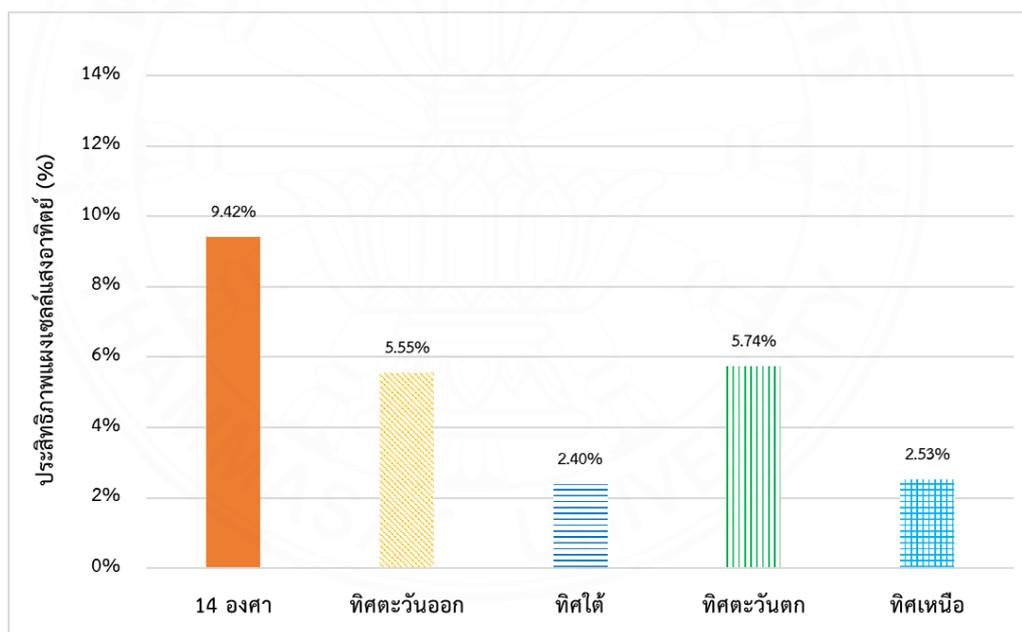
จากการศึกษาครั้งนี้ทำการเก็บข้อมูลในช่วงที่ดวงอาทิตย์โคจรอ้อมใต้อยู่เล็กน้อยจนถึง โคจรอ้อมเหนือเล็กน้อย จึงส่งผลให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศเหนือและทิศใต้ได้รับ แสงอาทิตย์ไม่เต็มที่ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ในช่วงดังกล่าวจึงไม่สูง ซึ่งต่างจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ แนวตั้งด้านทิศตะวันออกที่ได้รับแสงอาทิตย์เต็มที่ในช่วงเช้า และแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง ด้านทิศตะวันตกได้รับแสงอาทิตย์เต็มที่ในช่วงบ่าย จึงผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงกว่าในช่วงดังกล่าว โดย จากผลวิเคราะห์การผลิตกำลังไฟฟ้าจะเห็นได้ว่าการโคจรอ้อมเหนือและอ้อมใต้ของดวงอาทิตย์มีผล อย่างมากต่อกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ โดยเฉพาะแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งทิศเหนือและทิศใต้ แต่ อย่างไรก็ตามจากข้อมูลการศึกษานี้สามารถคาดการณ์ได้ว่า เมื่อดวงอาทิตย์โคจรอ้อมทิศเหนือมากขึ้น กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศเหนือจะมีแนวโน้มสูงขึ้น เช่นเดียวกันเมื่อดวงอาทิตย์กลับมาโคจรอ้อมทิศใต้มากขึ้นกว่าช่วงที่ทำการทดสอบ แผงเซลล์ แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศใต้มีแนวโน้มจะผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงขึ้น เนื่องจากมุมที่รังสีแสงอาทิตย์ ตกกระทบจะเข้าหามุมที่ตั้งฉากกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์มากขึ้น หรือได้รับพลังงานแสงอาทิตย์มากขึ้น ณ ช่วงเวลาดังกล่าว

4.2 ประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ผลวิเคราะห์การทดสอบประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้า ด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งโดยสร้างเป็นกราฟ พบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศตะวันตกและทิศตะวันออกมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน โดนแผงด้านทิศตะวันตกมีประสิทธิภาพสูงสุด รองลงมาคือทิศตะวันออก ทิศเหนือ และทิศใต้ โดยมีประสิทธิภาพแผงอยู่ที่ 5.74% 5.55% 2.53% และ 2.40% ตามลำดับ ในส่วนของแผงที่ติดตั้งทำมุม 14 องศา กับแนวราบหันไปทางทิศใต้มีประสิทธิภาพอยู่ที่ 9.42% แสดงดังภาพที่ 4.4

ภาพที่ 4.4

ประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์



จากผลวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำการติดตั้งแบบแนวตั้งด้านทิศตะวันตก ทิศตะวันออก ทิศเหนือ และทิศใต้ เมื่อเปรียบเทียบกับแบบติดตั้งทำมุม 14 องศา กับแนวราบหันไปทางทิศใต้ มีประสิทธิภาพอยู่ที่ 60.93% 58.91% 26.85% และ 25.47% ตามลำดับ โดยเมื่อพิจารณาในส่วนของด้านทิศตะวันตกและทิศตะวันออกแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งมีประสิทธิภาพสูงเกินครึ่งหนึ่งของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งทำมุม 14 องศา กับแนวราบหันไป

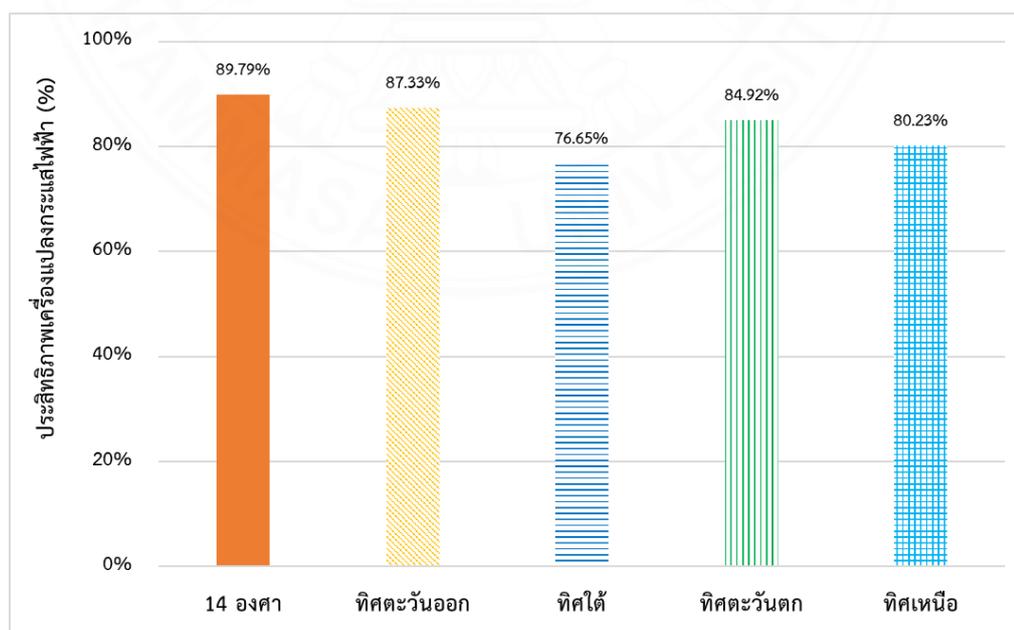
ทางทิศใต้ แต่ในส่วนของด้านทิศเหนือและทิศใต้นั้นมีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำ อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศเหนือและทิศใต้สามารถเพิ่มขึ้นได้อีก เมื่อดวงอาทิตย์โคจรอ้อมเหนือสุดและอ้อมใต้สุด เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศเหนือและทิศใต้จะได้รับพลังงานแสงอาทิตย์มากขึ้นซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์

4.3 ประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า

ผลวิเคราะห์ประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า พบว่าเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศตะวันออก ทิศตะวันตก ทิศเหนือ และทิศใต้ มีประสิทธิภาพอยู่ที่ 87.33% 84.92% 80.23% และ 76.65% ตามลำดับ และในส่วนของชุดที่ติดตั้งท่ามุม 14 องศา กับแนวราบหันไปทางทิศใต้มีประสิทธิภาพอยู่ที่ 89.79% โดยมีผลแสดงดังภาพที่ 4.5

ภาพที่ 4.5

ประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า



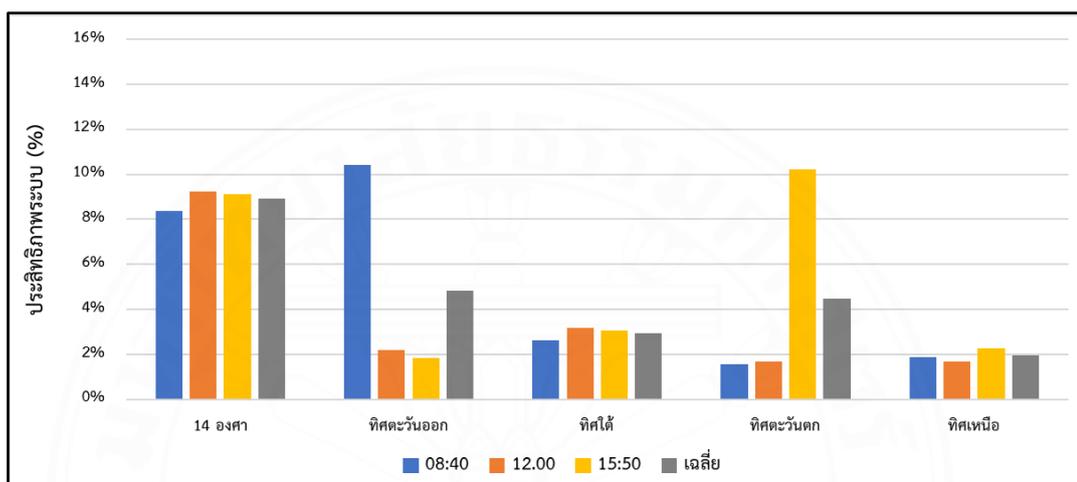
จากผลวิเคราะห์ประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า จะเห็นได้ว่าเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศตะวันออกและตะวันตกมีประสิทธิภาพใกล้เคียง เมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าโดยทั่วไปอยู่ที่ 85%-90% กรมประชาสัมพันธ์. (2564) และกับแบบติดตั้งทำมุม 14 องศากับแนวราบหันไปทางทิศใต้มีประสิทธิภาพอยู่ที่ 89.79% เนื่องจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านตะวันออกได้รับพลังแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูงในช่วงเช้า และด้านตะวันตกได้รับพลังแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูงในช่วงบ่าย แต่ในส่วนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศเหนือและทิศใต้นั้นมีประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่ต่ำกว่า เนื่องจากทั้งสองทิศนี้ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ไม่สูงมาก กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จึงลดลงไปด้วย ดังนั้นจึงอธิบายได้ว่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งในแต่ละทิศได้รับแตกต่างกัน ส่งผลต่อประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าด้วย สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Mondol et al. (2007) คือ ยิ่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์มาก ประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าสูงขึ้นไปด้วย ขณะเดียวกันแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์น้อย ประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าลดลงเช่นกัน เนื่องจากกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ขึ้นอยู่กับพลังงานแสงอาทิตย์ที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับ อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศเหนือและทิศใต้สามารถเพิ่มขึ้นได้อีก เมื่อดวงอาทิตย์โคจรอ้อมเหนือและอ้อมใต้มากขึ้น เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศเหนือและทิศใต้จะได้รับพลังงานแสงอาทิตย์มากขึ้น

ในส่วนประสิทธิภาพรวมระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งพบว่าในช่วงที่ดวงอาทิตย์โคจรอ้อมใต้ ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศตะวันออกมีประสิทธิภาพสูงสุดในช่วง 08:40 น. เนื่องจากดวงอาทิตย์ขึ้นทางทิศตะวันออกส่งผลให้ระบบทางด้านทิศตะวันออกในช่วงดังกล่าว ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์สูงกว่าชุดอื่น ๆ หลังจากนั้นค่อย ๆ ลดลงไปเมื่อดวงอาทิตย์โคจรสูงขึ้น ขณะเดียวกันระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศตะวันตกมีประสิทธิภาพระบบสูงขึ้นเรื่อย ๆ และสูงสุดที่ช่วง 15:50 เนื่องจากดวงอาทิตย์โคจรไปทางทิศตะวันตก และประสิทธิภาพระบบค่อย ๆ ลดลงเมื่อดวงอาทิตย์ใกล้ลับขอบฟ้า ในส่วนของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศใต้มีประสิทธิภาพระบบไม่สูงมาก เนื่องจากช่วงดังกล่าวดวงอาทิตย์โคจรอ้อมใต้เพียงเล็กน้อย พลังงานแสงอาทิตย์ที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับจึงไม่สูงมาก ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพระบบ ส่วนระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งทิศเหนือนั้นมี

ประสิทธิภาพต่ำกว่าชุดอื่น ๆ เนื่องจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของระบบได้รับเพียงแสงสะท้อนและแสงกระเจิงจากวัตถุรอบ ๆ เท่านั้น ประสิทธิภาพรวมระบบจึงต่ำ มีผลแสดงดังภาพที่ 4.6

ภาพที่ 4.6

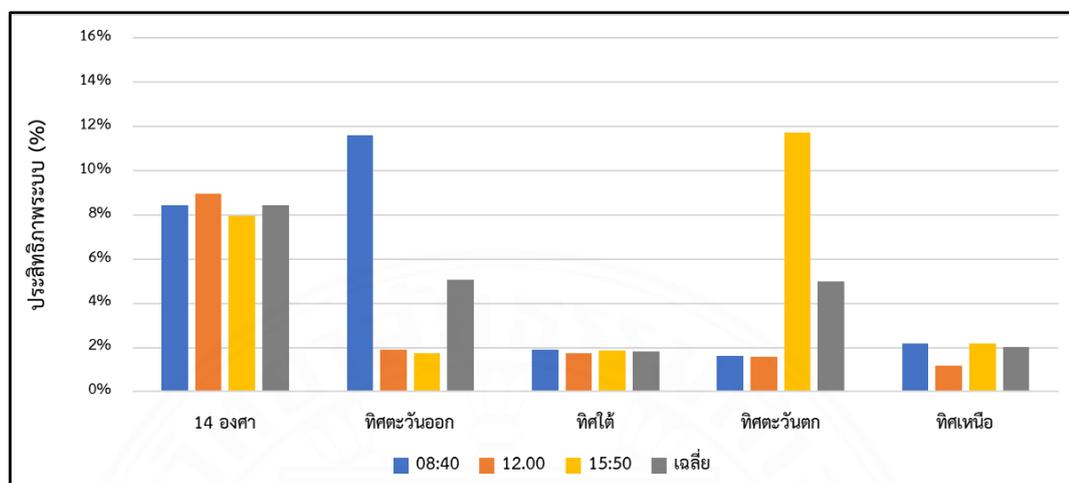
ประสิทธิภาพรวมระบบ ณ วันที่ 22 มีนาคม 2567



เมื่อดวงอาทิตย์โคจรตั้งฉากพื้นที่ทดสอบในวันที่ 30 เมษายน 2567 พบว่าประสิทธิภาพระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศใต้ลดลงไป ใกล้เคียงกับประสิทธิภาพระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศเหนือ เนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับนั้นไม่สูง ซึ่งเป็นเหตุจากแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบลงมาไม่สอดคล้องกับทิศทางการวางแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในช่วงดังกล่าว ส่วนประสิทธิภาพระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศตะวันออกและตะวันตกนั้นเพิ่มขึ้น แต่ลักษณะกราฟไม่แตกต่างมากนักจากช่วงที่ดวงอาทิตย์โคจรอ้อมได้ ผลแสดงดังภาพที่ 4.7

ภาพที่ 4.7

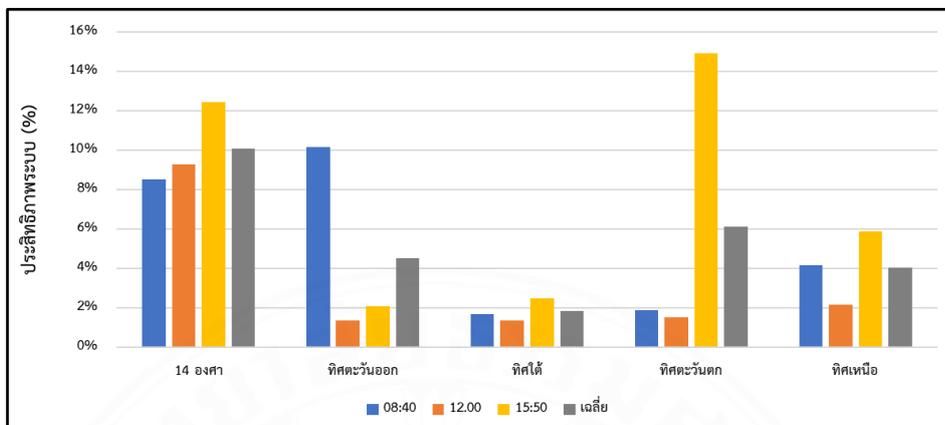
ประสิทธิภาพพระระบบ ณ วันที่ 30 เมษายน 256



เมื่อตรวจอาทิตย์โคจรอ้อมเหนือในวันที่ 28 พฤษภาคม 2567 พบว่าประสิทธิภาพพระระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศเหนือเพิ่มขึ้น เนื่องจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้านทิศเหนือได้รับพลังงานแสงอาทิตย์สูงขึ้น และในส่วนประสิทธิภาพพระระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศตะวันออกและตะวันตกนั้นเพิ่มขึ้นเช่นกัน เนื่องจากช่วงดังกล่าวเป็นช่วงที่ความเข้มแสงสูงแต่มีเมฆบางช่วง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพพระระบบเฉลี่ยพบว่า ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศตะวันออกและทิศตะวันตกนั้นมีประสิทธิภาพประมาณครึ่งหนึ่งและมากกว่าครึ่งหนึ่งในบางช่วงของระบบที่ติดตั้งทำมุม 14 องศากับแนวราบหันไปทางทิศใต้ ผลแสดงดังภาพที่ 4.8 อย่างไรก็ตามในส่วนขอประสิทธิภาพพระระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศเหนือและทิศใต้นั้นจะเพิ่มขึ้นไปอีก เมื่อตรวจอาทิตย์โคจรอ้อมเหนือมากขึ้นและกลับไปโคจรอ้อมใต้มากขึ้น เนื่องจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะได้รับพลังงานแสงอาทิตย์สูงขึ้นในช่วงดังกล่าว

ภาพที่ 4.8

ประสิทธิภาพรวมระบบ ณ วันที่ 28 พฤษภาคม 2567

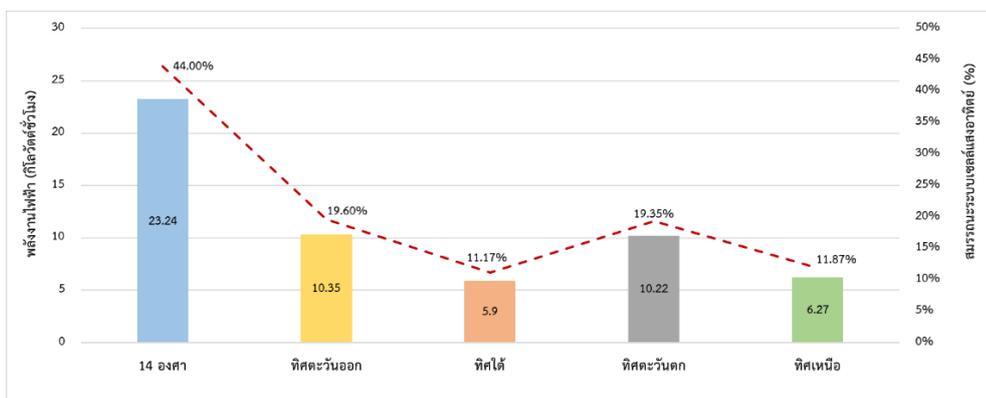


4.4 การผลิตพลังงานไฟฟ้าและสมรรถนะระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง

การผลิตพลังงานไฟฟ้าระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง โดยเก็บข้อมูลตั้งแต่ 22 มีนาคม 2567 ถึง 28 พฤษภาคม 2567 พบว่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศตะวันออกและทิศตะวันตกมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ในส่วนของด้านทิศเหนือและทิศใต้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ไม่สูงมาก และเมื่อนำพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ไปวิเคราะห์สมรรถนะของระบบพบว่า สมรรถนะของระบบด้านทิศตะวันออกและทิศตะวันตกมีสมรรถนะที่ใกล้เคียงกัน และในส่วนของด้านทิศเหนือและทิศใต้นั้นสมรรถนะที่ไม่สูงมาก แสดงดังภาพที่ 4.9

ภาพที่ 4.9

พลังงานไฟฟ้าและสมรรถนะของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง



จากผลวิเคราะห์สมรรถนะของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบ แนวตั้งที่ได้ทำการทดสอบแสดงให้เห็นว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศตะวันออกและ ตะวันตก มีสัดส่วนของสมรรถนะสูงเกือบครึ่งหนึ่ง เมื่อเปรียบเทียบกับชุดที่ติดตั้งทำมุม 14 องศา กับ แนวราบหันหน้าเซลล์ไปทางทิศใต้ สอดคล้องกับการศึกษาของ Shen et al. (2015) แต่มีความ แตกต่างในส่วนสมรรถนะของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศเหนือและทิศใต้ เนื่องจากในงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลในช่วงที่ดวงอาทิตย์โคจรอ้อมใต้เล็กน้อยจนถึงโคจรอ้อมเหนือเล็กน้อย เท่านั้น ไม่ครอบคลุมระยะเวลาตลอดทั้งปีที่ดวงอาทิตย์สามารถโคจรอ้อมเหนือและอ้อมใต้ได้มากขึ้น ไปอีก ซึ่งพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งด้านทิศเหนือและทิศใต้จะสูงเพิ่มขึ้น ไปด้วย ดังนั้นจึงสามารถคาดการณ์ได้ว่า เมื่อมีการเก็บข้อมูลครบทั้งปี สมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้า เซลล์แสงอาทิตย์แนวตั้งด้านทิศเหนือและทิศใต้มีแนวโน้มจะสูงขึ้น ส่วนในด้านทิศตะวันออกและทิศ ตะวันตกจะไม่แตกต่างจากผลการศึกษารั้งนี้มากนัก ในขณะที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งทำมุม 14 องศา จะมีสมรรถนะที่ลดลง เนื่องจากตำแหน่งของดวงอาทิตย์จะโคจรออกจากจุดที่แผงเซลล์ แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับรังสีแสงอาทิตย์ ซึ่งทำให้การผลิตไฟฟ้าลดลง มีผลทำให้สมรรถนะของแผงเซลล์ แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งมีแนวโน้มเข้าใกล้สมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งโดยทั่วไปมาก ยิ่งขึ้น

ดังนั้นหากต้องการใช้ประโยชน์พื้นที่ด้านข้างอาคารในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อ ผลิตพลังงานไฟฟ้า การติดตั้งแบบแนวตั้งด้านทิศตะวันออกและทิศตะวันตกจะมีความเหมาะสม มากกว่าด้านทิศเหนือและทิศใต้ เนื่องจากจะสามารถผลิตไฟฟ้าได้ใกล้เคียงกันในทุกๆ วัน ในขณะที่ แผงด้านทิศเหนือและทิศใต้จะสามารถผลิตไฟฟ้าได้ดีขึ้นในช่วงที่ดวงอาทิตย์โคจรอยู่ในฝั่งที่ติดตั้งแผง เซลล์แสงอาทิตย์เท่านั้น

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้ได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพและสมรรถนะของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง โดยได้ออกแบบและติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งขึ้นที่ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต มีตำแหน่งที่ตั้ง ณ ละติจูด 14 องศา เหนือ และทำการทดสอบเก็บข้อมูลตั้งแต่ 22 มีนาคม 2567 ถึง 28 พฤษภาคม 2567

จากผลการวิจัยสรุปได้ว่าช่วงการโคจรอ้อมเหนือและอ้อมใต้ของดวงอาทิตย์มีผลต่อกำลังผลิตไฟฟ้าและสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งโดยเฉพาะด้านทิศเหนือและทิศใต้ ที่จะผลิตกำลังไฟฟ้าได้ลดลงและมีสมรรถนะลดลงเมื่อดวงอาทิตย์โคจรไปฝั่งตรงกันข้ามแผงที่ติดตั้ง ส่วนระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศตะวันออกและทิศตะวันตกมีสมรรถนะสูงใกล้เคียงกัน โดยด้านทิศตะวันออกทิศตะวันตก ทิศเหนือ และทิศใต้ มีสมรรถนะระบบอยู่ที่ 19.60% 19.35% 11.87% และ 11.17% ตามลำดับ ขณะเดียวกันแบบติดตั้งทำมุม 14 องศา กับแนวราบหันหน้าเซลล์ไปทางทิศใต้ มีสมรรถนะระบบเท่ากับ 44.00%

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งสามารถศึกษาการติดตั้งแผ่นสะท้อนแสงเพิ่มเติม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการรับแสงและผลิตพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งให้ดีขึ้น
2. ควรมีการศึกษาด้านการออกแบบโครงสร้าง การติดตั้ง และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ เพิ่มเติม เพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจลงทุนนำระบบผลิตไฟฟ้าไปแบบแนวตั้งประยุกต์ติดตั้งใช้งานกับอาคารจริง

รายการอ้างอิง

หนังสือออนไลน์

ไพฑูรย์ ปิยะปกรณ และคณะ. (2562). การแปลความหมายแผนที่และภาพ (พิมพ์ครั้งที่ 10) .
กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง. สืบค้นเมื่อวันที่ 13 มิถุนายน 2567

บทความวารสาร

Reker, S., Schneider, J., & Gerhards, C. (2022). Integration of vertical solar power plants into a future German energy system. *Smart Energy*, 7, 100083. สืบค้นเมื่อ 10 ธันวาคม 2566

Shen, L. T., & Fan, J. (2015). Study on the Performance of Vertical Solar PV Systems in Tropical Region. *Advances in Energy Engineering*, 3, 1-7. สืบค้นเมื่อ 20 ธันวาคม 2566

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*, 134, 306-318. สืบค้นเมื่อ 25 ธันวาคม 2566

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*, 19(suppl. 2), 511-523. สืบค้นเมื่อ 25 ธันวาคม 2566

Mondol, J. D., Yohanis, Y. G., & Norton, B. (2007). The effect of low insolation conditions and inverter oversizing on the long-term performance of a grid-connected photovoltaic system. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 15(4), 353-368. สืบค้นเมื่อ วันที่ 14 มิถุนายน 2567

วิทยานิพนธ์

ศศิเทพ ศรีไชยกิจ. (2557). การเพิ่มสมรรถนะของกรอบอาคารด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของอาคารสำนักงาน. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. กรุงเทพมหานคร : มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต. สืบค้นเมื่อ 25 พฤษภาคม 2566

สื่ออิเล็กทรอนิกส์

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2554). คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน ชุดที่ 2. สืบค้นเมื่อ 30 ตุลาคม 2566 จาก https://www.dede.go.th/article_attach/h_solar.pdf

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2566). นโยบายและแผนพลังงานหมุนเวียนของประเทศไทย หลักสูตรวิทยากรพลังงานสำหรับนักบริหารรุ่นใหม่ รุ่น 9 (วพม. 9). สืบค้นจาก [https://www.thailand-energy-academy.org/assets/upload/coursedocument/file/Renewable %20Energy%20Policy.pdf](https://www.thailand-energy-academy.org/assets/upload/coursedocument/file/Renewable%20Energy%20Policy.pdf) สืบค้นเมื่อ 30 ตุลาคม 2566

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2559). คู่มือฝึกอบรมภาคปฏิบัติด้าน พลังงานทดแทน พลังงานแสงอาทิตย์ (ส่วนทฤษฎี). จาก <http://e-lib.dede.go.th/mm-data/BibA11106%E0%B8%84%E0%B8%B9%E0%B9%88%B8%AD%E0%B9%81%E0%B8%AA%E0%B8%87%E0%B8%AD%E0%B8%B2%E0%B8%97%E0%B8%B4%E0%B8%95%E0%B8%A2%E0%B9%8C59.pdf> สืบค้นเมื่อ 11 พฤษภาคม 2566

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2560). โครงการปรับปรุงแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย. สืบค้นเมื่อ 30 ตุลาคม 2566 จาก https://www.dede.go.th/download/OpenBigData/Solar_Map_1_2560.pdf

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2564). การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ การถ่ายเทอด และการเผยแพร่การใช้พลังงานแสงอาทิตย์. สืบค้นจาก [https://webkc.dede.go.th /testmax/sites/default/files/คู่มือ%20การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์%20BLN_0.pdf](https://webkc.dede.go.th/testmax/sites/default/files/คู่มือ%20การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์%20BLN_0.pdf) สืบค้นเมื่อ 30 ตุลาคม 2566

- กรุงเทพธุรกิจ. (2556). รัฐควัก500ล.เปลี่ยนอุปกรณ์ประหยัดไฟ สืบค้นเมื่อ 18 พฤษภาคม 2566, จาก <https://www.bangkokbiznews.com/news/detail/549163>
- จากรุวรรณ พัฒนาพุทธพันธ์. (2021). รู้ก่อนติดตั้งโซลาร์รูฟท็อปไว้ใช้อย่างไร. สืบค้นเมื่อ 20 พฤษภาคม 2566 จาก <https://webkc.dede.go.th/testmax/sites/default/files/คู่มือโซลาร์เซลล์%20แบบเต็ม.pdf>
- Wikiwand. (2557). รายชื่ออาคารที่สูงที่สุดในประเทศไทย. สืบค้นเมื่อ เมื่อ 16 พฤษภาคม 2566 จาก <https://www.wikiwand.com/th/รายชื่ออาคารที่สูงที่สุดในประเทศไทย#อ้างอิง>
- CC SOLAR. (2565). เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์. สืบค้นเมื่อ 11 พฤษภาคม 2566 จาก <http://www.ccsolar-thai.com/ReadArticle.aspx?subheadid>
- WENNEXT. (2563). ทำไมต้องไมโครอินเวอร์เตอร์. สืบค้นเมื่อ 15 พฤษภาคม 2566 จาก <https://wenext.net/article/solar/ทำไมเราจึงควรเริ่มมาใช้>
- มูลนิธิแม่ฟ้าหลวง ในพระบรมมราชูปถัมภ์. (2562). โซลาร์เซลล์แบบใส จะเปลี่ยนหน้าต่างให้ผลิตไฟฟ้าได้. จาก <https://home.maefahluang.org/17652676/solar-mirror>. สืบค้นเมื่อ 20 พฤษภาคม 2566
- สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน). 2562. 23 ก.ย. นี้ “วันศารทวิษุวัต” กลางวันยาวเท่ากลางคืน. สืบค้นจาก <https://www.narit.or.th/index.php/news/567-4019-narit-autumnal-equinox-2562> สืบค้นเมื่อวันที่ 13 มิถุนายน 2567
- คณะกรรมการพลังงานหอกการค้าไทย. 2566. 5 ปัจจัย ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์. จาก <https://energy-thaichamber.org/5-solar-cell-performance/> สืบค้นเมื่อวันที่ 13 มิถุนายน 2567
- กรมประชาสัมพันธ์. 2564. พลังงานทางเลือก ตอน 2 อินเวอร์เตอร์. สืบค้นเมื่อวันที่ 14 มิถุนายน 2567 จาก <https://www.prd.go.th/th/content/category/detail/id/31/iid/10928>
- NREL. (2024). Interactive Best Research-Cell Efficiency Chart. จาก <https://www.nrel.gov/pv/interactive-cell-efficiency.html> สืบค้นเมื่อวันที่ 5 กรกฎาคม 2567

เอกสารการบรรยายและรายงานที่นำเสนอในการประชุม

เอกพันธ์ ผัดศรี, คณภรณ์ ก้อนแก้ว และ อัครินทร์ อินทนิเวศน์1. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพ และสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบ เชื่อมต่อกับสายส่งขนาด 300 kW. การประชุม วิชาการครั้งที่ 3 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา วันที่ 30 สิงหาคมพ.ศ. 2561 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา จังหวัดชลบุรี. สืบค้นเมื่อ 26 ธันวาคม 2566





ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ภาพถ่ายการทดสอบระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง
ช่วงดวงอาทิตย์โคจรอ้อมใต้



ภาพที่ ก-1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศใต้ช่วงดวงอาทิตย์โคจรอ้อมใต้
ช่วงเวลา 16:30 นาฬิกา



ภาพที่ ก-2 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศตะวันตกช่วงดวงอาทิตย์โคจรอ้อมใต้
ช่วงเวลา 16:30 นาฬิกา

ภาคผนวก ข

ภาพถ่ายการทดสอบระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง
ช่วงดวงอาทิตย์โคจรอ้อมเหนือ



ภาพที่ ข-1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศตะวันออกช่วงดวงอาทิตย์โคจรอ้อมเหนือ
ช่วงเวลา 10:00 นาฬิกา



ภาพที่ ข-2 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศตะวันตกช่วงดวงอาทิตย์โคจรอ้อมเหนือ
ช่วงเวลา 10:00 นาฬิกา



ภาพที่ ข-3 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศเหนือช่วงดวงอาทิตย์โคจรอ้อมเหนือ
ช่วงเวลา 10:00 นาฬิกา



ภาพที่ ข-4 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านใต้เหนือช่วงดวงอาทิตย์โคจรอ้อมเหนือ
ช่วงเวลา 10:00 นาฬิกา

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	กฤษณชัย ยอดอรทัย
วันเดือนปีเกิด	5 เมษายน 2542
วุฒิการศึกษา	ปีการศึกษา 2564: วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ทุนการศึกษา	ปีการศึกษา 2565: ทุนเรียนดี ประเภท ค คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ประสบการณ์ทำงาน	2563 นักศึกษาฝึกงาน บริษัท เกร็นโซน (ประเทศไทย) จำกัด

