

ผลกระทบของระดับความสูงต่อประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้า
ด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

IMPACT OF INSTALLATION HEIGHT PHOTOVOLTAIC
POWER GENERATION EFFICIENCY

สุเทพ สีมาลา

ดุขฉนินพณรณนั้เป็นส่วนหนึ่ของการศึษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรดุขฉนินพณรณนั้ สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานและวัสดุ
คณะวิศวกรรมศาสตร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2567
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ผลกระทบของระดับความสูงต่อประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้า
ด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

สุเทพ สีมาลา

ดุษฎีนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานและวัสดุ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2567
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ผลกระทบของระดับความสูงต่อประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วย
เซลล์แสงอาทิตย์

Impact of Installation Height Photovoltaic Power Generation
Efficiency

ชื่อ – นามสกุล

นายสุเทพ สีมาลา

สาขาวิชา

วิศวกรรมพลังงานและวัสดุ

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์วิรัชย์ โรยรินทร์, Ph.D.

ปีการศึกษา

2567

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์บุญเรือง มะรังศรี, D.Eng.)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์บุญยัง ปลั่งกลาง, Dr.-Ing.)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์วารุณี อริยวิริยะนันท์, D.Eng.)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์เกียรติศักดิ์ แสงประดิษฐ์, Ph.D.)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์วิรัชย์ โรยรินทร์, Ph.D.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรี

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์สรพงษ์ ภาวสุปรีดิ์, Ph.D.)

วันที่ 7 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2568

หัวข้อขุณิพนธ์	ผลกระทบของระดับความสูงต่อประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์
ชื่อ – นามสกุล	นายสุเทพ สีมาลา
สาขาวิชา	วิศวกรรมพลังงานและวัสดุ
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์วิรัช ไรยนรินทร์, Ph.D.
ปีการศึกษา	2567

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มุ่งเน้นการประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ โดยพิจารณาการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในพื้นที่และระดับความสูงแตกต่างกันที่ส่งผลต่ออุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้งด้านบนและด้านล่างแผง ซึ่งอุณหภูมิจะมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าเนื่องจากผลของการถ่ายเทความร้อน ทั้งในรูปแบบการนำ การพาและการแผ่รังสีความร้อน

การศึกษานี้ได้ดำเนินการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ 3 รูปแบบ ได้แก่ (1) การติดตั้งบนพื้นดินขนาด 4.86 กิโลวัตต์ ที่ระดับความสูง 1 เมตร 1.5 เมตร และ 2 เมตร ณ ตำบลคลองสี่ อำเภอลองหลวง จังหวัดปทุมธานี (2) การติดตั้งบนหลังคาอาคารจอดรถขนาด 10 กิโลวัตต์ ที่ระดับความสูง 2.5 เมตร 3 เมตร และ 3.5 เมตร ณ ร้านค้าเพื่อเมซอน สาขาข้ามมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และ (3) การติดตั้งบนหลังคาอาคารตลาดวงศกรขนาด 200 กิโลวัตต์ ซึ่งเชื่อมต่อสายส่งไฟฟ้าและระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ลิเธียม นอกจากนี้ได้ใช้ซอฟต์แวร์ PVsyst เพื่อจำลองสมรรถนะการผลิตไฟฟ้าในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละพื้นที่ มีการเก็บบันทึกผลการดำเนินงานและนำมาวิเคราะห์

ผลการศึกษาพบว่าในรูปแบบที่ 1 การเพิ่มระดับความสูงช่วยลดการสะสมความร้อนและเพิ่มกำลังผลิตไฟฟ้า โดยที่ความสูง 1.5 เมตร และ 2 เมตร เพิ่มกำลังผลิต 8.87% และ 9.45% ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ต้นทุนโครงสร้างเพิ่มขึ้น 24.51% และ 48.04% ทำให้ระดับความสูงที่เหมาะสมที่สุดคือ 1.5 เมตร ส่วนรูปแบบที่ 2 พบว่าการติดตั้งที่ความสูง 3.5 เมตร ให้กำลังผลิตไฟฟ้าสูงสุด สอดคล้องกับแนวโน้มของรูปแบบที่ 1 และในรูปแบบที่ 3 พบว่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงมีความใกล้เคียงกับผลการจำลองด้วยซอฟต์แวร์ PVsyst แตกต่างกันเพียง 5.23 เปอร์เซ็นต์ ทำให้มีปริมาณไฟฟ้าเพียงพอต่อความต้องการของตลาดวงศกร และสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการศึกษาระบบไฮบริดร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานได้ โดยสรุป การเพิ่มระดับความสูงของเซลล์แสงอาทิตย์ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน ลดการสะสมความร้อนที่ผิวแผง ส่งผลให้ผลิตไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น และเหมาะสมในการวิเคราะห์ร่วมกับเศรษฐศาสตร์การลงทุนต่อไป

คำสำคัญ: ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นดิน ระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารจอดรถ ระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา ระบบสะสมพลังงาน ระบบการผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน

Dissertation Title Impact of Installation Height Photovoltaic Power Generation Efficiency
Name – Surname Mr. Suthep Simala
Program Energy and Materials Engineering
Dissertation Advisor Associate Professor Wirachai Roynarin, Ph.D.
Academic Year 2024

ABSTRACT

This study focuses on the assessment of the potential of solar power generation by considering the installation of PV at different locations and heights that affected the temperature of PV, both above and below the panel. Temperature affected the efficiency of electricity generation due to the effects of heat transfer in the forms of conduction, convection, and radiation.

The study conducted three types of PV installations: (1) 4.86 kW ground-mounted installation at the heights of 1, 1.5, and 2 meters at Tambon Klong Si, Amphoe Klong Luang, Pathum Thani Province; (2) 10 kW rooftop installation at the heights of 2.5, 3, and 3.5 meters at Café Amazon, a coffee shop next to Rajamangala University of Technology Thanyaburi; and (3) 200 kW rooftop installation at Wongsakorn Market Building, which were connected to the power transmission lines and the lithium battery energy storage systems. In addition, this study used PVsyst software to simulate the power generation performance of each PV installation area. The performance records were recorded and analyzed.

The results of the study revealed that in Model 1, increasing the height reduced heat accumulation and increased electricity production. The heights of 1.5 meters and 2 meters increased the production capacity by 8.87% and 9.45%, respectively. However, the structural cost increased by 24.51% and 48.04%, resulting in the most suitable height of 1.5 meters. In Model 2, it was found that the installation at the height of 3.5 meters gave the highest electricity production, which was consistent with the trend of Model 1. And for Model 3, it was found that the actual energy produced was close to the simulation result by PVsyst software, with a deviation of only 5.23%, resulting in sufficient electricity to meet the Wongsakorn Market demand. It could be used as basic information for studying the hybrid system combined with the energy storage system. In conclusion, increasing the height of the PV increased the efficiency of heat transfer and reduced heat accumulation on the panel surface. This resulted in the system being able to produce electricity more efficiently, which could be used in conjunction with the appropriate investment economic analysis.

Keywords: solar power, ground-based solar systems, parking lot rooftop solar systems, rooftop solar systems, energy storage systems, hybrid power generation systems

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอแสดงความขอบคุณอย่างจริงใจและลึกซึ้งต่อศูนย์วิจัยพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี สำหรับการสนับสนุนอุปกรณ์ทดสอบที่สำคัญอย่างเอื้อเพื่อ การได้รับความช่วยเหลือด้านอุปกรณ์จากท่านมีความสำคัญอย่างยิ่งในการดำเนินการวิจัยของเราให้ เป็นไปอย่างราบรื่นและมีประสิทธิภาพ

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบคณาจารย์ รศ.ดร.วิรัช โรยรินทร์ อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.บุญเรือง มะรังศรี, รศ.ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง, รศ.ดร.วราวุธ อริยวิริยะนันท์, รศ.ดร.เกียรติศักดิ์ แสงประดิษฐ์, ที่ได้สละ เวลาในการให้คำแนะนำและปรึกษาตลอดจนให้ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมเพื่อให้คณาจารย์ฉบับนี้มีความ สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

นอกจากนี้ ผู้วิจัยยังขอขอบคุณต่อบริษัท เอฟที เอ็นเนอร์ยี จำกัด สำหรับการสนับสนุนอันมี ค่าของท่านในการจัดหาสถานที่ทดสอบ ความเอื้อเฟื้อและความร่วมมือจากท่านมีบทบาทสำคัญในการ ทำให้การทดลองภาคสนามของเราเป็นไปได้ด้วยดี และช่วยเสริมสร้างคุณภาพของผลการวิจัยให้มีความ สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

การสนับสนุนและความช่วยเหลือจากทั้งสององค์กรนี้เป็นแรงผลักดันที่สำคัญที่ทำให้ โครงการวิจัยของเราสามารถสำเร็จลุล่วงได้ พวกเราขอขอบคุณจากใจจริงสำหรับความทุ่มเทและความ เอื้อเฟื้อที่มีให้แก่เรา ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อวงการวิชาการและการพัฒนาทางด้านพลังงานใน อนาคต

สุเทพ สีมาลา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญตาราง	(8)
สารบัญรูป	(9)
บทที่ 1 บทนำ	11
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	11
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	13
1.3 คำถามของการวิจัย	13
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	13
1.5 คำจำกัดความในการวิจัย	14
1.6 กรอบแนวคิดของการวิจัย	15
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	15
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	17
2.1 การผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์	17
2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์	21
2.3 ศักยภาพของพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย	25
2.4 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน	28
2.5 ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า	30
2.6 ซอฟต์แวร์ PVsyst	31
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	34
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	45
3.1 รูปแบบการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์	45
3.2 รายละเอียดและขั้นตอนการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	46
3.3 การจำลองระบบเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยซอฟต์แวร์ PVsyst	68
3.4 การประเมินต้นทุนโครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์.....	71

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัย	74
4.1 ผลการติดตั้งบนพื้นดินขนาด 4.86 กิโลวัตต์ ที่ระดับความสูง 1 เมตร 1.5 เมตร และ 2 เมตร	74
4.2 ผลการติดตั้งบนหลังคาอาคารจอดรถขนาด 10 กิโลวัตต์ ที่ระดับความสูง 2.5 เมตร 3 เมตร และ 3.5 เมตร	83
4.3 ผลการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารตลาดวงศกรขนาด 200 กิโลวัตต์....	88
บทที่ 5 สรุปและอภิปรายผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ	93
5.1 สรุปและอภิปรายผลการวิจัย	93
3.2 ข้อเสนอแนะ.....	95
บรรณานุกรม.....	97
ภาคผนวก.....	104
ภาคผนวก ก	105
ภาคผนวก ข	108
ประวัติผู้เขียน.....	110



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 รูปแบบการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละรูปแบบและแต่ละความสูง.....	46
ตารางที่ 3.2 รายละเอียดข้อมูลจำเพาะของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์.....	48
ตารางที่ 3.3 ข้อมูลขาเข้าของอินเวอร์เตอร์ (กระแสตรง หรือ DC).....	49
ตารางที่ 3.4 ข้อมูลขาออกของอินเวอร์เตอร์ (กระแสสลับ หรือ AC).....	49
ตารางที่ 3.5 ข้อมูลของอินเวอร์เตอร์ขนาด 150 กิโลวัตต์.....	72
ตารางที่ 4.1 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากการจำลองระบบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 4.86 กิโลวัตต์ ด้วยซอฟต์แวร์ PVsyst ตลอดปี 2567	80
ตารางที่ 4.2 การประเมินต้นทุนโครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 4.86 กิโลวัตต์.....	82
ตารางที่ 4.3 อุณหภูมิเฉลี่ยที่วัดได้ในแต่ละตำแหน่งการวัด.....	83
ตารางที่ 4.4 ข้อมูลของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารจอดรถเดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2565	84
ตารางที่ 4.5 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากการจำลองระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาที่จอดรถ ขนาดกิโลวัตต์ ด้วยซอฟต์แวร์ PVsyst ตลอดปี 2565	87
ตารางที่ 4.6 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากการจำลองระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาตลาด วงศกร 200 กิโลวัตต์ ด้วยซอฟต์แวร์ PVsyst ตลอดปี 2567	91
ตารางที่ ก.1 ข้อมูลสภาพอากาศโดยเฉลี่ยเดือนมีนาคม-เมษายน พ.ศ. 2567 ของการติดตั้ง ระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นดิน ขนาด 4.86 กิโลวัตต์ ที่ระดับความสูง 1 เมตร 1.5 เมตร และ 2 เมตร	106
ตารางที่ ก.2 ข้อมูลไฟฟ้าที่ผลิตได้โดยเฉลี่ยตลอดเดือนมีนาคม-เมษายน พ.ศ. 2567 ของการ ติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นดิน ขนาด 4.86 กิโลวัตต์ ที่ระดับความสูง 1 เมตร 1.5 เมตร และ 2 เมตร	109

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (ออฟกริด)	19
รูปที่ 2.2 การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมสายส่ง (ออนกริด)	20
รูปที่ 2.3 การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมทั้งสองแบบ (ไฮบริด)	21
รูปที่ 2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์.....	21
รูปที่ 2.5 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทยจากข้อมูลดาวเทียมปี 2563	27
รูปที่ 3.1 การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ที่ระดับความสูง 1 เมตร, 1.5 เมตร และ 2 เมตร	48
รูปที่ 3.2 รูปแบบและขนาดของโครงสร้างการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละระดับความสูง	50
รูปที่ 3.3 การติดตั้งอินเวอร์เตอร์ พร้อมทั้งแบตเตอรี่ ยี่ห้อ Growatt	51
รูปที่ 3.4 เครื่องวัดกระแสไฟฟ้าดิจิทัล ยี่ห้อ Yokogawa รุ่น WT310E	51
รูปที่ 3.5 การติดตั้งเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิพื้นผิว ยี่ห้อ LSI LASTEM รุ่น DLE124	52
รูปที่ 3.6 เครื่องมือวัดอุณหภูมิตามวิธีมาตรฐาน	52
รูปที่ 3.7 หลักการทำงานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดสูงสุด 4.86 kWp	53
รูปที่ 3.8 แบบไดอะแกรมเส้นเดียวของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา อาคารจอด รถขนาด 10 กิโลวัตต์	56
รูปที่ 3.9 พื้นที่หน้างานจริงก่อนทำการก่อสร้าง	57
รูปที่ 3.10 งานฐานราก	57
รูปที่ 3.11 การก่อสร้างโครงอาคารจอดรถ	58
รูปที่ 3.12 การยึดตัวเซลล์แสงอาทิตย์กับโครงสร้างที่จอดรถ	58
รูปที่ 3.13 การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารจอดรถ ที่ระดับความสูง 2.5 เมตร 3 เมตร และ 3.5 เมตรจากพื้นดิน	59
รูปที่ 3.14 แผนภาพหลักการทำงานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 กิโลวัตต์	60
รูปที่ 3.15 แบบไดอะแกรมเส้นเดียวของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์หลังคาอาคาร ตลาดวงศกรขนาด 200 กิโลวัตต์ (1)	62
รูปที่ 3.16 แบบไดอะแกรมเส้นเดียวของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์หลังคาอาคาร ตลาด วงศกรขนาด 200 กิโลวัตต์ (2)	63
รูปที่ 3.17 แบบการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารตลาดวงศกรขนาด 200 กิโลวัตต์	64

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 3.18 การติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารตลาดวงศกรขนาด 200 กิโลวัตต์	64
รูปที่ 3.20 ก. แบตเตอรี่ลิเธียม 100 กิโลวัตต์-ชั่วโมง และ ข. อินเวอร์เตอร์ไฮบริด 150 กิโลวัตต์	66
รูปที่ 3.21 ตู้เบรกเกอร์วงจรไฟฟ้า.....	67
รูปที่ 3.22 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบไฮบริด	68
รูปที่ 3.23 ข้อมูลจำเพาะทางเทคนิคของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และอินเวอร์เตอร์ที่ใช้จำลองระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารจอดรถ	70
รูปที่ 4.1 ค่ำรังสีแสงอาทิตย์เฉลี่ยเดือนมีนาคม ถึง เมษายน 2567 ตั้งแต่เวลา 06:00 น. ถึง 18.00 น	76
รูปที่ 4.2 อุณหภูมิด้านบนและด้านล่างของเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ยเดือนมีนาคม ถึงเมษายน 2567 ตั้งแต่เวลา 06:00 น. ถึง 18:00 น	76
รูปที่ 4.3 ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างพื้นผิวด้านบนและด้านล่างของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ แต่ละระดับความสูงเฉลี่ยเดือนมีนาคม ถึง เมษายน 2567 ตั้งแต่เวลา 06:00 น. ถึง 18:00 น	77
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่แต่ละระดับความสูงเฉลี่ยเดือนมีนาคม ถึง เมษายน 2567	78
รูปที่ 4.5 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากการจำลองระบบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 4.86 กิโลวัตต์ ด้วย ซอฟต์แวร์ PVsyst ตลอดปี 2567	79
รูปที่ 4.6 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารจอดรถ ตลอดเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2565	85
รูปที่ 4.7 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากการจำลองระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาที่จอดรถขนาด 10 กิโลวัตต์ ด้วยซอฟต์แวร์ PVsyst ตลอดปี 2565	86
รูปที่ 4.8 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารจอดรถ ตลอดเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2567	89
รูปที่ 4.9 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากการจำลองระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาที่จอดรถขนาด 10 กิโลวัตต์ ด้วยซอฟต์แวร์ PVsyst ตลอดปี 2567	90

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พลังงานแสงอาทิตย์ที่มีในปัจจุบันถือว่าเป็นแหล่งพลังงานหลักของโลกที่ถือว่าเป็นพลังงานสะอาดที่สามารถเปลี่ยนรูปได้และเป็นแหล่งพลังงานสะอาดที่มีศักยภาพสูงและในวงการพลังงานในปัจจุบันเป็นที่ยอมรับในระดับประเทศและระดับสากลว่าเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในการพัฒนาด้านพลังงานทดแทน เนื่องจากความเจริญในด้านวิทยาศาสตร์และมางวัสดุทางวิศวกรรมทำให้สามารถนำวัสดุต่าง ๆ มาผลิตแผงโซลาร์เซลล์ และนำมาผลิตกระแสไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่องโดย อย่างมีประสิทธิภาพและต่อเนื่อง และที่สำคัญคือปราศจากการปล่อยมลพิษสู่สิ่งแวดล้อม ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Photovoltaic: PV) ส่วนใหญ่อาศัยเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic Cells: PV Cells) [1], [2], [3] ในการเปลี่ยนพลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าผ่านกระบวนการโฟโตโวลเทอิก (Photovoltaic Effect) ซึ่งเป็นกระบวนการที่วัสดุกึ่งตัวนำเปลี่ยนพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรง โดยเมื่อโฟตอนจากแสงอาทิตย์ตกกระทบกับวัสดุกึ่งตัวนำ พลังงานของโฟตอนจะถูกดูดซับ ทำให้อิเล็กตรอนในวัสดุก่อกระตุ้นจากแถบเวเลนซ์ไปยังแถบนำไฟฟ้า ส่งผลให้เกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮล (electron-hole pair) การแยกและการเคลื่อนที่ของคู่นี้ภายใต้สนามไฟฟ้าภายในวัสดุทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า อัตราการแปลงพลังงาน (ประสิทธิภาพ) ณ สภาวะมาตรฐาน (STC: แสงอาทิตย์ 1000 W/m^2 , 25°C) อยู่ราว 15-22% ทั้งนี้ขึ้นกับโครงสร้างเซลล์และชนิดของซิลิคอนที่ใช้ เป็นต้น ในการออกแบบการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการผลิตไฟฟ้านั้นเราสามารถเลือกใช้ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ออกแบบให้ติดตั้งได้ทั้งแบบวางบนพื้นดินและบนโครงสร้างอาคารหรือหลังคา หรือในปัจจุบันใช้วางบนทุ่นลอยน้ำใช้พื้นที่น้ำที่มีอยู่มากมายให้เกิดประโยชน์เพิ่มขึ้น โดยจำแนกออกเป็นสามประเภทหลัก ได้แก่ ระบบออนกริด (On-Grid System) ซึ่งทำงานโดยเชื่อมต่อกับโครงข่ายไฟฟ้าหลักของการไฟฟ้าและสามารถจำหน่ายไฟฟ้าส่วนเกินกลับเข้าสู่ระบบสาธารณะได้อย่างมีประสิทธิภาพ, ระบบออฟกริด (Off-Grid System) ซึ่งเป็นระบบที่สามารถดำเนินการโดยอิสระจากโครงข่ายไฟฟ้า โดยต้องอาศัยแบตเตอรี่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานเพราะระบบนี้ไม่มีการเชื่อมต่อกับสายส่งการไฟฟ้าจึงไม่สามารถจะใช้ได้หากแสงอาทิตย์ไม่มีเลยต้องมีระบบกักเก็บพลังงานมาประกอบในการวางระบบ และ ระบบที่มีการพัฒนาและใช้งานกันมากในปัจจุบันคือระบบการเชื่อมต่อพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เป็นระบบไฮบริด (Hybrid System) ซึ่งสามารถเชื่อมต่อผสมผสานกันได้หลายเทคโนโลยี ซึ่งเป็นการออกแบบให้ทำงานผสมผสานกันระหว่างระบบออนกริดและออฟกริดและอาจเชื่อมต่อกับระบบพลังงานทดแทนรูปแบบอื่นเช่นพลังงานลม หรือเครื่องยนต์ดีเซล เพื่อเพิ่มเสถียรภาพ

ของพลังงานไฟฟ้า [4] อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพของโซลาร์เซลล์ของพลังงานแสงอาทิตย์ได้รับอิทธิพลจากปัจจัยแวดล้อมหลายประการ เช่น ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ ฝุ่นละออง และเงาจากสิ่งกีดขวาง ซึ่งอาจส่งผลให้ประสิทธิภาพของการแปลงพลังงานลดลงโดยตรง [5], [6] โดยเฉพาะอย่างยิ่ง อุณหภูมิของแผงโซลาร์เซลล์หรือของเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะส่งผลต่อแรงดันไฟฟ้าของในการทำงานของแผงโซลาร์เซลล์ การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลง ส่งผลให้กำลังการผลิตไฟฟ้าลดลง แม้ว่ากระแสไฟฟ้าอาจเพิ่มขึ้นเล็กน้อยก็ตาม นอกจากนี้ ระดับความสูงของเซลล์แสงอาทิตย์จากพื้นผิวดินยังเป็นอีกปัจจัยที่มีบทบาทสำคัญต่ออุณหภูมิของแผง ตามหลักการถ่ายเทความร้อน การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีระยะห่างจากพื้นผิวที่เหมาะสมช่วยให้เกิดการพาความร้อน (Convection) ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ทำให้กระแสอากาศสามารถไหลผ่านใต้แผงได้สะดวก ช่วยลดการสะสมความร้อน และเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้า ขณะที่การนำความร้อน (Conduction) และการแผ่รังสีความร้อน (Radiation) ก็มีส่วนสำคัญในการกระจายความร้อนออกจากเซลล์

PVsyst เป็นซอฟต์แวร์จำลองที่ใช้ในการออกแบบและวิเคราะห์ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ โดยช่วยคำนวณปริมาณพลังงานที่ผลิตได้บนพื้นฐานของตำแหน่งทางภูมิศาสตร์และพารามิเตอร์ของระบบ ข้อดีของ PVsyst ได้แก่ ความแม่นยำสูงในการคำนวณ รองรับฐานข้อมูลสภาพอากาศจากหลายแหล่ง แสดงผลได้ในรูปแบบรายเดือน รายวัน และรายชั่วโมง อีกทั้งยังมีฟังก์ชัน "Loss Diagram" ที่ช่วยวิเคราะห์จุดอ่อนของระบบ อย่างไรก็ตาม ซอฟต์แวร์นี้มีความซับซ้อนในการใช้งาน ต้องใช้ทรัพยากรคอมพิวเตอร์สูง ฐานข้อมูลสภาพอากาศอาจไม่ครอบคลุมทุกพื้นที่ และไม่สามารถจำลองพลังงานหมุนเวียนประเภทอื่นได้โดยตรง แม้จะมีข้อจำกัด PVsyst ยังคงเป็นซอฟต์แวร์มาตรฐานที่ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลายในการวิเคราะห์ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วโลก [7], [8]

ดังนั้น การศึกษานี้มุ่งเน้นการศึกษาศักยภาพของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ โดยวิเคราะห์ผลกระทบของระดับที่มีความสูงและพื้นที่ในการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ที่แตกต่างกันต่อผลกระทบด้านอุณหภูมิของเซลล์ ทั้งด้านบนและด้านล่างและสิ่งแวดล้อมต่างๆ ซึ่งอุณหภูมิจะมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าเนื่องจากผลของการถ่ายเทความร้อน ทั้งในรูปแบบการนำ การพาและการแผ่รังสีความร้อน ในการศึกษาได้พิจารณาการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ 3 รูปแบบ ได้แก่ 1) การติดตั้งโซลาร์เซลล์บนพื้นดิน ขนาดกำลังผลิต 4.86 กิโลวัตต์ ที่ระดับความสูง 1 เมตร, 1.5 เมตร และ 2 เมตร จากพื้นดิน 2) การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารจอดรถร้านค้าเพื่อเมซอน ขนาดกำลังผลิต 10 กิโลวัตต์ ที่ระดับความสูง 2.5 เมตร, 3 เมตร และ 3.5 เมตร จากพื้นดิน และ 3) การติดตั้งแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารตลาดวงศกร ขนาดกำลังผลิต 200 กิโลวัตต์ ซึ่งเป็นระบบที่เชื่อมต่อกับโครงข่ายไฟฟ้า (On-Grid System) และมีระบบการสะสมพลังงานในรูปแบบของแบตเตอรี่ลิเทียม นอกจากนี้ การศึกษานี้ยังใช้ซอฟต์แวร์ PVsyst เพื่อจำลองสมรรถนะการผลิตไฟฟ้าของการติดตั้งเซลล์

แสงอาทิตย์แต่ละพื้นที่ และประเมินค่าใช้จ่ายของการติดตั้งและการใช้งานแผงโซลาร์เซลล์จากพลังงานแสงอาทิตย์ในระดับความสูงที่แตกต่างกัน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อประเมินศักยภาพของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในแต่ละพื้นที่
- 1.2.2 เพื่อศึกษาผลกระทบของระดับความสูงของเซลล์แสงอาทิตย์ต่ออุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า
- 1.2.3 เพื่อประเมินค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในระดับความสูงที่แตกต่างกัน

1.3 คำถามของการวิจัย

- 1.3.1 ศักยภาพของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในแต่ละพื้นที่เป็นอย่างไร
- 1.3.2 ระดับความสูงที่แตกต่างกันส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิตพลังงานแสงอาทิตย์หรือไม่อย่างไร?
- 1.3.3 การเพิ่มระดับความสูงของเซลล์แสงอาทิตย์มีผลต่อค่าใช้จ่ายของโครงการหรือไม่?

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

ในการศึกษานี้ดำเนินการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ 3 รูปแบบ ได้แก่

1.4.1 การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นดิน ที่ตำบลคลองสี่ อำเภอลองหลวง จังหวัดปทุมธานี ขนาดกำลังผลิต 4.86 กิโลวัตต์ ที่ระดับความสูง 1 เมตร, 1.5 เมตร และ 2 เมตร จากพื้นดิน โดยดำเนินการบันทึกข้อมูลทั้งหมด ได้แก่ อุณหภูมิพื้นผิวของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งด้านบนและด้านล่าง ค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ ความเข้มแสงอาทิตย์ ทิศทางและความเร็วลม และระดับความชื้นสัมพัทธ์ ทุก 5 นาที ตั้งแต่เวลา 06:00 น. ถึง 18:00 น. เป็นระยะเวลา 2 เดือน ตั้งแต่เดือนมีนาคม 2567 ถึงเดือนเมษายน 2567 นอกจากนี้ยังใช้ซอฟต์แวร์ PVsyst เพื่อจำลองสมรรถนะการผลิตไฟฟ้า และประเมินค่าใช้จ่ายในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในระดับความสูงที่แตกต่างกัน

1.4.2 การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารจอตอรถร้านคาเฟ่เมซอน สาขาข้ามมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ขนาดกำลังผลิต 10 กิโลวัตต์ ที่ระดับความสูง 2.5 เมตร, 3 เมตร และ 3.5 เมตร จากพื้นดิน โดยดำเนินการบันทึกข้อมูลค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ เปรียบเทียบในระดับความสูงที่แตกต่างกัน และเปรียบเทียบกับผลการจำลองโดยใช้ซอฟต์แวร์ PVsyst

1.4.3 การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารตลาดวงศกร ขนาดกำลังผลิต 200 กิโลวัตต์ ซึ่งเป็นระบบที่เชื่อมต่อกับโครงข่ายไฟฟ้า (On-Grid System) และมีระบบกักเก็บพลังงานด้วย แบตเตอรี่ลิเธียม เพื่อประเมินศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าและเปรียบเทียบกับ การจองโดยใช้ซอฟต์แวร์ PVsyst

1.5 คำจำกัดความในการวิจัย

1.5.2 โมโนคริสตัลไลน์เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตจากผลึกซิลิคอนเดี่ยวต่อเนื่อง ส่งผลให้มี ประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานอยู่ในช่วง 17–22% และมีอายุการใช้งานมากกว่า 25 ปี เหมาะ สำหรับพื้นที่จำกัดที่ต้องการกำลังผลิตสูงต่อหน่วยพื้นที่ อย่างไรก็ตาม มีต้นทุนการผลิตสูง และ ประสิทธิภาพอาจลดลงเมื่อทำงานในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูง นิยมใช้ในระบบหลังคา ฟาร์มโซลาร์ เซลล์ และระบบออฟกริดในพื้นที่ห่างไกล

1.5.3 โพลีคริสตัลไลน์ผลิตจากซิลิคอนหลายผลึก ทำให้โครงสร้างผลึกไม่ต่อเนื่อง และ ประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานอยู่ที่ประมาณ 15–18% แม้มีประสิทธิภาพต่ำกว่าโมโนคริสตัลไลน์ แต่มีข้อได้เปรียบด้านต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่าและกระบวนการผลิตที่ง่ายกว่า จึงเหมาะสำหรับการใช้งาน ที่ต้องการความคุ้มค่า อย่างไรก็ตาม เซลล์ชนิดนี้มีความไวต่ออุณหภูมิสูงและอัตราการเสื่อมสภาพที่ต้อง พิจารณาในการใช้งานระยะยาว

1.5.4 ปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิก (Photovoltaic Effect) เป็นกระบวนการทางฟิสิกส์ที่ แสงซึ่งประกอบด้วยโฟตอนสามารถกระตุ้นให้อิเล็กตรอนในวัสดุเซมิคอนดักเตอร์ เช่น ซิลิคอน เคลื่อนที่ และก่อให้เกิดกระแสไฟฟ้าได้โดยตรง ปรากฏการณ์นี้เป็นพื้นฐานสำคัญของการผลิตพลังงานไฟฟ้าจาก เซลล์แสงอาทิตย์

1.5.5 การถ่ายเทความร้อนคือกระบวนการที่พลังงานความร้อนเคลื่อนย้ายจากจุดที่มี อุณหภูมิสูงไปยังจุดที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยสามารถเกิดขึ้นได้ในสามลักษณะสำคัญ ได้แก่ การนำความร้อน (conduction) ซึ่งเป็นการถ่ายเทผ่านเนื้อวัสดุโดยตรง การพาความร้อน (convection) ที่เกิดจาก การเคลื่อนที่ของของเหลวหรือก๊าซ และการแผ่รังสีความร้อน (radiation) ซึ่งเป็นการส่งผ่านพลังงานใน รูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยไม่ต้องอาศัยตัวกลางนำพา

1.5.6 การนำความร้อนคือกระบวนการที่พลังงานความร้อนถูกส่งผ่านจากอนุภาคหนึ่งไปยัง อนุภาคหนึ่งภายในเนื้อวัสดุ ผ่านการชนกันหรือการสั่นสะเทือนของอนุภาค โดยไม่จำเป็นต้องมีการ เคลื่อนย้ายของตัววัสดุเอง การถ่ายเทลักษณะนี้มักเกิดขึ้นอย่างเด่นชัดในของแข็ง โดยเฉพาะวัสดุที่มี โครงสร้างอะตอมชิดกัน ซึ่งช่วยให้พลังงานสามารถแพร่กระจายจากบริเวณที่ร้อนกว่าไปยังส่วนที่เย็น กว่าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.5.7 การพาความร้อน คือ ระบบการถ่ายเทความร้อนที่ผ่านการเคลื่อนที่ของสารตัวกลางที่เป็นของไหลเช่นผาอากาศและน้ำที่ต้องมีการเคลื่อนที่ โดยของไหลที่ร้อนกว่า (มีอุณหภูมิสูง) จะเคลื่อนที่ขึ้นด้านบน และของไหลที่เย็นกว่า (มีอุณหภูมิต่ำ) จะเคลื่อนที่ลงด้านล่าง สร้างการหมุนเวียนที่นำพาความร้อนจากบริเวณหนึ่งไปยังอีกบริเวณหนึ่ง การพาความร้อนเกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของความหนาแน่นและอุณหภูมิในของไหล ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ตามธรรมชาติหรือถูกบังคับด้วยแรงภายนอก

1.5.8 การแผ่รังสีความร้อนคือการถ่ายเทพลังงานความร้อนที่มีอุณหภูมิที่ค่อนข้างสูงมาก จึงจะมีผลในรูปแบบของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งมีความพิเศษคือไม่ต้องอาศัยตัวกลาง เช่น พลังงานจากดวงอาทิตย์ที่เดินทางผ่านสุญญากาศมายังโลก ซึ่งสามารถถูกดูดซับ สะท้อน หรือทะลุผ่านวัสดุต่าง ๆ ได้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเฉพาะของพื้นผิวนั้น เช่น สี ความมันวาว และความโปร่งใส

1.6 กรอบแนวคิดของการวิจัย

1.6.1 ศักยภาพภาพของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ โดยการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ 3 พื้นที่ ได้แก่ 1) การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นดิน ที่ตำบลคลองสี่ อำเภอลองหลวง จังหวัดปทุมธานี ขนาดกำลังผลิต 4.86 กิโลวัตต์ ที่ระดับความสูง 1, 1.5 และ 2 เมตร จากพื้นดิน 2) การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารจอตรรถร้านค้าเพื่อเมซอน สาขาข้างมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ขนาดกำลังผลิต 10 กิโลวัตต์ ที่ระดับความสูง 2.5, 3 และ 3.5 เมตร จากพื้นดิน และ 3) การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารตลาดวงศกร ขนาดกำลังผลิต 200 กิโลวัตต์ ซึ่งเป็นระบบที่เชื่อมต่อกับโครงข่ายไฟฟ้า (On-Grid System) และมีระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ลิเทียม

1.6.2 ศึกษาผลกระทบของระดับความสูงของเซลล์แสงอาทิตย์ต่ออุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์

1.6.3 ใช้ซอฟต์แวร์ PVsyst จำลองสมรรถนะการผลิตไฟฟ้าของการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละพื้นที่

1.6.4 ประเมินค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในระดับความสูงที่แตกต่างกัน

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 ทราบศักยภาพของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในแต่ละพื้นที่

1.7.2 ตระหนักถึงอิทธิพลของระดับความสูงในการติดตั้งที่มีต่ออุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้า

1.7.3 สามารถกำหนดความสูงที่เหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ เพื่อให้ได้ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตสูงสุดควบคู่กับต้นทุนโครงสร้างที่ไม่สูงเกินไป ซึ่งส่งผลให้การลงทุนในระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์มีความคุ้มค่าสูงสุดทั้งในด้านประสิทธิภาพและเศรษฐศาสตร์การลงทุน

1.7.4 สามารถนำไปประยุกต์เป็นองค์ความรู้ด้านพลังงานทดแทน และใช้เป็นแนวทางต้นแบบในการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานอย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การผลิตไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์

2.1.1 หลักการทำงานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic)

โซลาร์เซลล์หรือระบบเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าทำงานโดยแปลงพลังงานจากแสงอาทิตย์ให้เป็นไฟฟ้าโดยตรง อาศัยหลักการที่เรียกว่า "โฟโตโวลตาอิกเอฟเฟกต์ (Photovoltaic Effect)" ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อวัสดุกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิคอน (Si), แกลเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs) หรือเพอร์รอฟสไกต์ (Perovskite) ดูดกลืนโฟตอนจากแสงที่มีพลังงานมากกว่าค่าแบนด์แก๊ปของวัสดุนั้น ทำให้อิเล็กตรอนในแถบเวเลนซ์ได้รับพลังงานเพียงพอที่จะกระโดดขึ้นไปยังแถบนำไฟฟ้า ส่งผลให้เกิดคู่ประจุอิสระ หรือที่เรียกว่า "อิเล็กตรอน-โฮลแพร์" ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของการผลิตกระแสไฟฟ้าในเซลล์แสงอาทิตย์ [9]

การสร้างสนามไฟฟ้าภายในสารกึ่งตัวนำชนิดพี-เอ็น (p-n junction) ซึ่งเป็นผลจากการเติมสารเจือปน (Doping) จะช่วยแยกประจุทั้งสองชนิดให้ออกจากกัน โดยอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปยังวัสดุชนิดเอ็น (N-type) และโฮลเคลื่อนที่ไปยังวัสดุชนิดพี (P-type) ส่งผลให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นบริเวณรอยต่อ และเมื่อวงจรไฟฟ้าภายนอกครบวงจร จะเกิดกระแสไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current; DC) ไหลไปยังโหลดไฟฟ้าที่ต่ออยู่ [10]

2.1.2 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมใช้งานในปัจจุบัน สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทหลัก ได้แก่

2.1.2.1 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิคอน (Crystalline Silicon Solar Cells)

เซลล์ซิลิคอนแบ่งได้เป็น 2 ประเภทหลักคือ 1. โมโนคริสตัลไลน์ (Monocrystalline Silicon; Mono-Si) และ 2. โพลีคริสตัลไลน์ (Polycrystalline Silicon; Poly-Si) โดยชนิดโมโนคริสตัลไลน์ผลิตจากผลึกเดี่ยวบริสุทธิ์ ทำให้มีประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานสูงกว่าชนิดโพลีคริสตัลไลน์ที่มีหลายผลึกรวมกัน แต่ชนิดโพลีคริสตัลไลน์มีต้นทุนการผลิตต่ำกว่า [11]

2.1.2.2 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง (Thin-Film Solar Cells)

เซลล์ฟิล์มบางผลิตโดยการเคลือบชั้นสารกึ่งตัวนำบาง ๆ ลงบนพื้นผิว เช่น แก้ว พลาสติก หรือโลหะ โดยทั่วไปมีขนาดย่อยที่นิยม ได้แก่ อะมอร์ฟัสซิลิคอน (a-Si), แคดเมียมเทลลูไรด์ (CdTe), และ คอปเปอร์อินเดียมแกลเลียมซีลีไนด์ (CIGS) ซึ่งมีข้อดีคือน้ำหนักเบาและสามารถผลิตเป็นแผ่นยืดหยุ่นได้ แต่มีประสิทธิภาพต่ำกว่าเซลล์ซิลิคอน [12]

2.1.2.3 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดใหม่ (Emerging PV Technologies)

เทคโนโลยีเกิดใหม่ เช่น เซลล์เพอร์อฟสไกต์ (Perovskite Solar Cells), เซลล์ชนิดสีย้อมไวแสง (Dye-Sensitized Solar Cells; DSSC), และเซลล์อินทรีย์ (Organic Photovoltaic; OPV) ซึ่งมีประสิทธิภาพสูง (มากกว่า 25% ในห้องปฏิบัติการ) และผลิตด้วยต้นทุนต่ำ แต่ยังมีข้อจำกัดด้านความเสถียรและความทนทานในการใช้งานจริง [13]

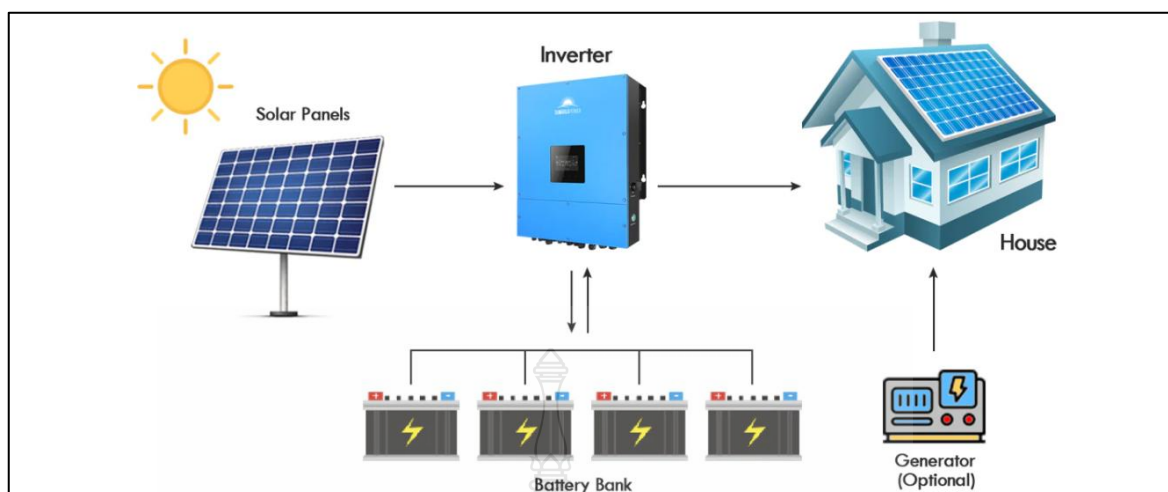
2.1.3 การพัฒนาเทคโนโลยีของโซลาร์เซลล์หรือระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบัน

เทคโนโลยีในปัจจุบันมุ่งเน้นการยกระดับประสิทธิภาพควบคู่กับการลดต้นทุนผ่านนวัตกรรมกระบวนการผลิตที่ทันสมัย เช่น การพัฒนาเซลล์ซิลิคอนรุ่นใหม่อย่าง PERC, TOPCon, HJT และเซลล์แบบแทนเดม (Tandem Solar Cells) ซึ่งสามารถให้ประสิทธิภาพการแปลงพลังงานได้มากกว่า 30% [13] อีกทั้งยังมีการต่อยอดด้วยการใช้เซลล์สองหน้า (Bifacial Solar Cells) และการติดตั้งร่วมกับระบบติดตามดวงอาทิตย์ (Solar Tracking Systems) เพื่อเพิ่มปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแสงอาทิตย์ในแต่ละวันให้สูงขึ้น [14]

2.1.4 ประเภทการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์

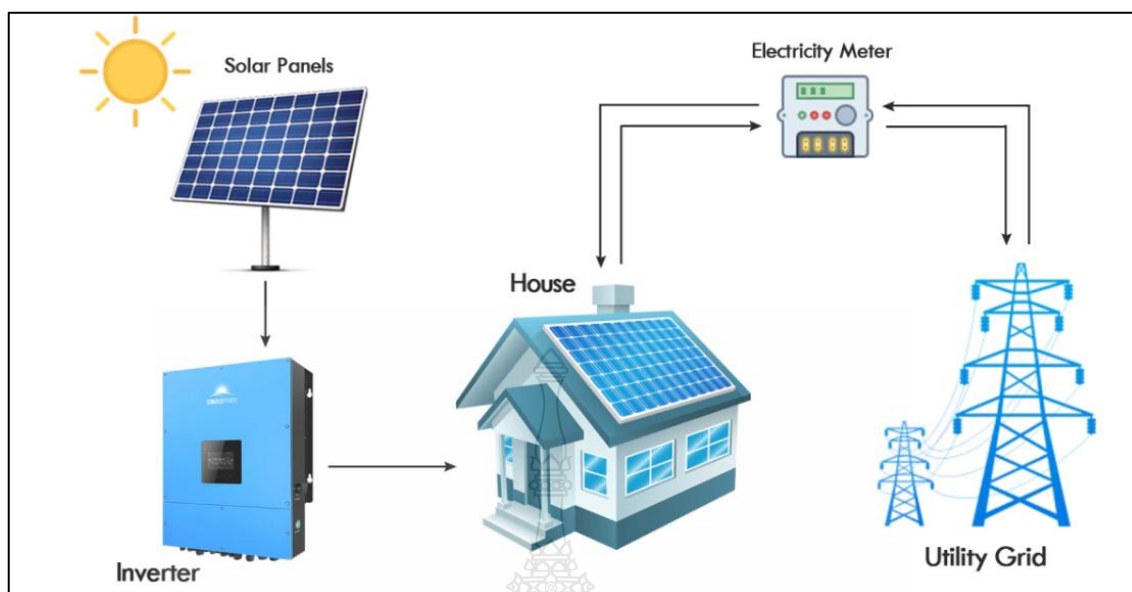
การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์แบ่งได้เป็น 3 แบบคือ 1. การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (ออฟกริด) 2. การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมสายส่ง (ออนกริด) และ 3. การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมทั้งสองแบบ (ไฮบริด) ซึ่งแต่ละแบบมีลักษณะเฉพาะตามเงื่อนไขของผู้ใช้และพื้นที่ติดตั้ง [15]

2.1.4.1 การติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบออฟกริด (Off-grid) เป็นทางเลือกสำหรับพื้นที่ที่ไม่สามารถเข้าถึงโครงข่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้า โดยระบบนี้ประกอบด้วยองค์ประกอบหลักได้แก่ แผงโซลาร์เซลล์ (Solar PV), ชุดบริหารการเติมพลังงานหรือชุดชาร์จ (Charge Controller), แบตเตอรี่สำหรับเก็บพลังงาน และอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ในเวลากลางวัน แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะรับพลังงานจากแสงอาทิตย์และเปลี่ยนเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ซึ่งจะส่งผ่านไปยังชุดควบคุมการชาร์จเพื่อจ่ายพลังงานให้กับโหลดและชาร์จพลังงานส่วนเกินเข้าสู่แบตเตอรี่พร้อมกัน อินเวอร์เตอร์มีหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) เพื่อให้เครื่องใช้ไฟฟ้าสามารถใช้งานได้ตามปกติ เมื่อไม่มีแสงอาทิตย์ เช่นในเวลากลางคืนหรือวันที่มีเมฆมาก ระบบจะดึงพลังงานที่สะสมไว้ในแบตเตอรี่มาใช้งานแทน หากความต้องการไฟฟ้าไม่สูง ระบบประเภทนี้สามารถทำงานได้อย่างอิสระโดยไม่ต้องพึ่งพาไฟฟ้าจากภายนอก



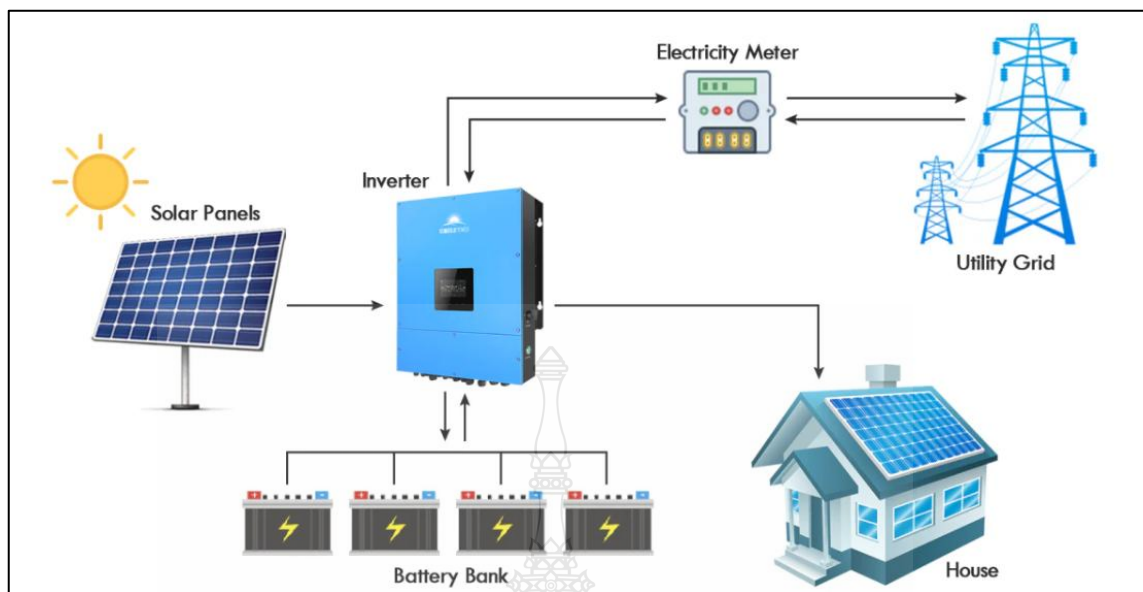
รูปที่ 2.1 การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (ออฟกริด) [16]

2.1.4.2 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อสายส่ง (On-grid) ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.2 เป็นระบบที่สามารถส่งพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้กลับเข้าสู่เครือข่ายจำหน่ายของการไฟฟ้า โดยไม่จำเป็นต้องมีแบตเตอรี่เก็บพลังงาน ระบบนี้ใช้ Grid Connected Inverter ซึ่งทำหน้าที่แปลงพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่สามารถใช้งานได้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในอาคาร ในตอนไม่มีแสงแดดหรือแดดไม่เพียงพอ แผงเซลล์จะผลิตไฟฟ้าให้กับโหลดโดยตรง และหากมีไฟฟ้าส่วนเกิน ระบบจะส่งพลังงานนั้นเข้าสู่โครงข่ายของการไฟฟ้า ส่วนในช่วงเวลากลางคืนหรือเมื่อแสงไม่เพียงพอ ระบบจะดึงไฟฟ้าจากสายส่งหลักมาใช้งานแทน ระบบประเภทนี้เหมาะสำหรับพื้นที่ที่มีโครงข่ายไฟฟ้าเข้าถึง เช่น ในเขตเมือง อาคารสำนักงาน โรงงานอุตสาหกรรม หรือที่พักอาศัย โดยสามารถใช้ร่วมกับมาตรการภาครัฐเพื่อส่งเสริมการใช้พลังงานหมุนเวียน ซึ่งมักมีการติดตั้งมิเตอร์ไฟฟ้าแยก 2 ชุด เพื่อวัดพลังงานที่ซื้อและพลังงานที่ขายให้กับการไฟฟ้า ช่วยให้สามารถบริหารจัดการพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและโปร่งใส



รูปที่ 2.2 การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมสายส่ง (ออนกริด) [16]

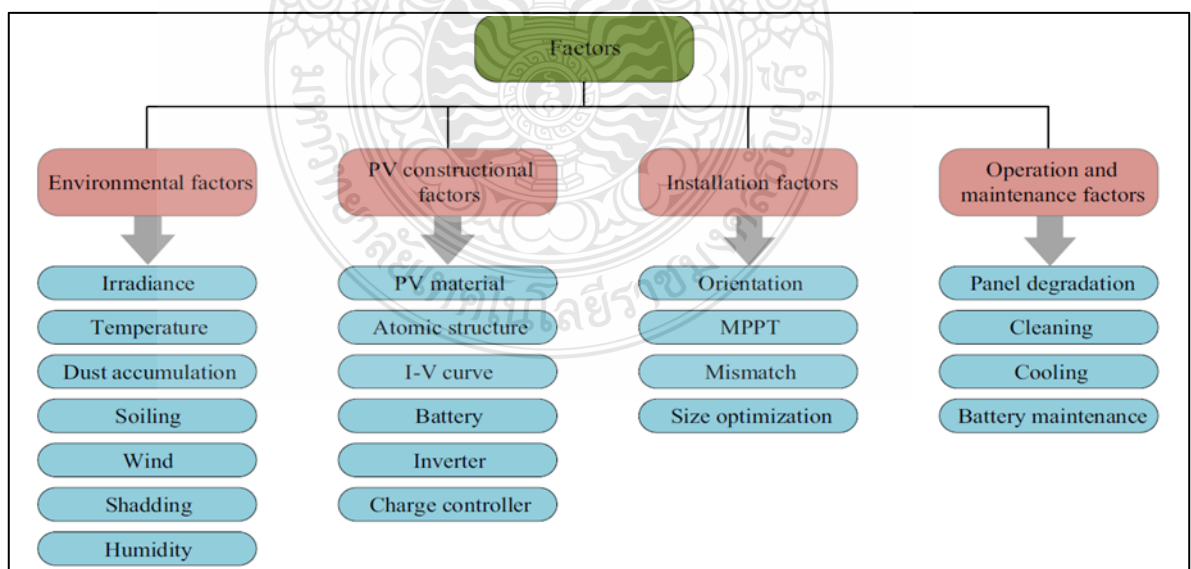
2.1.4.3 การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน (Hybrid System) ดังแสดงในรูปที่ 2.3 เป็นการรวมแหล่งพลังงานหมุนเวียนจากหลายประเภทเข้าด้วยกัน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม หรือพลังงานน้ำ และในบางกรณีอาจรวมถึงการเสริมด้วยเครื่องปั่นไฟดีเซล ทั้งนี้ รูปแบบของระบบจะถูกออกแบบให้ถูกต้องตามหลักวิศวกรรมกับพื้นที่และวัตถุประสงค์ในการใช้งาน สำหรับตัวอย่างที่ปรากฏในภาพ ระบบประกอบด้วยเซลล์แสงอาทิตย์และกังหันลม ซึ่งทำงานสอดคล้องกับช่วงเวลาที่แต่ละแหล่งพลังงานสามารถผลิตไฟฟ้าได้ โดยในช่วงกลางวันระบบทำงานรับแสงอาทิตย์มาผลิตไฟฟ้าและผลิตกระแสไฟฟ้า ในขณะที่กังหันลมจะผลิตพลังงานเพิ่มเติมเมื่อมีลมแรง ทั้งสองแหล่งพลังงานจะจ่ายไฟผ่านอินเวอร์เตอร์ร่วมกันเพื่อจ่ายให้กับโหลด หากมีพลังงานเหลือ ระบบจะจัดเก็บไว้ในแบตเตอรี่เพื่อใช้ในช่วงเวลาที่พลังงานหลักไม่สามารถผลิตได้ เช่น ช่วงเวลากลางคืนหรือวันที่ไม่มีแสงแดดและลมสงบ ด้วยคุณสมบัติที่สามารถปรับตัวได้ตามสภาพแวดล้อม ระบบไฮบริดจึงเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับพื้นที่ที่มีความหลากหลายของแหล่งพลังงาน หรือมีความผันผวนของทรัพยากรพลังงานในช่วงเวลาต่าง ๆ ทำให้สามารถจ่ายไฟได้อย่างต่อเนื่องและมีเสถียรภาพมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 2.3 การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมทั้งสองแบบ (ไฮบริด) [16]

2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

เนื่องจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มักติดตั้งในตำแหน่งที่รับแสงอาทิตย์โดยตรง ประสิทธิภาพในการทำงานจึงขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น สภาพแวดล้อมโดยรอบอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้แสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ [5]

2.2.1 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Factors)

2.2.1.1 ความเข้มของรังสีจากดวงอาทิตย์ (Irradiance) คือ พลังงานจากแสงที่ตกลงบนผิวหน้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ในระยะเวลาหนึ่ง โดยทั่วไปแล้ว หากค่าความเข้มแสงสูง ระบบจะสามารถผลิตไฟฟ้าได้มากขึ้นตามไปด้วย อย่างไรก็ตาม ในสภาพอากาศที่มีเมฆหนาหรือทัศนวิสัยไม่ดี ค่าความเข้มแสงจะลดลง ซึ่งส่งผลให้ปริมาณรังสีที่แผงได้รับลดน้อยลง และมีผลกระทบโดยตรงต่อประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์

2.2.1.2 อุณหภูมิ (Temperature) ถือเป็นหนึ่งในปัจจัยหลักที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเมื่ออุณหภูมิของแผงเพิ่มสูงขึ้น สมรรถนะในการผลิตไฟฟ้าจะลดลง เนื่องจากความร้อนทำให้พลังงานแถบต้องห้าม (Bandgap) ของวัสดุกึ่งตัวนำลดต่ำลง ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการแปลงแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า ดังนั้น การควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมจึงเป็นกลยุทธ์สำคัญในการคงประสิทธิภาพและเสถียรภาพของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในระยะยาว

2.2.1.3 การสะสมของฝุ่น (Dust Accumulation) บนผิวเซลล์แสงอาทิตย์ส่งผลให้ปริมาณแสงที่เข้าสู่วัสดุเซมิคอนดักเตอร์ลดลงโดยตรง ซึ่งส่งผลต่อการลดลงของประสิทธิภาพการผลิตพลังงาน โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีฝุ่นละอองมากและมีฝนน้อย ซึ่งไม่สามารถชะล้างฝุ่นได้ตามธรรมชาติ การทำความสะอาดแผงอย่างสม่ำเสมอจึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อคงสมรรถนะของระบบในระยะยาว

2.2.1.4 ความสกปรก (Soiling) จากการสะสมของฝุ่นละออง คราบดิน และสิ่งปนเปื้อนอื่นบนผิวแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นปัจจัยที่ลดปริมาณแสงที่เข้าสู่เซลล์ ส่งผลให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูง ซึ่งเอื้อต่อการเกาะตัวของฝุ่นและคราบสกปรกมากยิ่งขึ้น การบำรุงรักษาและทำความสะอาดแผงอย่างสม่ำเสมอจึงเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อรักษาความเสถียรของระบบและลดการสูญเสียพลังงานจากปัจจัยสิ่งแวดล้อมดังกล่าว

2.2.1.5 การบังเงา (Shading) จากสิ่งกีดขวาง เช่น สิ่งปลูกสร้าง ต้นไม้ หรือวัตถุอื่นที่อยู่ใกล้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ส่งผลให้ปริมาณแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนผิวแผงลดลงโดยตรง ซึ่งนำไปสู่การลดลงของประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้า เพื่อให้ระบบเซลล์แสงอาทิตย์สามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ จึงควรติดตั้งในพื้นที่ที่ปราศจากเงาบังและได้รับแสงอาทิตย์อย่างต่อเนื่องตลอดช่วงเวลาการผลิตพลังงาน

2.2.1.6 ความชื้นในอากาศ (Humidity) เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่อาจส่งผลกระทบต่อระบบและการผลิตไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์ โดยละอองน้ำหรือหยดน้ำที่เกาะบนพื้นผิวแผงสามารถทำให้เกิดรังสีจากดวงอาทิตย์เกิดการสะท้อนหรือหักเห ส่งผลให้ปริมาณแสงที่แผงรับได้ลดลง นอกจากนี้ การสะสมของความชื้นในระยะยาวยังอาจเร่งการเสื่อมสภาพหรือการกัดกร่อนของวัสดุภายในเซลล์

แสงอาทิตย์ได้ ซึ่งเป็นสาเหตุให้ประสิทธิภาพของระบบลดลงเมื่อใช้งานต่อเนื่อง ดังนั้น การจัดการสภาพแวดล้อมอย่างเหมาะสม รวมถึงการเลือกใช้วัสดุป้องกันความชื้นที่มีคุณภาพ จึงมีบทบาทสำคัญต่อความเสถียรและอายุการใช้งานของระบบผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในระยะยาว

2.2.2 ปัจจัยด้านการก่อสร้างของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (PV constructional factors)

2.2.2.1 วัสดุใช้ในการผลิตเซลล์ (PV Material) กล่าวคือ ชนิดของวัสดุที่ใช้ในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ (PV Material) เป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดทั้งประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานแสงเป็นไฟฟ้า รวมถึงความทนทานและอายุการใช้งานของแผง โดยวัสดุแต่ละประเภท เช่น ซิลิคอนชนิดผลึกเดี่ยว (Monocrystalline Silicon), ซิลิคอนชนิดผลึกหลายแกน (Polycrystalline Silicon) และวัสดุฟิล์มบาง (Thin Film) มีคุณสมบัติเฉพาะที่แตกต่างกัน ทั้งในด้านประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า ต้นทุน และความเหมาะสมในการใช้งานในแต่ละสภาพแวดล้อม

2.2.2.2 โครงสร้างอะตอม (Atomic Structure) ของวัสดุเซลล์แสงอาทิตย์ส่งผลต่อการเกิดพลังงานแถบช่องว่าง (Bandgap) ซึ่งมีผลโดยตรงต่อการดูดซับแสงและการผลิตกระแสไฟฟ้า โครงสร้างที่สามารถกักเก็บพลังงานแสงได้ดีจะส่งผลให้เซลล์แสงอาทิตย์สามารถแปลงพลังงานแสงเป็นไฟฟ้าได้มากขึ้น

2.2.2.3 กราฟ I-V (I-V Curve) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า (Current, I) และแรงดันไฟฟ้า (Voltage, V) ของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยจุดกำลังสูงสุด (Maximum Power Point, MPP) บนกราฟนี้คือตำแหน่งที่แผงสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงสุด กราฟนี้มีความสำคัญในการออกแบบระบบเพื่อให้สามารถติดตามจุดกำลังสูงสุดได้ ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์

2.2.2.4 แบตเตอรี่ (Battery) ในระบบผลิตไฟฟ้าด้วยโซลาร์เซลล์ทำหน้าที่สำรองพลังงานที่ผลิตได้ในช่วงที่มีแสงแดดเพียงพอ เพื่อให้สามารถนำมาใช้งานในช่วงเวลาที่แสงอาทิตย์น้อยหรือไม่มีเลย เช่น ในเวลากลางคืน ความสามารถในการจุประจุไฟฟ้าและประสิทธิภาพของแบตเตอรี่มีผลโดยตรงต่อความต่อเนื่องในการจ่ายพลังงานของระบบ โดยการเลือกใช้แบตเตอรี่ที่มีคุณภาพสูงและอายุการใช้งานยาวนาน จะช่วยเสริมความมั่นคงและประสิทธิภาพของระบบพลังงานแสงอาทิตย์โดยรวม

2.2.2.5 อินเวอร์เตอร์ (Inverter) เป็นอุปกรณ์สำคัญในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำหน้าที่แปลงกระแสไฟฟ้าจากแบบกระแสตรง (DC) ซึ่งได้จากแผงโซลาร์เซลล์ ให้เป็นไฟฟ้าที่มีสถานะเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) เพื่อสามารถใช้งานร่วมกับของใช้ไฟฟ้าทั่วไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์มีผลโดยตรงต่อปริมาณพลังงานที่สูญเสียระหว่างกระบวนการแปลงไฟฟ้า ดังนั้น การเลือกใช้อินเวอร์เตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงและได้มาตรฐานจึงมีบทบาทสำคัญในการลดความสูญเสียและเพิ่มสมรรถนะของระบบพลังงานแสงอาทิตย์โดยรวม

2.2.2.6 ตัวควบคุมการชาร์จ (Charge Controller) มีหน้าที่ป้องกันการชาร์จไฟเกิน หรือการปล่อยประจุเกินในแบตเตอรี่ ช่วยยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่และรักษาประสิทธิภาพในการกักเก็บพลังงาน ตัวควบคุมการชาร์จที่มีระบบ MPPT (Maximum Power Point Tracking) จะช่วยให้เซลล์แสงอาทิตย์ทำงานที่จุดกำลังสูงสุดตลอดเวลา ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้า

2.2.3 ปัจจัยด้านการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Installation factors)

2.2.3.1 ทิศทางการติดตั้ง (Orientation) คือการกำหนดตำแหน่งและทิศทางของแผงโซลาร์เซลล์ให้เหมาะสมกับการรับแสงจากดวงอาทิตย์ ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพในการผลิตพลังงาน โดยทั่วไปในพื้นที่ซีกโลกเหนือควรหันแผงไปทางทิศใต้ ส่วนในซีกโลกใต้ควรหันไปทางทิศเหนือ เพื่อให้แผงรับแสงได้มากที่สุดตลอดทั้งวัน นอกจากนี้ การปรับมุมเอียงของแผงให้สอดคล้องกับค่าละติจูดของพื้นที่ติดตั้ง ยังช่วยเพิ่มความสามารถในการรับพลังงานแสงอาทิตย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

2.2.3.2 ระบบติดตามจุดกำลังสูงสุด (Maximum Power Point Tracking – MPPT) เป็นเทคโนโลยีที่ออกแบบมาเพื่อค้นหาจุดที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานได้สูงสุดภายใต้สภาวะแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา เช่น การเปลี่ยนของระดับแสงหรืออุณหภูมิ การติดตั้ง MPPT ไว้ในอุปกรณ์อย่างอินเวอร์เตอร์หรือชุดควบคุมการชาร์จ จะช่วยให้ระบบสามารถปรับการทำงานให้ตรงกับจุดที่ให้กำลังไฟฟ้ามากที่สุดอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้สามารถใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดในทุกช่วงเวลา

2.2.3.3 การจับคู่แผง (Mismatch) หมายถึงกระบวนการเลือกแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีคุณสมบัติด้านไฟฟ้าใกล้เคียงกันเพื่อนำมาติดตั้งร่วมกันในระบบเดียว โดยแต่ละแผงอาจมีค่ากำลังหรือประสิทธิภาพที่แตกต่างกันเล็กน้อยจากกระบวนการผลิต หากนำแผงที่มีคุณลักษณะแตกต่างกันมากมาใช้งานร่วมกัน อาจทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานเนื่องจากความไม่สอดคล้องกันของกระแสหรือแรงดันไฟฟ้า ดังนั้น การเลือกแผงที่มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าใกล้เคียงกันจะช่วยลดการสูญเสียพลังงานและส่งเสริมให้ระบบผลิตไฟฟ้าทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

2.2.3.4 การปรับขนาดระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ให้สอดคล้องกับความต้องการพลังงานของผู้ใช้งาน (Size Optimization) ถือเป็นปัจจัยสำคัญต่อทั้งประสิทธิภาพและคุ้มค่าของระบบ หากระบบมีขนาดเล็กเกินไป อาจไม่สามารถรองรับการใช้งานได้เพียงพอ ขณะที่ระบบที่มีขนาดใหญ่เกินความจำเป็นจะส่งผลให้ต้นทุนการลงทุนเพิ่มขึ้นโดยไม่ก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด ดังนั้น การออกแบบขนาดระบบให้เหมาะสมจะช่วยให้เกิดการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ และรองรับความต้องการพลังงานได้อย่างเหมาะสมในระยะยาว

2.2.4 ปัจจัยด้านการเดินระบบและการซ่อมบำรุง (Operation and Maintenance factors)

2.2.4.1 การเสื่อมสภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ (Panel Degradation) เป็นไปตามระยะเวลาการทำงาน โดยประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าจะลดลงเมื่อเวลาผ่านไป ปัจจัยที่ทำให้แผงเสื่อมสภาพเร็วยิ่งขึ้น ได้แก่ อุณหภูมิสูง ความชื้น การสัมผัสกับแสงแดดโดยตรง และการกระแทกทางกล การเสื่อมสภาพนี้อาจทำให้ประสิทธิภาพของแผงลดลงจนถึงจุดที่ต้องทำการเปลี่ยนแผงใหม่เพื่อลดผลกระทบต่อการผลิตพลังงาน

2.2.4.2 การทำความสะอาด (Cleaning) ฝุ่นละอองและคราบสกปรกที่สะสมบนพื้นผิวเซลล์แสงอาทิตย์จะลดปริมาณแสงที่สามารถเข้าสู่เซลล์ ทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานลดลง การทำความสะอาดแผงอย่างสม่ำเสมอเป็นวิธีที่สำคัญในการรักษาประสิทธิภาพของแผงให้สูงสุด โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีฝุ่นมากหรือในฤดูแล้งที่ไม่มีฝนตกชะล้างฝุ่นออกจากแผง การทำความสะอาดที่เหมาะสมจะช่วยเพิ่มการผลิตพลังงานและยืดอายุการใช้งานของแผง

2.2.4.3 การระบายความร้อน (Cooling) เป็นกระบวนการที่ช่วยลดอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งมีความสำคัญอย่างมากต่อการรักษาประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้า เนื่องจากความร้อนที่สะสมอยู่บนแผงสามารถส่งผลให้พลังงานแถบต้องห้าม (Bandgap) ของวัสดุกึ่งตัวนำลดลง จึงทำให้ประสิทธิภาพการแปลงพลังงานแสงเป็นไฟฟ้าลดลง การติดตั้งระบบระบายความร้อน ไม่ว่าจะเป็นแบบใช้อากาศหรือการใช้น้ำช่วยหล่อเย็นแผง จะช่วยลดอุณหภูมิสะสมบนพื้นผิวแผงและเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของระบบได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีอุณหภูมิสูงตลอดทั้งวัน

2.2.4.4 การบำรุงรักษาแบตเตอรี่ (Battery Maintenance) อย่างเหมาะสมเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อให้ระบบสามารถสำรองและจ่ายพลังงานได้อย่างเสถียร การบำรุงรักษาแบตเตอรี่ควรรวมถึงการตรวจสอบสถานะการชาร์จอย่างสม่ำเสมอ การป้องกันไม่ให้เกิดการชาร์จไฟเกินหรือปล่อยประจุจนต่ำเกินไป รวมถึงการควบคุมอุณหภูมิให้คงอยู่ในช่วงที่เหมาะสม การดูแลอย่างถูกวิธีจะช่วยยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ พร้อมทั้งรักษาประสิทธิภาพในการจัดเก็บพลังงานให้คงที่ตลอดอายุการใช้งานของระบบ

2.3 ศักยภาพของพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย

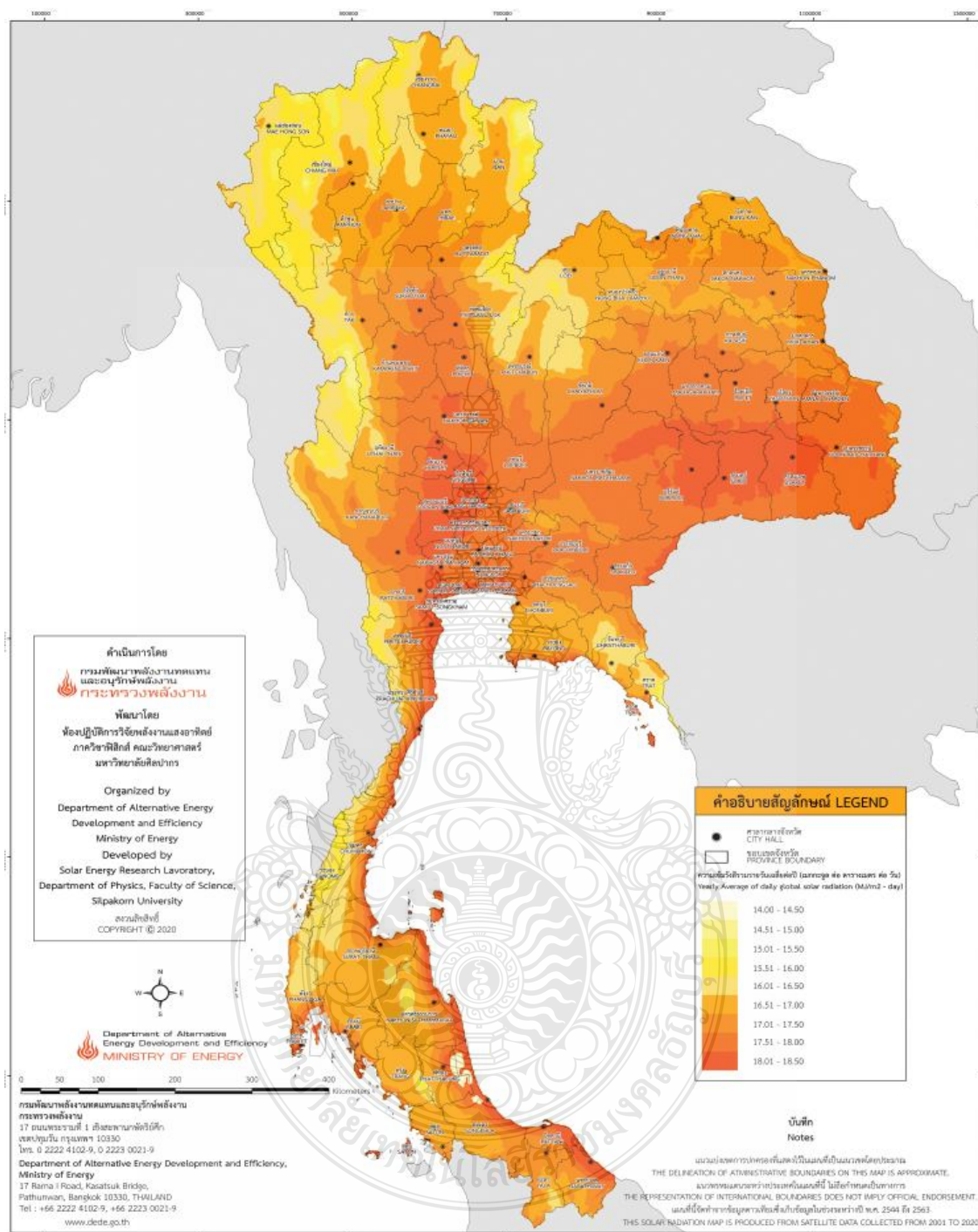
ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อนใกล้เส้นศูนย์สูตร ส่งผลให้ได้รับแสงอาทิตย์อย่างต่อเนื่องตลอดทั้งปี ซึ่งถือเป็นข้อได้เปรียบทางภูมิศาสตร์ที่ส่งเสริมศักยภาพในการพัฒนาระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์อย่างมีประสิทธิภาพ โดยในปี พ.ศ. 2563 ได้มีการจัดทำแผนที่แสดงศักยภาพพลังงาน

แสงอาทิตย์ของประเทศ โดยอ้างอิงจากข้อมูลที่ได้จากดาวเทียม ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ซึ่งถือเป็นเครื่องมือสำคัญสำหรับการกำหนดนโยบายและวางแผนการใช้พลังงานทดแทนในระดับประเทศ

จากข้อมูลในแผนที่ดังกล่าว พบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศมีค่าพลังงานแสงเฉลี่ยประมาณ 19 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน โดยเฉพาะในช่วงเดือนเมษายนถึงพฤษภาคม ค่านี้อาจเพิ่มขึ้นอยู่ที่ประมาณ 20–24 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน โดยบริเวณที่มีปริมาณรังสีเฉลี่ยสูงสุดตลอดทั้งปีคือภาคตะวันออกเฉียงเหนือ รองลงมาคือพื้นที่ในภาคกลาง

อย่างไรก็ตาม ศักยภาพของแสงอาทิตย์ในแต่ละพื้นที่อาจแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับตำแหน่งทางภูมิศาสตร์และปัจจัยด้านบรรยากาศ เช่น เมฆหมอก ฝุ่นละออง และไอน้ำในอากาศ ซึ่งอาจลดทอนปริมาณรังสีที่ตกกระทบผิวโลกได้ นอกจากนี้ ค่าความเข้มของรังสีจากดวงอาทิตย์จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตั้งแต่ช่วงเช้า จนถึงจุดสูงสุดในช่วงกลางวัน และลดลงในช่วงเย็น ลักษณะของการเปลี่ยนแปลงนี้เป็นองค์ประกอบสำคัญที่ควรพิจารณาในการการศึกษา ออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ที่เหมาะสมในแต่ละพื้นที่ เพื่อให้สามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัยและมีการทำงานที่ถูกต้องเหมาะสมตามหลักวิศวกรรมและที่สำคัญคือระบบมีประสิทธิภาพสูงนั่นเอง





รูปที่ 2.5 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทยจากข้อมูลดาวเทียม ปี 2563 [17]

2.4 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน

กระบวนการถ่ายเทความร้อนในแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีบทบาทสำคัญต่อประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าและอายุการใช้งานของระบบ เนื่องจากการลดอุณหภูมิของแผงจะช่วยเพิ่มสมรรถนะในการแปลงพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้า อีกทั้งยังลดความเสี่ยงจากความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นจากความร้อนสะสมที่สูงเกินไป การถ่ายเทความร้อนอย่างมีประสิทธิภาพจึงช่วยให้แผงสามารถทำงานได้อย่างเสถียรและต่อเนื่อง กระบวนการถ่ายเทความร้อนที่เกี่ยวข้องกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์เกิดขึ้นผ่านกลไกหลัก ได้แก่ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสี ในการศึกษานี้ให้ความสำคัญกับกลไกการนำและการพาความร้อนเป็นหลัก เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของแผงในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน

2.4.1 การนำความร้อน (Conduction) ภายในเซลล์แสงอาทิตย์เกิดขึ้นเมื่อแผงรับพลังงานจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์แล้วเกิดความร้อนขึ้นและสะสม ซึ่งที่สำคัญคือความร้อนนี้จะถ่ายเทจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ผ่านโครงสร้างภายในของแผง โดยเฉพาะวัสดุหลักอย่างซิลิคอนและวัสดุโครงสร้างอื่น ๆ ที่เป็นส่วนประกอบของเซลล์กระบวนการนี้มีความสำคัญเนื่องจากการกระจายความร้อนได้อย่างทั่วถึงจะช่วยลดการสะสมของอุณหภูมิในจุดใดจุดหนึ่ง ซึ่งอาจมีผลเสียต่อการทำงานของและประสิทธิภาพของระบบ คุณสมบัติในการนำความร้อนของวัสดุแต่ละชนิดแตกต่างกัน เช่น ซิลิคอนมีค่าการนำความร้อนในระดับปานกลาง ในขณะที่โลหะมีความสามารถในการนำความร้อนสูงกว่า ดังนั้น การออกแบบโครงสร้างของแผงจึงต้องคำนึงถึงความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของวัสดุแต่ละชนิด เพื่อให้ความร้อนภายในกระจายตัวได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดโอกาสเกิดความร้อนสะสมที่ส่งผลต่อสมรรถนะของระบบโดยรวม การถ่ายเทพลังงานผ่านการนำความร้อนสามารถอธิบายได้ด้วยกฎของฟูเรียร์ (Fourier's Law) ซึ่งแสดงไว้ในสมการที่ 2.1 [18]

$$q = -kA \frac{dT}{dx} \quad (2.1)$$

โดยที่ : q คือ อัตราการของการถ่ายเทความร้อน (วัตต์, W)
 k คือ เป็นค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ (วัตต์ต่อเมตร-เคลวิน, W/m·K)
 A คือ พื้นที่หน้าตัดที่ตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของความร้อน (ตารางเมตร, m²)
 $\frac{dT}{dx}$ คือ เกรเดียนต์อุณหภูมิในทิศทางการไหลของความร้อน (เคลวินต่อเมตร, K/m)

2.4.2 การพาความร้อน (Convection) เป็นกระบวนการถ่ายเทความร้อนจากผิวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ออกสู่สิ่งแวดล้อมโดยรอบ ผ่านการเคลื่อนที่ของอากาศ เมื่อแผงเซลล์มีอุณหภูมิสูงขึ้น ความร้อนจะถูกส่งต่อไปยังอากาศที่อยู่โดยรอบ ซึ่งหากมีการเคลื่อนตัวของอากาศ เช่น ลมหรือการไหลเวียนของอากาศ ก็จะช่วยเพิ่มการทำงานในการระบายความร้อนให้ดียิ่งขึ้น กระบวนการนี้สามารถจำแนกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ การพาความร้อนแบบธรรมชาติ (Natural Convection) ซึ่งเกิดขึ้นเองจากความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวแผงกับอากาศ โดยไม่ต้องอาศัยอุปกรณ์เสริม และการพาความร้อนแบบบังคับ (Forced Convection) ที่ใช้ตัวช่วย เช่น พัดลมหรือกระแสลมจากสภาพแวดล้อม เพื่อเร่งการถ่ายเทความร้อนออกจากผิวของแผงให้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากขึ้น ประสิทธิภาพของการพาความร้อนขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ความเร็วลม ความดันอากาศ และขนาดหรือพื้นที่ผิวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ การระบายความร้อนด้วยกลไกนี้มีประสิทธิภาพจะช่วยลดอุณหภูมิสะสมบนแผง ส่งผลให้ระบบสามารถคงประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง และลดโอกาสการเกิดความเสียหายจากความร้อนที่สูงเกินไป การถ่ายเทความร้อนด้วยการพาสามารถอธิบายได้โดยกฎการเย็นตัวของนิวตัน (Newton's Law of Cooling) ซึ่งแสดงในสมการที่ 2.2 [19]

$$q=hA(T_s-T_\infty) \quad (2.2)$$

โดยที่ : q คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน (วัตต์, W)
 h คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (วัตต์ต่อตารางเมตร-เคลวิน, W/m²·K)
 A คือ พื้นที่ผิวที่สัมผัสกับของไหล (ตารางเมตร, m²)
 T_s คือ อุณหภูมิของพื้นผิว (เคลวิน, K)
 T_∞ คือ อุณหภูมิของของไหลที่ห่างจากพื้นผิว (เคลวิน, K)

2.4.3 การแผ่รังสี (Radiation) อธิบายถึงการที่วัตถุทุกชนิดแผ่พลังงานออกมาในรูปของรังสี ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของวัตถุนั้นๆ โดยเฉพาะการแผ่รังสีในช่วงคลื่นอินฟราเรดที่เกิดจากอุณหภูมิสูง การแผ่รังสีของวัตถุสามารถอธิบายได้โดยสมการสเตฟาน-โบลท์ซมันน์ (Stefan-Boltzmann Law) แสดงในสมการที่ 2.3 ซึ่งระบุว่าอัตราการแผ่รังสีของวัตถุขึ้นอยู่กับอุณหภูมิสัมบูรณ์ของวัตถุ [20]

$$E=\sigma T^4 \quad (2.3)$$

โดยที่ : E คือ อัตราการแผ่รังสี (วัตต์, W)

σ คือ ค่าคงที่ Stefane-Boltzmann ($5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$)

T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ (เคลวิน, K)

ในการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ การแผ่รังสีมีบทบาทสำคัญ เนื่องจากเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องทั้งในการรับพลังงานจากแสงอาทิตย์และการสูญเสียพลังงานในรูปของความร้อน โดยเซลล์แสงอาทิตย์ทำหน้าที่แปลงพลังงานจากแสงแดดเป็นพลังงานไฟฟ้า แต่ในขณะเดียวกันก็มีการปลดปล่อยพลังงานส่วนหนึ่งออกในรูปของการแผ่รังสีความร้อน ซึ่งส่งผลให้อุณหภูมิของเซลล์เพิ่มขึ้น การสะสมความร้อนภายในเซลล์จะลดทอนประสิทธิภาพของกระบวนการแปลงพลังงานไฟฟ้า ดังนั้น การจัดการอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์จึงเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการคงประสิทธิภาพการทำงานของระบบให้อยู่ในระดับสูงสุด

2.5 ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า

ประสิทธิภาพ (Efficiency) ของเซลล์แสงอาทิตย์เป็นดัชนีสำคัญที่ใช้ประเมินความสามารถในการแปลงพลังงานจากแสงอาทิตย์ให้กลายเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ค่าความเข้มของแสง (irradiance), อุณหภูมิของแผงเซลล์ และคุณลักษณะของวัสดุกึ่งตัวนำที่ใช้ในกระบวนการแปลงพลังงาน ทั้งนี้ ในการประเมินประสิทธิภาพของระบบ ควรพิจารณาภายใต้สภาพการใช้งานจริง ซึ่งมักจะแตกต่างจากเงื่อนไขมาตรฐาน (Standard Test Conditions: STC) ที่ใช้ในการทดสอบในห้องปฏิบัติการ การวัดประสิทธิภาพในสถานการณ์จริงจึงมีความสำคัญ เพราะสะท้อนสมรรถนะของเซลล์แสงอาทิตย์ในเงื่อนไขคือสภาพแวดล้อมและพฤติกรรมการใช้งานที่เกิดขึ้นจริง โดยสามารถคำนวณหาประสิทธิภาพในการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ (η) ได้จากสมการที่ 2.4 [21]

$$\eta = \frac{P_{dc}}{G \cdot A} \quad (2.4)$$

โดยที่ : η คือ ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ (%)

P_{dc} คือ กำลังไฟฟ้าที่วัดได้ในรูปแบบกระแสตรง (DC) ที่ผลิตจากเซลล์แสงอาทิตย์ (W)

G คือ ความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนผิวเซลล์แสงอาทิตย์ (W/m^2)

A คือ พื้นที่ของเซลล์แสงอาทิตย์ (m^2)

นอกจากการประเมินค่าประสิทธิภาพการทำงานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์โดยตรงแล้ว อีกหนึ่งตัวชี้วัดที่มีความสำคัญในการวิเคราะห์สมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ คือ อัตราส่วนประสิทธิภาพของระบบ หรือ Performance Ratio (PR) ซึ่งแสดงถึงระดับความสามารถของระบบในการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้รับให้เป็นพลังงานไฟฟ้าใช้งานจริง โดยเปรียบเทียบกับผลผลิตที่ควรได้ภายใต้สภาวะมาตรฐาน (Standard Test Conditions: STC) ค่า PR เป็นตัวชี้วัดที่สะท้อนความสูญเสียในระบบจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น การสูญเสียจากอินเวอร์เตอร์ ความร้อน ฝุ่น หรือความไม่สม่ำเสมอของแสง การคำนวณค่า PR สามารถดำเนินการได้โดยใช้สมการที่ 2.5 ถึง 2.7 ซึ่งแสดงกระบวนการประเมินประสิทธิภาพของระบบในภาพรวมภายใต้สภาพการทำงานจริง [22], [23]

$$Y_F = \frac{E_{Grid}}{P_{STC}} \quad (2.5)$$

$$Y_R = \frac{H}{G} \quad (2.6)$$

$$PR = \frac{Y_F}{Y_R} \quad (2.7)$$

- โดยที่ : Y_F คือ ผลผลิตสุดท้าย (Final Yield) ซึ่งหมายถึงปริมาณพลังงานที่ระบบผลิตได้ในสภาวะการทำงานจริง
- E_{Grid} คือ พลังงานสุทธิที่ส่งเข้าสู่กริดหรือระบบไฟฟ้าสาธารณะ (Net Energy Output)
- P_{STC} คือ กำลังไฟฟ้าที่วัดได้ภายใต้เงื่อนไข STC
- Y_R คือ ผลผลิตอ้างอิง (Reference Yield) ซึ่งคำนวณจากอัตราการแผ่รังสีของแสงอาทิตย์ที่ได้รับในพื้นที่
- H คือ การแผ่รังสีทั่วโลกในแนวนอน (Global Horizontal Irradiation)
- G คือ ความเข้มของแสงอาทิตย์ภายใต้เงื่อนไข STC ซึ่งมีค่าเท่ากับ $1,000 \text{ W/m}^2$

2.6 ซอฟต์แวร์ PVsyst

PVsyst เป็นซอฟต์แวร์ที่ออกแบบมาเพื่อจำลองและศึกษาสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าจากการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic Systems) โดยได้รับความนิยมและการยอมรับอย่างกว้างขวางในระดับสากล ทั้งในแวดวงวิชาการและอุตสาหกรรมพลังงานทดแทน ซอฟต์แวร์นี้ใช้

แบบจำลองทางไฟฟ้าประเภทไดโอดเดี่ยว (One-Diode Model) ในการคำนวณพฤติกรรมการทำงานของระบบ ทั้งในด้านกระแสไฟฟ้า แรงดัน และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ PVsyst ยังสามารถนำเข้าข้อมูลสภาพอากาศและรังสีดวงอาทิตย์จากแหล่งข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือ เช่น Meteonorm และ NASA-SSE เพื่อนำมาสร้างข้อมูลการแผ่รังสีในระดับชั่วโมง (Hourly Synthetic Generation) ที่จำเป็นต่อการวิเคราะห์ระบบอย่างละเอียด พร้อมทั้งใช้โมเดล Perez ในการคำนวณรังสีกระจายหรือรังสีทางอ้อม ซึ่งมีผลต่อปริมาณพลังงานรวมที่แผงสามารถรับได้ ฟังก์ชันต่าง ๆ เหล่านี้ช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถออกแบบและประเมินสมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ได้อย่างครอบคลุมและสอดคล้องกับสภาพแวดล้อมการใช้งานจริง [24]

ซอฟต์แวร์ PVsyst สามารถจำลองระบบเซลล์แสงอาทิตย์ได้ทั้งในลักษณะเชื่อมต่อสายส่ง (Grid-connected systems) ระบบอิสระที่ใช้แบตเตอรี่ (Stand-alone/Off-grid systems) รวมถึงระบบสูบน้ำจากพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Pumping Systems) โดยสามารถวิเคราะห์ประสิทธิภาพระบบผ่านค่าการสูญเสียต่าง ๆ ได้แก่ การสูญเสียเนื่องจากอุณหภูมิ ความต้านทานในวงจร การบังแสง (Shading Losses) และการเปื้อนของฝุ่นบนแผงเซลล์ (Soiling Losses) ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์ผ่านแผนภูมิสมดุลพลังงาน (Energy Balance) และแผนภูมิการสูญเสีย (Loss Diagram) อย่างละเอียด [24], [25]

นอกจากนี้ ซอฟต์แวร์ PVsyst ยังมีเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์การบังแสงด้วยแบบจำลองสามมิติ (3D Shading Model) โดยสามารถนำเข้าแบบจำลองสามมิติจากซอฟต์แวร์ภายนอกเช่น AutoCAD หรือ SketchUp เพื่อประเมินผลกระทบของเงา (Shading Effect) ทั้งเงาที่เกิดขึ้นจากรังสีตรง รังสีกระจาย และแสงสะท้อนจากพื้นผิวรอบข้าง [26] พร้อมทั้งให้ผู้ใช้งานสามารถปรับตั้งค่าเงื่อนไขต่าง ๆ เช่น ค่าสัมประสิทธิ์การเปื้อนของฝุ่น (Soiling Factor) แบบรายเดือนได้อย่างละเอียด เพื่อให้ผลการจำลองสะท้อนสภาพจริงได้มากที่สุด [24]

2.6.1 ข้อดีของการใช้งานของซอฟต์แวร์ PVsyst

PVsyst เป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้งานแพร่หลายได้รับความไว้วางใจและถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในงานวิจัยและการวางแผนโครงการด้านพลังงานแสงอาทิตย์ เนื่องจากมีจุดเด่นหลายประการที่เอื้อให้สามารถวิเคราะห์และออกแบบระบบได้อย่างดีและแม่นยำ ทั้งในแง่ของความยืดหยุ่นในการปรับแต่งข้อมูล ความหลากหลายของแบบจำลอง และความสามารถในการประเมินผลกระทบจากปัจจัยต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในสภาพแวดล้อมการใช้งานจริง ดังนี้

2.6.1.1 ความแม่นยำในการทำนายผลผลิตพลังงาน

งานวิจัยหลายฉบับรายงานว่า ซอฟต์แวร์ PVsyst สามารถพยากรณ์ค่าการผลิตไฟฟ้าได้แม่นยำ โดยความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าจำลองกับค่าที่วัดได้จริงโดยทั่วไปอยู่ในช่วง 2-10% ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและการตั้งค่าการจำลอง [25], [27]

2.6.1.2 ความสามารถในการวิเคราะห์ระบบที่หลากหลาย

ซอฟต์แวร์ PVsyst รองรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ทุกประเภท ทั้งระบบต่อกริด ระบบออฟกริด และระบบสูบน้ำ อีกทั้งยังสามารถจำลองระบบที่มีการติดตั้งแบบตามแสงอาทิตย์ (Tracking Systems) และระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์สองหน้า (Bifacial Modules) ซึ่งครอบคลุมความต้องการในการวิจัยและการออกแบบระบบอย่างกว้างขวาง [28]

2.6.1.3 ฐานข้อมูลอุปกรณ์ที่ครอบคลุม

ซอฟต์แวร์ PVsyst มีฐานข้อมูลแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อินเวอร์เตอร์ และอุปกรณ์ต่าง ๆ จากผู้ผลิตจำนวนมาก ซึ่งช่วยให้ผลการจำลองสามารถสะท้อนคุณสมบัติและพฤติกรรมของอุปกรณ์ที่ใช้จริงได้อย่างแม่นยำ [24]

2.6.1.4 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

PVsyst มีฟังก์ชันรองรับการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ โดยสามารถประเมินตัวชี้วัดทางการเงินที่สำคัญ เช่น ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period), มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) และต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยตลอดอายุโครงการ (Levelized Cost of Electricity: LCOE) ซึ่งข้อมูลเหล่านี้มีความสำคัญในการศึกษาความคุ้มค่า และสนับสนุนการตัดสินใจลงทุนหรือวางแผนดำเนินโครงการพลังงานแสงอาทิตย์ได้อย่างมีเหตุผลและรอบคอบ [28]

2.6.2 ข้อจำกัดของซอฟต์แวร์ PVsyst

แม้ PVsyst จะมีข้อดีหลายประการ แต่ก็ยังมีข้อจำกัดที่ควรคำนึงถึง ได้แก่

2.6.2.1 ความคลาดเคลื่อนจากแบบจำลองเงาที่ซับซ้อน

การจำลองระบบที่มีการบังแสงบางส่วน (Partial Shading) ด้วย PVsyst อาจมีความคลาดเคลื่อนจากสถานการณ์จริงได้ถึง 9-24% เนื่องจากข้อจำกัดของการใช้สัมประสิทธิ์การแรเงาแบบสม่ำเสมอ (Uniform Shading Factor) ในบางกรณี [26]

2.6.2.2 ความแม่นยำของข้อมูลอินพุต

ความถูกต้องของผลการจำลองขึ้นอยู่กับคุณภาพของข้อมูลสภาพอากาศที่ใช้ในการจำลองเป็นหลัก หากข้อมูลอินพุตที่ใช้มีความคลาดเคลื่อน ก็จะส่งผลให้ผลการจำลองมีความคลาดเคลื่อนไปด้วย [24]

2.6.2.3 ข้อจำกัดจากสมมติฐานของแบบจำลอง

ซอฟต์แวร์ PVsyst มีข้อจำกัดจากสมมติฐานที่ใช้ในการคำนวณ เช่น การเสื่อมสภาพของแผง (Degradation), ปัญหาความเสียหายเฉพาะจุด (Hotspot) หรือสมมติฐานการเปราะเปื้อนที่เท่ากันตลอดระยะเวลาหนึ่งเดือน ซึ่งอาจไม่สะท้อนเงื่อนไขจริงได้อย่างถูกต้องทั้งหมด [28]

2.6.2.4 ความต้องการความรู้และทักษะของผู้ใช้งาน

การใช้งานซอฟต์แวร์ PVsyst อย่างมีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องอาศัยความรู้ด้านการออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในเชิงลึก รวมถึงความเข้าใจในกระบวนการทำงานของซอฟต์แวร์ เนื่องจากระบบมีการตั้งค่าพารามิเตอร์จำนวนมากที่ต้องปรับแต่งอย่างเหมาะสมและแม่นยำ หากไม่มีพื้นฐานที่เพียงพอ อาจส่งผลให้ผลการจำลองคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงได้ ดังนั้น ผู้ใช้งานควรมีความชำนาญทั้งด้านเทคนิคและการวิเคราะห์ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อให้การประเมินสมรรถนะของระบบสะท้อนข้อมูลการใช้งานจริงได้อย่างถูกต้อง [28]

2.6.3 เหตุผลในการเลือกใช้ PVsyst ในงานวิจัยนี้

งานวิจัยนี้เลือกใช้ซอฟต์แวร์ PVsyst ในการวิเคราะห์ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในแวดวงวิชาการ มีความสามารถในการจำลองผลผลิตพลังงานได้อย่างแม่นยำ พร้อมทั้งมีฟังก์ชันที่ครอบคลุมทั้งด้านเทคนิคและการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ นอกจากนี้ PVsyst ยังเป็นซอฟต์แวร์ที่มีการใช้งานในระดับสากล ช่วยให้สามารถเปรียบเทียบผลลัพธ์กับงานวิจัยอื่นได้อย่างมีมาตรฐาน อีกทั้งยังมีฐานข้อมูลอุปกรณ์ที่หลากหลายและอัปเดตต่อเนื่อง ทำให้งานวิจัยมีความน่าเชื่อถือและมีคุณภาพในเชิงวิชาการมากยิ่งขึ้น [25], [24], [28]

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.7.1 Attyagalle และ Chandrasiri (2017) ได้ดำเนินการศึกษาเพื่อตรวจสอบผลของอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยทำการเปรียบเทียบระบบที่ติดตั้งในสองพื้นที่ที่มีสภาพภูมิอากาศต่างกัน ได้แก่ เมืองโคลัมโบและเมืองฮัมบันโตตา ประเทศศรีลังกา การทดลองประกอบด้วยการวัดพารามิเตอร์ไฟฟ้าที่สำคัญ เช่น กระแสลัดวงจร (Isc), แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (Voc) และกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Pmax) ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า อุณหภูมิที่สูงขึ้นมีผลทำให้ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เพื่อแก้ไขปัญหานี้ นักวิจัยได้พัฒนาระบบระบายความร้อนอัตโนมัติ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO เป็นตัวควบคุมการฉีดพ่นน้ำไปยังผิวหน้าของแผงเซลล์ ซึ่งช่วยลดอุณหภูมิของแผงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้การทำงานดีขึ้นในการผลิตพลังงาน

เพิ่มขึ้นสูงสุดถึง 12% อีกทั้งระบบดังกล่าวยังช่วยทำความสะอาดแผงและมีส่วนช่วยในการยืดอายุการใช้งานของระบบในระยะยาวอีกด้วย [29]

2.7.2 Adeeb, Farhan, และ Al-Salaymeh (2019) ได้ดำเนินการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเปรียบเทียบเซลล์สามประเภท ได้แก่ โพลีคริสตัลไลน์ โมโนคริสตัลไลน์ และฟิล์มบาง ซึ่งติดตั้งในสภาพแวดล้อมเดียวกันที่เมืองอัมมาน ประเทศจอร์แดน โดยทุกระบบถูกออกแบบให้มีลักษณะทางเทคนิคที่เหมือนกัน ผลการศึกษาระบุว่า อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้สมรรถนะของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง โดยเฉพาะเซลล์แบบโพลีคริสตัลไลน์และโมโนคริสตัลไลน์ที่มีความไวต่ออุณหภูมิสูงกว่าฟิล์มบาง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิเท่ากับ -0.124% และ -0.109% ตามลำดับ ขณะที่เซลล์ชนิดฟิล์มบางแสดงความเสถียรมากที่สุดภายใต้สภาพอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์เพียง -0.0984% ซึ่งสะท้อนถึงความสามารถในการรักษาประสิทธิภาพได้ดีกว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น [30]

2.7.3 Zhang และ Xu (2020) ได้ดำเนินการศึกษาผลกระทบจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีต่ออุณหภูมิพื้นผิวโลก โดยอาศัยเทคนิคการสำรวจด้วยระบบอินฟราเรดจากระยะไกลในการวิเคราะห์ข้อมูลจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จำนวน 23 แห่ง ในพื้นที่ต่าง ๆ ทั่วโลก ผลการศึกษาระบุว่า การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์สามารถลดอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันของพื้นผิวโลกลงได้ประมาณ 0.53°C โดยมีผลกระทบที่ชัดเจนมากกว่าในช่วงกลางวัน (0.81°C) เมื่อเปรียบเทียบกับช่วงกลางคืน (0.24°C) นอกจากนี้ยังพบว่าปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ขนาดของโรงไฟฟ้า ตำแหน่งที่ตั้งเชิงภูมิศาสตร์ เช่น ละติจูด ระดับความสูงจากน้ำทะเล สภาพภูมิอากาศ ตลอดจนลักษณะของพืชพรรณบริเวณโดยรอบ มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิพื้นผิว เนื่องจากส่งผลโดยตรงต่อการดูดกลืนและการสะท้อนรังสีความร้อน อีกทั้งยังพบว่า กระบวนการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นกระแสไฟฟ้าโดยตรงนั้น มีบทบาทสำคัญในการลดความร้อนสะสมที่พื้นผิวโลก เนื่องจากพลังงานส่วนที่ถูกแปลงเป็นไฟฟ้าจะไม่ถูกสะสมเป็นความร้อนบนพื้นผิว เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ที่ไม่มีการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ [31]

2.7.4 Ibrahim Nur Atirah และคณะ (2022) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับผลกระทบของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นต่อประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศมาเลเซีย โดยใช้ข้อมูลจากซอฟต์แวร์ ClimateAP ร่วมกับแบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลก เพื่อคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเฉลี่ยรายปีภายใต้สถานการณ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระดับสูง ซึ่งสะท้อนถึงแนวโน้มที่มนุษย์ยังคงพึ่งพาพลังงานฟอสซิลอย่างต่อเนื่อง ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า หากอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้น 1°C จะทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าลดลงราว 0.3–0.5% โดยสาเหตุหลักมาจากแรงดันไฟฟ้าของเซลล์ที่ลดลงตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ และเมื่อพิจารณาจากแนวโน้มในอนาคต

พบว่าภายในปี ค.ศ. 2080 พื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศมาเลเซียที่มีการติดตั้งระบบ PV อาจเผชิญกับอุณหภูมิที่สูงเกิน 30°C ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการเสื่อมสภาพของแผงและลดทอนประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานอย่างมีนัยสำคัญ จากข้อค้นพบดังกล่าว คณะผู้วิจัยเสนอแนวทางรับมือผ่านการพัฒนาเชิงวิศวกรรม เช่น การออกแบบระบบระบายความร้อนที่มีประสิทธิภาพ การเลือกใช้วัสดุที่สามารถทนต่ออุณหภูมิสูง และการกำหนดทิศทางและตำแหน่งการติดตั้งที่ช่วยลดการสะสมความร้อน เพื่อคงประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานของระบบในระยะยาว งานวิจัยนี้ยังเน้นย้ำถึงความจำเป็นในการวางแผนเชิงรุก และการปรับตัวทางเทคโนโลยีเพื่อรองรับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่มีต่อพลังงานหมุนเวียนในอนาคต [32]

2.7.5 Osma และคณะ (2016) ได้ดำเนินการศึกษาผลของระดับความสูงในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า โดยเน้นกรณีการติดตั้งบนหลังคาสี่เหลี่ยมภายใต้สภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น การทดลองใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 250 วัตต์ จำนวน 3 แผง ร่วมกับไมโครอินเวอร์เตอร์ โดยติดตั้งที่มุมเอียง 10° องศา บนหลังคาสองลักษณะ ได้แก่ หลังคาสีดำและหลังคาสีขาว ณ มหาวิทยาลัยอุตสาหกรรมแห่งชานตานเดอร์ ประเทศโคลอมเบีย โดยเปรียบเทียบผลการผลิตที่ความสูง 50 และ 75 เซนติเมตรจากพื้นผิวหลังคา การเก็บข้อมูลประกอบด้วยพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้แก่ อุณหภูมิแวดล้อม อุณหภูมิของผิวแผง ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ได้รับ และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ ผลลัพธ์จากการวิจัยแสดงให้เห็นว่า การติดตั้งแผงที่ระดับความสูง 50 เซนติเมตร ช่วยเพิ่มผลผลิตไฟฟ้าได้ประมาณ 2.0% ในขณะที่การใช้หลังคาสีขาวสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพได้อีกประมาณ 1.0% และเมื่อรวมสองปัจจัยเข้าด้วยกัน จะส่งผลให้ประสิทธิภาพโดยรวมเพิ่มขึ้นสูงถึง 2.8% ข้อค้นพบนี้สะท้อนให้เห็นว่า ทั้งระดับความสูงของการติดตั้งและประเภทของหลังคาที่ใช้ เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเฉพาะในภูมิอากาศเขตร้อน การติดตั้งบนหลังคาสี่เหลี่ยมนอกจากจะช่วยลดอุณหภูมิพื้นผิวของแผงแล้ว ยังลดความเครียดจากความร้อน ซึ่งมีส่วนช่วยในการรักษาประสิทธิภาพการแปลงพลังงานในระดับที่สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ [33]

2.7.6 Khamchaleun Surawanitkun, และ Kaewrawng (2019) ได้ศึกษาอิทธิพลของขนาดระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่เชื่อมต่อกับระบบกริดไฟฟ้าในจังหวัดสะหวันนะเขต ประเทศลาว โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ขนาดและตำแหน่งการติดตั้งที่เหมาะสมที่สุดในการเสริมประสิทธิภาพและความเสถียรของระบบกริด การศึกษานี้ใช้โปรแกรม DigSILENT PowerFactory เพื่อจำลองสถานการณ์การติดตั้งใช้งานขนาดแตกต่างกันตั้งแต่ร้อยละ 25 ถึง 125 ของค่าความต้องการโหลดสูงสุด ณ สถานีย่อยหนองเดิ่น จากผลการศึกษาในงานนี้ พบว่าการติดตั้งของระบบที่มีขนาดเหมาะสมที่สุดคือ ร้อยละ 75 ของกำลังการผลิตติดตั้งสูงสุด ซึ่งสามารถลดการสูญเสียพลังงานในระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งในรูปของกำลังไฟฟ้าจริง (Active power loss) และกำลังไฟฟ้าสำรอง (Reactive power loss)

รวมทั้งเพิ่มความเสี่ยงของแรงดันไฟฟ้าในระบบอีกด้วย นอกจากนี้ ผู้วิจัยยังได้นิยามถึงความสำคัญของการบูรณาการพลังงานแสงอาทิตย์เข้ากับระบบผลิตไฟฟ้าพลังน้ำ เพื่อสร้างความมั่นคงในการจ่ายพลังงานและสนับสนุนเป้าหมายด้านพลังงานทดแทนของประเทศลาว การศึกษานี้จึงเป็นแนวทางสำคัญในการวางแผนและพัฒนาโครงข่ายไฟฟ้าที่รองรับการเติบโตของแหล่งพลังงานหมุนเวียนในประเทศกำลังพัฒนาในอนาคต [34]

2.7.7 Nnamchi และคณะ (2023) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลม ระดับความสูงของชั้นโทรโพสเฟียร์ และประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้การจำลองเชิงตัวเลขร่วมกับการทดลองภาคสนามเป็นแนวทางหลักในการวิเคราะห์ข้อมูล ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า เมื่อระดับความสูงจากพื้นดินเพิ่มขึ้น ความเร็วลมและศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกัน จากการทดลองพบว่า การติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ระดับความสูง 1,000 เมตรจากพื้นดินสามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้ประมาณ 2.5% และเมื่อเพิ่มระดับความสูงขึ้นถึง 8,100 เมตร การผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้นสูงสุดถึงราว 23% ผลลัพธ์นี้สะท้อนให้เห็นถึงประโยชน์ของการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในพื้นที่ที่มีระดับความสูงและกระแสลมที่แรง สาเหตุหลักของการเพิ่มประสิทธิภาพที่ระดับความสูงมากขึ้น ได้แก่ อุณหภูมิที่ลดลง ซึ่งช่วยลดการสูญเสียพลังงานจากความร้อนภายในแผงเซลล์ และการได้รับแสงอาทิตย์อย่างเต็มที่มากขึ้น เนื่องจากลดผลกระทบจากเมฆที่อาจบดบังรังสีอาทิตย์ในระดับความสูงต่ำกว่า งานวิจัยนี้จึงชี้ให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมกับภูมิประเทศที่มีระดับความสูงและสภาพลมที่เอื้อต่อการผลิตพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ [35]

2.7.8 Zhe และคณะ (2016) ได้ทำการศึกษาเพื่อวิเคราะห์ผลของความเร็วลมที่มีต่อประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้ซอฟต์แวร์ ANSYS สำหรับการจำลองด้านความร้อน เพื่อศึกษารูปแบบการกระจายอุณหภูมิและประสิทธิภาพในการระบายความร้อนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ภายใต้เงื่อนไขของความเร็วลมที่แตกต่างกัน ได้แก่ 0, 0.43, 2.5 และ 6.95 เมตรต่อวินาที ผลจากการจำลองแสดงให้เห็นว่า เมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้น การถ่ายเทความร้อนจากผิวแผงสู่สภาพแวดล้อมมีประสิทธิภาพดีขึ้น ส่งผลให้อุณหภูมิของแผงลดลง ซึ่งส่งเสริมให้เซลล์แสงอาทิตย์สามารถทำงานได้ในสภาวะที่เหมาะสมยิ่งขึ้น และส่งผลต่อประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน การศึกษานี้ยังเน้นให้เห็นถึงบทบาทสำคัญของความเร็วลมในการควบคุมอุณหภูมิของแผง โดยแนะนำการออกแบบระบบระบายความร้อนด้วยอากาศเป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีอุณหภูมิสูงหรือการระบายอากาศตามธรรมชาติเกิดขึ้นได้น้อย ผลการวิจัยดังกล่าวสะท้อนถึงความจำเป็นในการคำนึงถึงสภาพแวดล้อมและการจัดการความร้อนให้เหมาะสมกับบริบทของการติดตั้งเพื่อยกระดับประสิทธิภาพการผลิตพลังงานจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ให้ได้มากที่สุด [36]

2.7.9 Wang และคณะ (2024) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 50 เมกะวัตต์ที่ในระบบออนกริด โดยใช้ซอฟต์แวร์ PVsyst ในการจำลองและประเมินสมรรถนะของระบบตลอดอายุการใช้งาน ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องและมีความเสถียรตลอดทั้งวัน พร้อมทั้งมีศักยภาพในการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้มากกว่า 1.12 ล้านตันตลอดอายุโครงการ ซึ่งสะท้อนถึงประโยชน์ในด้านการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างเด่นชัด ในด้านเทคนิค พบว่าอัตราส่วนสมรรถนะของระบบ (Performance Ratio: PR) อยู่ที่ประมาณ 0.8 ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับที่ดี แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลอีกทั้ง ระบบยังได้รับการเสริมด้วยแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ไอออน ซึ่งทำหน้าที่สำคัญในการจัดการพลังงาน เช่น การรักษาความสมดุลระหว่างพลังงานที่ผลิตได้และพลังงานที่จ่ายเข้าสู่ระบบ รวมถึงการลดความผันผวนของพลังงานและเพิ่มความปลอดภัยของการจ่ายไฟฟ้า ในเชิงเศรษฐศาสตร์ ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าระบบมีระยะเวลาคืนทุนสั้น เพียง 2.1 ปี และให้ผลตอบแทนจากการลงทุน (ROI) สูงถึง 828.10% ซึ่งสะท้อนถึงความคุ้มค่าทางการเงินของโครงการได้อย่างชัดเจน งานวิจัยนี้จึงเน้นย้ำถึงบทบาทสำคัญของการบูรณาการระบบกักเก็บพลังงานเข้ากับระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อเสริมสร้างเสถียรภาพ ความเชื่อถือได้ และความยั่งยืนในการจัดหาพลังงานในอนาคตอย่างแท้จริง [3]

2.7.10 Shrivastava และคณะ (2023) ได้ดำเนินการศึกษาเพื่อประเมินศักยภาพและประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 20 กิโลวัตต์ ที่ออกแบบมาเพื่อรองรับความต้องการใช้พลังงานของสถานศึกษาหนึ่ง โดยใช้ซอฟต์แวร์ PVsyst เป็นเครื่องมือหลักในการออกแบบและวิเคราะห์ระบบ ทั้งในด้านการผลิตพลังงานและการประเมินการสูญเสียภายในระบบ ระบบที่ถูกศึกษาในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 10 โมดูล และเชื่อมต่อผ่านสายไฟจำนวน 13 เส้น ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถตอบสนองความต้องการด้านพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังช่วยระบุสิ่งที่มีผลต่อการทำงานของระบบ เช่น คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในแผงเซลล์ เทคนิคการติดตั้ง มุมเอียง และสภาพแวดล้อมของพื้นที่ใช้งาน ซึ่งส่งผลต่อปริมาณพลังงานที่สามารถผลิตได้จริง ผลการศึกษายังสะท้อนให้เห็นว่า PVsyst เป็นเครื่องมือที่มีศักยภาพสูงในการศึกษา และทำการออกแบบรวมทั้งการประเมินระบบผลิตไฟฟ้าของระบบได้อย่างครอบคลุม สามารถช่วยปรับแต่งระบบให้เหมาะสมกับเงื่อนไขเฉพาะของพื้นที่ติดตั้ง และเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้งานในภาคการศึกษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ [8]

2.7.11 Villemin และคณะ (2022) ได้ดำเนินการศึกษาลักษณะการถ่ายเทความร้อนและสมรรถนะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 310 วัตต์ ภายใต้สภาวะแวดล้อมควบคุม โดยใช้ห้องทดลองขนาด 48 ลูกบาศก์เมตร พร้อมติดตั้งแหล่งกำเนิดแสงฮาโลเจนขนาด 6 กิโลวัตต์ เพื่อจำลอง

สภาพแสงอาทิตย์ในการทดลอง ทีมวิจัยได้ทำการวัดพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ อุณหภูมิแผงเซลล์ ความเข้มของแสง อุณหภูมิสภาพแวดล้อม ความเร็วลม รวมถึงค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้า เพื่อนำมาวิเคราะห์ผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การเพิ่มความเร็วมส่งผลให้อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าคงที่ทางความร้อน (thermal time constant) อยู่ที่ประมาณ 9 นาที ซึ่งเป็นระยะเวลาที่ระบบใช้ในการปรับอุณหภูมิให้เข้าสู่สมดุลกับสิ่งแวดล้อมโดยรอบ นอกจากนี้ ยังพบว่าอุณหภูมิของเซลล์ที่เพิ่มขึ้นมีผลกระทบในทางลบต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าอย่างชัดเจน ในทางกลับกัน การผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ส่งผลให้อุณหภูมิบริเวณด้านหน้าและด้านหลังของแผงลดลงประมาณ 3°C และ 3.7°C ตามลำดับ แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการผลิตพลังงานกับกลไกการระบายความร้อนของแผง การศึกษาครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่า การไหลของอากาศมีบทบาทสำคัญในการควบคุมอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งมีผลโดยตรงต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ อีกทั้งยังสะท้อนถึงความสำคัญของการใช้สภาพแวดล้อมควบคุมในการศึกษาทางความร้อนและไฟฟ้า เพื่อให้สามารถรวบรวมข้อมูลที่ถูกต้องและเชื่อถือได้ สำหรับใช้ในการออกแบบและพัฒนาระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในอนาคตอย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น [37]

2.7.12 Basu Khanna และ Hameiri (2015) ได้ดำเนินการวิจัยเพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของความสูงของโครงสร้างพื้นผิวแบบปิรามิด ซึ่งขึ้นรูปบนผิวหน้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนโมโนคริสตัลไลน์ ต่อสมรรถนะการผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยได้ทดสอบโครงสร้างปิรามิดที่มีความสูงแตกต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ 5, 6 และ 8 ไมโครเมตร เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ด้านแสงและไฟฟ้าที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์ ผลการทดลองพบว่า ค่าการสะท้อนแสง แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (Voc) และกระแสลัดวงจร (Isc) ไม่แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแต่ละระดับความสูงของโครงสร้าง ซึ่งบ่งชี้ว่าขนาดของปิรามิดไม่ส่งผลชัดเจนต่อพฤติกรรมทางแสงของเซลล์ อย่างไรก็ตาม ค่าปัจจัยเติมเต็ม (Fill Factor: FF) และประสิทธิภาพในการแปลงพลังงาน (Conversion Efficiency) มีความแตกต่างที่สัมพันธ์กับความสูงของโครงสร้าง โดยพบว่าโครงสร้างที่มีความสูง 5 ไมโครเมตรให้ค่าประสิทธิภาพที่ดีที่สุด โดยเพิ่มค่า FF ได้ประมาณ 1% และเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมได้ราว 0.4% ข้อค้นพบดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า การปรับแต่งโครงสร้างพื้นผิวในระดับจุลภาค โดยเฉพาะความสูงของปิรามิด มีผลต่อสมรรถนะของเซลล์แสงอาทิตย์ในด้านไฟฟ้าอย่างชัดเจน งานวิจัยนี้จึงเน้นย้ำถึงความสำคัญของการออกแบบพื้นผิวของเซลล์ในระดับไมโครเมตร เพื่อเป็นแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการแปลงพลังงานแสงให้เป็นไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น [38]

2.7.13 Xu และคณะ (2023) ได้ทำการทดลองภายใต้สภาวะแวดล้อมที่ควบคุมเพื่อประเมินประสิทธิภาพของการนำวัสดุเปลี่ยนสถานะ (Phase Change Material: PCM) มาใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพการระบายความร้อนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และส่งเสริมการผลิตพลังงานไฟฟ้า จากผล

การทดลองพบว่า PCM มีความสามารถในการควบคุมอุณหภูมิของแผงได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถลดอุณหภูมิบริเวณผิวด้านบนของแผงได้สูงสุดถึง 33.94°C และลดอุณหภูมิด้านล่างได้ถึง 36.51°C ภายในช่วงเวลา 300 นาที

การลดลงของอุณหภูมิอย่างมีนัยสำคัญนี้ส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพการแปลงพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าได้มากถึง 1.63% และเพิ่มกำลังการผลิตไฟฟ้าสูงสุดได้ประมาณ 1.35 วัตต์ ผลการศึกษาดังกล่าวสะท้อนถึงศักยภาพของ PCM ในการเสริมสมรรถนะการจัดการความร้อนในระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในภาคสนามเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพในทางปฏิบัติ [39]

2.7.14 Wang และคณะ (2023) ได้ทำการศึกษาแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพในการระบายความร้อนของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยผสมผสานการใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะ (Phase Change Material: PCM) เข้ากับครีบบระบายความร้อน ผ่านการจำลองทางตัวเลข (Numerical Simulation) เพื่อวิเคราะห์ผลของปัจจัยด้านโครงสร้างและสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการจัดการอุณหภูมิ อาทิ ระยะห่างระหว่างครีบ ความสูงของครีบ ความเข้มของรังสีของแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิแวดล้อม ผลจากการศึกษาแสดงให้เห็นว่า การลดระยะห่างระหว่างครีบให้แคบลงและการเพิ่มความสูงของครีบสามารถเสริมการระบายความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยระยะห่างที่เหมาะสมที่สุดอยู่ที่ 6 มิลลิเมตร และความสูงของครีบที่ให้ผลดีที่สุดอยู่ที่ 70 มิลลิเมตร ภายใต้เงื่อนไขดังกล่าว ระบบสามารถลดอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้มากถึง 31.9°C เมื่อเทียบกับระบบที่อาศัยการระบายอากาศตามธรรมชาติ นอกจากนี้ ภายใต้ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ที่ระดับ 1200 W/m^2 และอุณหภูมิแวดล้อมที่ 25°C พบว่าระบบระบายความร้อนแบบผสมผสานระหว่าง PCM และครีบบระบายความร้อนให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการควบคุมอุณหภูมิของแผงเซลล์อย่างมีประสิทธิภาพ งานวิจัยนี้จึงเน้นให้เห็นถึงความสำคัญของการออกแบบระบบระบายความร้อนที่เหมาะสม โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีอุณหภูมิสูงและแสงแดดเข้มข้น ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อการยกระดับประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในเชิงปฏิบัติ [40]

2.7.15 Smith และคณะ (2022) ได้ดำเนินการวิจัยเพื่อประเมินผลของการปรับความสูงในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในระบบฟาร์มพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีต่อประสิทธิภาพการระบายความร้อนของแผง โดยใช้การทดลองในอุโมงค์ลมเพื่อศึกษาพฤติกรรมการไหลของอากาศและการถ่ายเทความร้อนภายใต้การติดตั้งในรูปแบบต่าง ๆ ได้แก่ การติดตั้งระดับมาตรฐาน การยกกระดุมแผง และการจัดวางในลักษณะกระจายตัว ผลการทดลองระบุว่า การยกกระดุมแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้พ้นจากพื้นผิวในระดับหนึ่งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการระบายความร้อนได้สูงที่สุด เนื่องจากช่วยกระตุ้นการไหลของอากาศใต้แผง และส่งเสริมการก่อตัวของกระแสอากาศหมุนวนในลักษณะคล้ายพายุ ซึ่งช่วยเสริมกระบวนการ

แลกเปลี่ยนความร้อนอย่างมีประสิทธิภาพ โดยพบว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นมากถึง 1.88 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีติดตั้งที่ความสูงปกติ ส่วนรูปแบบการจัดวางแบบกระจายตัวก็มีผลช่วยเพิ่มการระบายความร้อนเช่นกัน แม้จะมีประสิทธิภาพน้อยกว่าการยกระดับ การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการออกแบบระบบติดตั้งแผงในลักษณะยกระดับสามารถลดอุณหภูมิของแผง ลดความเครียดจากความร้อน และเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าได้อย่างชัดเจน อีกทั้งยังอาจมีผลในเชิงบวกต่อการยืดอายุการใช้งานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในระยะยาวอีกด้วย [41]

2.7.16 Baqir และ Channi (2022) ได้ดำเนินการออกแบบและประเมินสมรรถนะของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 700 กิโลวัตต์ ซึ่งเชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้าในจังหวัดไคคุนตี ประเทศอัฟกานิสถาน โดยอาศัยการจำลองผ่านซอฟต์แวร์ PVsyst เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบภายใต้สภาพภูมิอากาศเฉพาะพื้นที่ ผลการศึกษาระบุว่า ประเทศอัฟกานิสถานมีศักยภาพในการรับรังสีดวงอาทิตย์ในระดับสูง โดยมีค่าเฉลี่ยรังสีพลังงานแสงอาทิตย์รายวันอยู่ระหว่าง 4.5 ถึง 7 kWh/m² ซึ่งเป็นระดับที่เหมาะสมอย่างยิ่งต่อการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ระบบที่ออกแบบสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ถึง 1,266 เมกะวัตต์ชั่วโมงต่อปี โดยมีค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพของระบบ (Performance Ratio: PR) เท่ากับ 0.797 ซึ่งอยู่ในช่วงมาตรฐานระดับสากล การศึกษายังได้วิเคราะห์องค์ประกอบสำคัญของระบบ เช่น ผลผลิตไฟฟ้าที่เกิดจากเซลล์แสงอาทิตย์ ผลผลิตไฟฟ้าสุทธิที่ส่งเข้าสู่กริด ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ รวมถึงการสูญเสียพลังงานในแต่ละขั้นตอน เพื่อให้สามารถประเมินประสิทธิภาพโดยรวมของระบบได้อย่างครบถ้วน นอกจากนี้ ผลการศึกษายังสอดคล้องกับแผนพัฒนาพลังงานหมุนเวียนของประเทศไทย ซึ่งตั้งเป้าหมายในการผลิตพลังงานสะอาดรวม 5,000 เมกะวัตต์ภายในปี ค.ศ. 2032 โดยมีสัดส่วนจากพลังงานแสงอาทิตย์อยู่ที่ประมาณ 1,500 เมกะวัตต์ ในแง่ของความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ การวิเคราะห์ด้านการเงินของโครงการพบว่า มีระยะเวลาคืนทุนเพียง 4.7 ปี แสดงให้เห็นถึงศักยภาพและความเหมาะสมของการลงทุนในระบบพลังงานแสงอาทิตย์ในภูมิภาคดังกล่าว ซึ่งสามารถสนับสนุนความมั่นคงด้านพลังงานในอนาคตได้อย่างมีประสิทธิภาพ [42]

2.7.17 Hasan และคณะ (2022) ได้ทบทวนปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมและการปฏิบัติงานที่มีผลต่อการทำงานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (PV) ได้แก่ รังสีแสงอาทิตย์ อุณหภูมิ ฝุ่นสะสม ความเร็วลม เงาน้ำค้าง และความชื้น ผลการศึกษาระบุว่า การติดตั้งแผงในทิศทางที่เหมาะสมช่วยเพิ่มการรับแสงขณะที่อุณหภูมิสูงส่งผลให้ประสิทธิภาพลดลง จึงควรมีสิ่งที่จะต้องมีการระบายความร้อนที่ดีไปด้วย ฝุ่นที่สะสมบนผิวแผงลดการส่งผ่านแสงเข้าสู่เซลล์ จำเป็นต้องทำความสะอาดอย่างสม่ำเสมอ ส่วนความเร็วลมแม้ช่วยระบายความร้อน แต่ในพื้นที่แห้งอาจเพิ่มการสะสมฝุ่น การเกิดเงาน้ำค้างจากวัฏจักรไกล์เคียงหรือตำแหน่งติดตั้งที่ไม่เหมาะสมทำให้การผลิตไฟฟ้าลดลง จึงควรออกแบบระยะห่างของแผงอย่างเหมาะสม นอกจากนี้ ความชื้นสูงอาจส่งผลให้ฝุ่นเกาะติดง่ายขึ้นและเร่งการเสื่อมสภาพของแผง การ

เลือกใช้วัสดุป้องกันที่ทนทานต่อสภาพแวดล้อมจึงมีความสำคัญ งานวิจัยนี้เน้นย้ำว่า การกำหนดทิศทางติดตั้ง ระบบระบายความร้อนที่มีประสิทธิภาพ และการบำรุงรักษาอย่างต่อเนื่อง เป็นปัจจัยสำคัญในการยกระดับประสิทธิภาพและเสถียรภาพของระบบ PV ในระยะยาว [5]

2.7.18 Ranjan Das (2019) ได้ศึกษาผลของระดับความสูงและความดันอากาศต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยพบว่า การติดตั้งในพื้นที่ที่มีความสูงมากช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพลังงาน เนื่องจากความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ส่องถึงเซลล์เพิ่มขึ้น ขณะเดียวกัน ความดันอากาศที่สูงขึ้นยังมีส่วนช่วยเพิ่มความเร็วของโฟตอนที่กระทบผิวแผง ส่งผลให้กระแสและแรงดันไฟฟ้าสูงขึ้นตามลำดับ ผลการศึกษาชี้ว่า ความสูงและความดันอากาศเป็นปัจจัยแวดล้อมที่ส่งผลต่อสมรรถนะของระบบ PV อย่างมีนัยสำคัญ และควรนำมาพิจารณาในการเลือกพื้นที่ติดตั้งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าในเชิงระบบ [43]

2.7.19 Dubey Sarvaiya และ Seshadri (2013) ได้ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยพบว่า เมื่ออุณหภูมิของแผงเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพและกำลังการผลิตจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ งานวิจัยยังวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของเซลล์กับอุณหภูมิแวดล้อม ความเร็วลม และปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ ซึ่งล้วนเป็นปัจจัยหลักที่กำหนดระดับอุณหภูมิของแผง ผลการศึกษาชี้ว่า การเลือกใช้สมการความสัมพันธ์ด้านอุณหภูมิที่เหมาะสมในการออกแบบระบบ PV มีความสำคัญ โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีสภาพภูมิอากาศแตกต่างกัน เพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดภายใต้สภาพแวดล้อมเฉพาะพื้นที่ [44]

2.7.20 Chandra Agrawal และ Chauhan (2018) ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิและความเร็วลมต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโพลีคริสตัลไลน์ โดยดำเนินการทดลองที่มหาวิทยาลัย GLA เมืองมัทรา ประเทศอินเดีย โดยเปรียบเทียบระบบสองชุด ได้แก่ ชุดที่ติดตั้งพัดลม DC เพื่อระบายความร้อน และชุดที่ไม่มีระบบทำความเย็น ผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิแวดล้อมที่สูงส่งผลให้ประสิทธิภาพของเซลล์ลดลงจากความร้อนสะสมบนแผง ซึ่งส่งผลต่อแรงดันไฟฟ้าและการสูญเสียพลังงาน ขณะที่ความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นช่วยลดอุณหภูมิของแผง และเพิ่มกำลังการผลิตอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ ระบบระบายความร้อนแบบแอคทีฟ เช่น พัดลม DC ยังช่วยลดความร้อนสะสมและเพิ่มประสิทธิภาพของแผง PV ได้อย่างมีประสิทธิภาพ งานวิจัยนี้เน้นย้ำความสำคัญของการออกแบบระบบระบายความร้อนที่เหมาะสม โดยเฉพาะในพื้นที่อากาศร้อน เพื่อรักษาสมรรถนะของเซลล์แสงอาทิตย์และเพิ่มผลผลิตพลังงานในระยะยาว [45]

2.7.21 Cuce Cuce และ Bali (2018) ได้ทำการทดลองภาคสนามเพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของความชื้นสัมพัทธ์ต่อสมรรถนะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้แผงเซลล์สองชนิด ได้แก่ โมโนคริสตัลไลน์ (m-Si) และโพลีคริสตัลไลน์ (p-Si) จากผลการศึกษาพบว่า ความชื้นในอากาศไม่มีผลกระทบ

อย่างมีนัยสำคัญต่อการทำงานของของแผงทั้งสองชนิดดังกล่าว แม้จะมีการเปลี่ยนแปลงของระดับความชื้น แต่ค่าประสิทธิภาพที่วัดได้ยังคงมีเสถียรภาพ นอกจากนี้ ยังพบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์กับค่ากระแสลัดวงจร (Isc) ของแผงเซลล์ ซึ่งชี้ให้เห็นว่า ปริมาณแสงที่ตกกระทบเป็นตัวแปรหลักที่มีผลต่อการผลิตไฟฟ้า มากกว่าความชื้นในอากาศ การวิจัยนี้จึงสรุปว่าความชื้นสัมพัทธ์มีบทบาทจำกัดต่อการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ ขณะที่ปัจจัยอย่างความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์และอุณหภูมิของแผงควรได้รับความสำคัญมากกว่าในการออกแบบระบบและประเมินประสิทธิภาพการผลิตพลังงานในสภาวะแวดล้อมจริง [46]

2.7.22 Khan Islam และ Islam (2019) ได้ดำเนินการศึกษาเพื่อตรวจสอบผลกระทบของความแปรปรวนของรังสีแสงอาทิตย์ที่มีต่อประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับโครงข่ายไฟฟ้า จากผลการทดลองพบว่า เมื่อระดับรังสีแสงอาทิตย์เพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะในช่วงเวลากลางวันและในฤดูร้อน จะส่งผลให้กระแสไฟฟ้าและพลังงานที่อินเวอร์เตอร์สามารถแปลงและส่งเข้าสู่ระบบกริดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นว่าอินเวอร์เตอร์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นภายใต้สภาพแสงที่เข้มข้น การศึกษานี้ชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการวิเคราะห์ลักษณะของรังสีดวงอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลาและฤดูกาล เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์และระบบไฟฟ้าเชื่อมต่อ ให้สามารถรองรับศักยภาพของพลังงานหมุนเวียนได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ทั้งในเชิงเทคนิคและการวางแผนระบบไฟฟ้าในระยะยาว [47]

2.7.23 Ibrahim Gyuk และ Aliyu (2019) ได้ดำเนินการศึกษาถึงผลกระทบของการแผ่รังสีแสงอาทิตย์ที่มีต่อประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยผลการวิเคราะห์พบว่า ความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลโดยตรงต่อปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้งในด้านประสิทธิภาพการแปลงพลังงานและกำลังผลิตไฟฟ้ารวม โดยเมื่อระดับรังสีเพิ่มขึ้น เซลล์แสงอาทิตย์จะสามารถผลิตพลังงานได้มากขึ้นตามไปด้วย การวิจัยนี้ให้ความสำคัญในตัวแปรของรังสีแสงอาทิตย์ในฐานะตัวแปรหลักที่ต้องให้ความสำคัญในการออกแบบและวางแผนระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อให้การผลิตพลังงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับศักยภาพของพื้นที่ติดตั้งระบบ [48]

2.7.24 Amer Dahham และคณะ (2023) ได้พัฒนาแบบจำลองการสะสมฝุ่นเชิงอนุภาคเพื่อประมาณปริมาณฝุ่นที่ปกคลุมบนผิวแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยแบบจำลองดังกล่าวช่วยให้สามารถประเมินผลกระทบของฝุ่นต่อประสิทธิภาพของระบบพลังงานแสงอาทิตย์ได้อย่างแม่นยำและสอดคล้องกับสภาพแวดล้อมจริงมากยิ่งขึ้น [49]

จากการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าปัจจัยในสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ในการผลิตไฟฟ้า ได้แก่ ความเข้มของแสงอาทิตย์, อุณหภูมิ, การสะสมของฝุ่น,

ความสกปรก, การบังเงา, ความชื้น และความเร็วลม โดยเฉพาะ อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในงานวิจัยหลายชิ้น เนื่องจากพบว่า เมื่ออุณหภูมิของแผงเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าจะลดลง หลายงานวิจัยได้เสนอแนวทางในการออกแบบและติดตั้งระบบระบายความร้อนเพื่อช่วยลดอุณหภูมิของแผง นอกจากนี้ ซอฟต์แวร์ PVsyst ยังได้รับความนิยมอย่างมากในการใช้จำลองและคาดการณ์ประสิทธิภาพการผลิตพลังงานแสงอาทิตย์จากเซลล์แสงอาทิตย์

อย่างไรก็ตาม ยังขาดการศึกษามลกระทบของระดับความสูงและพื้นที่การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ที่แตกต่างกันต่ออุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้งด้านบนและด้านล่าง ซึ่งเป็นปัจจัยที่อาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้า ดังนั้น การศึกษานี้จึงมุ่งเน้น การวิเคราะห์ผลกระทบของระดับความสูงของเซลล์แสงอาทิตย์ต่ออุณหภูมิของเซลล์และประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้า ที่ติดตั้งในพื้นที่ที่แตกต่างกัน 3 รูปแบบ ได้แก่

- 1) การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นดิน ที่ตำบลคลองสี่ อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี ขนาดกำลังผลิต 4.86 กิโลวัตต์ โดยติดตั้งที่ระดับความสูง 1 เมตร, 1.5 เมตร และ 2 เมตร จากพื้นดิน

- 2) การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารจอดรถร้านคาเฟ่เมซอน สาขาข้ามมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ขนาดกำลังผลิต 10 กิโลวัตต์ โดยติดตั้งที่ระดับความสูง 2.5 เมตร, 3 เมตร และ 3.5 เมตร จากพื้นดิน

- 3) การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารตลาดวงศกร ขนาดกำลังผลิต 200 กิโลวัตต์ ซึ่งเป็นระบบที่เชื่อมต่อกับสายส่งไฟฟ้า (On-Grid System) และมี ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ลิเธียม

การศึกษานี้มีเป้าหมายเพื่อประเมินศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าในแต่ละรูปแบบ และศึกษามลกระทบของระดับความสูงต่ออุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์จริงและการจำลองโดยใช้ซอฟต์แวร์ PVsyst เพื่อประเมินศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละพื้นที่ รวมถึงประเมินค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในระดับความสูงที่แตกต่างกัน เพื่อให้ได้ข้อมูลเชิงลึกที่สามารถนำไปใช้ปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพของระบบพลังงานแสงอาทิตย์ต่อไป

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

บทนี้กล่าวถึงวิธีดำเนินการวิจัยที่ใช้ในการศึกษาผลของระดับความสูงในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีต่ออุณหภูมิแผงและประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยอธิบายถึงวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ รูปแบบการติดตั้งแผงทั้งสามรูปแบบ ขั้นตอนการทดลองในการเก็บรวบรวมข้อมูล ตลอดจนวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อให้เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูง อุณหภูมิของแผง และประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้า เนื่องจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์จะสูญเสียประสิทธิภาพเมื่อความร้อนของแผงสูงขึ้น การเพิ่มความสูงของโครงสร้างติดตั้งจึงถูกคาดหวังว่าจะช่วยระบายความร้อนของแผงได้ดีขึ้นและเพิ่มผลผลิตไฟฟ้า [50] การออกแบบการทดลองครั้งนี้ตั้งอยู่บนสมมุติฐานดังกล่าว โดยรายละเอียดวิธีการดำเนินการมีดังต่อไปนี้

3.1 รูปแบบการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ในการศึกษานี้ ได้ดำเนินการทดลองติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ใน 3 รูปแบบ โดยออกแบบให้แปรผันระดับความสูงของแผงเซลล์ เพื่อประเมินผลกระทบที่มีต่อประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้า รายละเอียดของแต่ละรูปแบบแสดงไว้ในตารางที่ 3.1 และสามารถอธิบายได้ดังนี้

รูปแบบที่ 1: วางรูปแบบการติดตั้งระบบของเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 4.86 กิโลวัตต์ บนพื้นที่โล่งใกล้แหล่งน้ำในตำบลคลองสี่ อำเภอลำลูกเกด จังหวัดปทุมธานี โดยอาศัยปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม เช่น ความชื้นจากแหล่งน้ำ เพื่อช่วยส่งเสริมการระบายความร้อนของแผงในระหว่างการทดลอง แผงถูกติดตั้งที่ระดับความสูง 1 เมตร, 1.5 เมตร และ 2 เมตร จากพื้นดิน

รูปแบบที่ 2: ติดตั้งระบบขนาด 10 กิโลวัตต์ บนหลังคาอาคารจอดรถของร้านคาเฟ่เมซอน ซึ่งตั้งอยู่ใกล้มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี พื้นที่ดังกล่าวมีพื้นผิวเป็นคอนกรีตที่สะท้อนความร้อน โดยทดลองติดตั้งแผงที่ระดับความสูง 2.5 เมตร, 3 เมตร และ 3.5 เมตร เพื่อวิเคราะห์ผลของระดับความสูงในสภาพแวดล้อมที่มีการสะสมความร้อนจากพื้นผิว

รูปแบบที่ 3: ติดตั้งระบบขนาด 200 กิโลวัตต์ บนหลังคาอาคารของตลาดวงศกร ซึ่งเป็นพื้นที่ปิดที่มีแนวโน้มเกิดความร้อนสะสมสูง ระบบนี้เป็นแบบเชื่อมต่อสายส่ง (On-Grid System) และเสริมด้วยระบบกักเก็บพลังงานโดยใช้แบตเตอรี่ลิเธียม โดยการทดลองเน้นวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้า และผลของระดับความสูงต่ออุณหภูมิของแผงภายใต้เงื่อนไขของระบบขนาดใหญ่ในสภาพแวดล้อมเมือง

ทั้งนี้ ทุกระบบในการทดลองได้ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดที่มีความแม่นยำสูง เช่น เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า, อุณหภูมิพื้นผิวแผงทั้งด้านบนและด้านล่าง รวมถึงเครื่องวัดสภาพอุณหภูมิวิทยา ได้แก่ ความเร็วลม ทิศทางลม อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ เพื่อให้ได้ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับปัจจัยแวดล้อมที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละพื้นที่การติดตั้ง

ตารางที่ 3.1 ชนิดการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละรูปแบบและแต่ละความสูง

รูปแบบ ที่	ตำแหน่ง การติดตั้ง	ความสูงของแผง จากพื้นดิน (เมตร)	กำลังการผลิต ไฟฟ้า (กิโลวัตต์)	สถานที่	สภาพแวดล้อม
1	บนพื้นดิน	1, 1.5 และ 2	4.86	ตำบลคลองสี่ อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี	พื้นที่โล่ง ใกล้บ่อน้ำ มีแหล่งน้ำช่วย ระบายความร้อน
2	บนหลังคา ที่จอดรถ	2.5, 3 และ 3.5	10	อาคารจอดรถร้าน คาเฟ่เมซอน สาขาข้าง มหาวิทยาลัย เทคโนโลยี ราชมงคลธัญบุรี	เหนือพื้นคอนกรีต
3	บนหลังคา ตลาด	เท่ากับความสูง ของหลังคาตลาด	200	ตลาดวงศกร	พื้นที่ปิด อาคาร สะสมความร้อน

3.2 รายละเอียดและขั้นตอนการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์

3.2.1 การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นดินขนาด 4.86 กิโลวัตต์ ที่ระดับความสูง 1 เมตร 1.5 เมตร และ 2 เมตร จากพื้นดิน

3.2.1.1 รายละเอียดระบบเซลล์แสงอาทิตย์

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้นำเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์มาใช้ในการติดตั้ง เนื่องจากเซลล์ประเภทนี้มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในกลุ่มเซลล์ชนิดซิลิคอน (ประมาณร้อยละ 17–

22) และมีลักษณะโครงสร้างผลึกเดี่ยวที่ช่วยลดการสูญเสียทางไฟฟ้า จึงเหมาะสมอย่างยิ่งกับการติดตั้งในพื้นที่ที่มีข้อจำกัด และต้องการผลิตกระแสไฟฟ้าให้ได้ในระดับสูงสุด [51]

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลองนี้มีขนาดกำลังผลิตแผงละ 540 วัตต์ จำนวนทั้งหมด 9 แผง โดยมีกำลังการผลิตรวมสูงสุดที่ 4.86 กิโลวัตต์ แผงเหล่านี้ได้รับการติดตั้งที่ระดับความสูง 3 ระดับ ได้แก่ 1 เมตร, 1.5 เมตร และ 2 เมตรจากพื้นดิน โดยที่แต่ละระดับประกอบด้วยเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 3 แผง วางเรียงในแนวนอนที่ระดับความสูงที่กำหนด เพื่อวัตถุประสงค์ในการวิเคราะห์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีระดับความสูงแตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.1 การติดตั้งแผงทุกแผงได้กำหนดมุมเอียงไว้ที่ 15° และมุมอะซิมุทที่ 0° โดยแผงจำนวน 9 แผงนี้ถูกเชื่อมต่อแบบอนุกรมในลักษณะหนึ่งสตริง ใช้พื้นที่ในการติดตั้งรวมทั้งสิ้นประมาณ 23.2 ตารางเมตร (เป็นพื้นที่ของแผงโซลาร์เซลล์ 21.4 ตารางเมตร)

ข้อมูลจำเพาะของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์แสดงในตารางที่ 3.2 ส่วนข้อมูลทางไฟฟ้าขาเข้า (กระแสตรง DC) และขาออก (กระแสสลับ AC) ของอินเวอร์เตอร์แสดงในตารางที่ 3.3 และ 3.4 ตามลำดับ โดยระบบนี้ได้อินเวอร์เตอร์แบบเฟสเดียวขนาด 6 กิโลวัตต์ ร่วมกับระบบแบตเตอรี่ของบริษัท Growatt (ดังแสดงในรูปที่ 3.3) เพื่อสนับสนุนการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้า การวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากระบบดำเนินการโดยการบันทึกค่ากระแสตรงและกระแสสลับผ่านเครื่องวัดกระแสไฟฟ้าดิจิทัล ยี่ห้อ Yokogawa รุ่น WT310E (ดังแสดงในรูปที่ 3.4) ซึ่งสามารถให้ผลการวัดที่ถูกต้องและความแม่นยำสูง เครื่องมือวัดอุณหภูมิพื้นผิวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 6 ตัว ยี่ห้อ LSI LASTEM รุ่น DLE124 ถูกติดตั้งด้านบนและด้านล่างของแผงในแต่ละระดับความสูง (ดังแสดงในรูปที่ 3.5) เพื่อศึกษาผลของการกระทบของอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของระบบ

นอกจากนี้ ระบบนี้ยังติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิเพื่อบันทึกข้อมูลสถานะแวดล้อมที่อาจมีอิทธิพลต่อการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ (ดังแสดงในรูปที่ 3.6) เครื่องมือดังกล่าวประกอบด้วยเครื่องวัดความเร็วและทิศทางลม ยี่ห้อ LSI LASTEM รุ่น DNA827, เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ยี่ห้อ LSI LASTEM รุ่น DMA875 และเครื่องวัดรังสีดวงอาทิตย์ ยี่ห้อ LSI LASTEM รุ่น DPA855 ข้อมูลที่ได้รับจากเครื่องมือวัดทั้งหมดถูกจัดเก็บและประมวลผลโดยเครื่องบันทึกข้อมูลดิจิทัล ยี่ห้อ Yokogawa รุ่น GP10 เพื่อให้สามารถวิเคราะห์สมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้เงื่อนไขการดำเนินงานที่แตกต่างกันได้อย่างแม่นยำ



รูปที่ 3.1 การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ที่ระดับความสูง 1 เมตร, 1.5 เมตร และ 2 เมตร

ตารางที่ 3.2 รายละเอียดข้อมูลจำเพาะของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์

Specification	Capacity
1. Maximum power (Pmax)	540Wp
2. Maximum power voltage (Vmp)	40.70V
3. Maximum power current (Imp)	13.27A
4. Open-circuit voltage (Voc)	49.42V
5. Short-circuit current (Isc)	13.85A
6. Module efficiency STC (%)	20.94%
7. Maximum system voltage	1,000/1,500VDC (IEC)
8. Temperature coefficients of Pmax	-0.35%/°C
9. Temperature coefficients of Voc	-0.28%/°C
10. Temperature coefficients of Isc	0.048%/°C

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลขาเข้าของอินเวอร์เตอร์ (กระแสตรง หรือ DC)

Specification	Capacity
1. Max. recommended PV power (for module STC)	10,600W
2. Max. DC voltage (Vmp)	550V
3. Start voltage	120V
4. MPP voltage range/ nominal voltage	120V
5. Short-circuit current (Isc)	13.85 A $\pm$ 4%
6. No. of MPP trackers	2
7. No. of PV string per MPP tracker	1
8. Max. input current per MPP tracker	13.500A
9. Max. short-circuit current per MPP tracker	16.90A

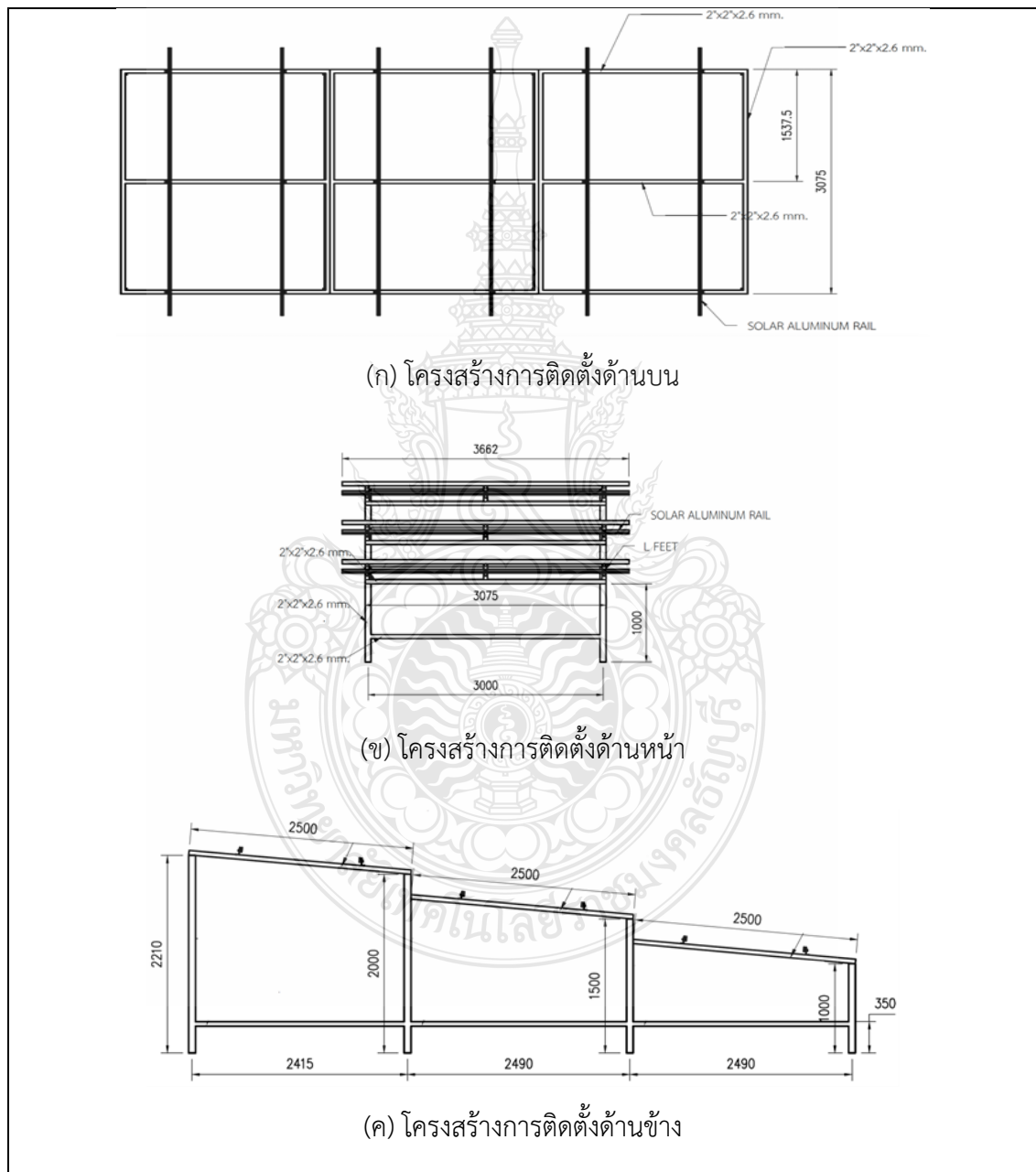
ตารางที่ 3.4 ข้อมูลขาออกของอินเวอร์เตอร์ (กระแสสลับ หรือ AC)

Specification	Capacity
1. AC nominal power	6,000W
2. Rate AC apparent power	6,000VA
3. Nominal AC voltage (range)	230V/(180Vac-260Vac)
4. AC grid frequency (range)	50Hz/60Hz
5. Rate output current	27A
6. Adjustable power factor	0.8leading-0.8lagging
7. THDi	<3%
8. AC grid connection type	Single phase

3.2.1.2 การติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์

รายละเอียดของโครงสร้างและขนาดในการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์แสดงไว้ในรูปที่ 3.2 โดยโครงสร้างดังกล่าวออกแบบให้รองรับการติดตั้งแผงในระดับความสูง 1 เมตร, 1.5 เมตร และ 2 เมตรจากพื้นดิน โดยใช้รางอะลูมิเนียมเป็นวัสดุหลักสำหรับโครงสร้างรับน้ำหนัก ซึ่งมีความแข็งแรงเพียงพอเพื่อรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์อย่างมั่นคง แผงเซลล์ถูกติดตั้งด้วยมุมเอียงคงที่ที่ 15

องศา ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับการรับแสงอาทิตย์อย่างมีประสิทธิภาพในพื้นที่ติดตั้ง พร้อมกันนี้ ยังได้มีการเว้นระยะห่างระหว่างแผงอย่างเหมาะสมเพื่อส่งเสริมการถ่ายเทอากาศบริเวณโดยรอบ ช่วยลดอุณหภูมิสะสมที่ผิวแผง และสนับสนุนให้ระบบสามารถแปลงพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ทั้งนี้ โครงสร้างได้รับการออกแบบโดยคำนึงถึงความเสี่ยงทางกลไกและความทนทานต่อสภาพแวดล้อมภายนอก เพื่อให้รองรับการใช้งานได้อย่างปลอดภัยและยั่งยืน



รูปที่ 3.2 รูปแบบและขนาดของโครงสร้างการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละระดับความสูง



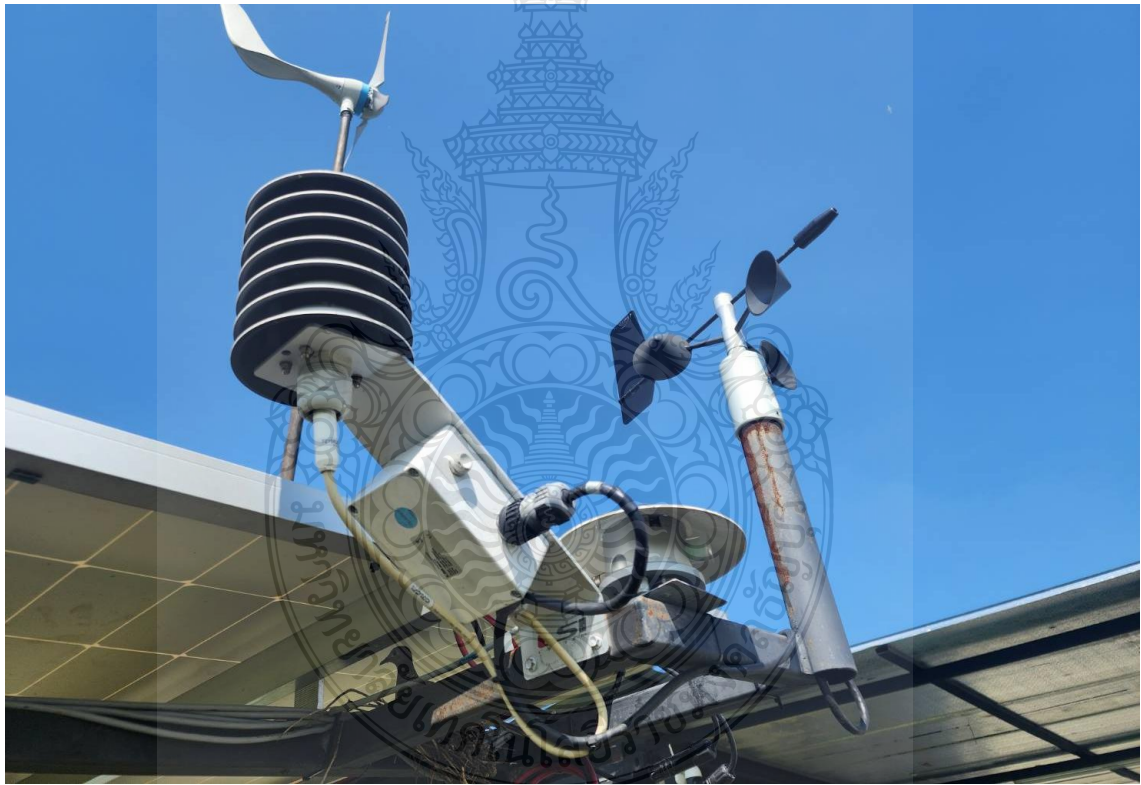
รูปที่ 3.3 การติดตั้งอินเวอร์เตอร์ พร้อมทั้งแบตเตอรี่ ยี่ห้อ Growatt



รูปที่ 3.4 เครื่องวัดกระแสไฟฟ้าดิจิทัล ยี่ห้อ Yokogawa รุ่น WT310E



รูปที่ 3.5 การติดตั้งเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิพื้นผิว ยี่ห้อ LSI LASTEM รุ่น DLE124



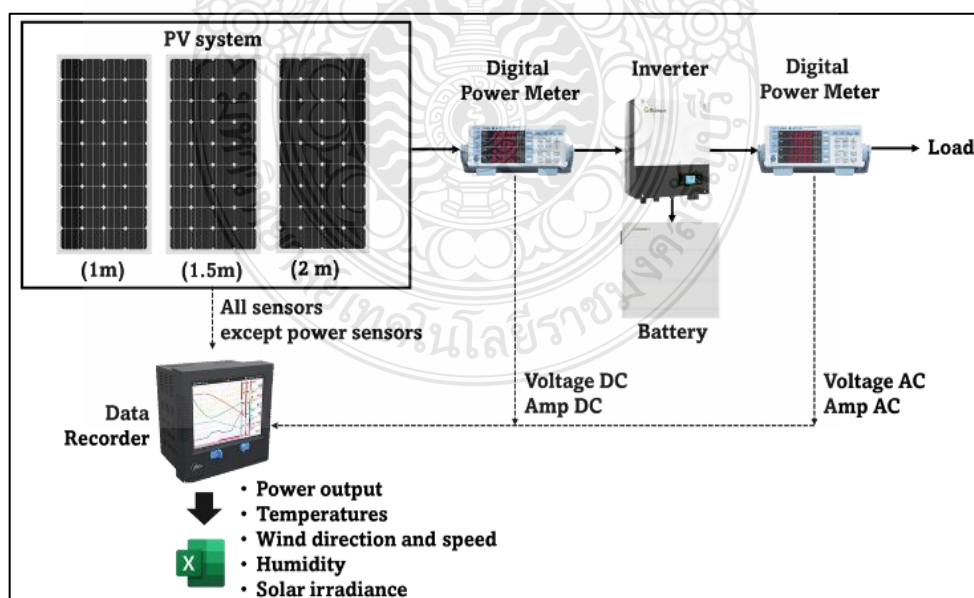
รูปที่ 3.6 เครื่องมือวัดอุตุนิยมวิทยา

3.2.1.3 หลักการทำงานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์

หลักการทำงานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการศึกษานี้แสดงไว้ในรูปที่ 3.7 โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำหน้าที่แปลงพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ซึ่งพลังงานที่ผลิตได้จะถูกวัดและบันทึกแยกตามระดับความสูงของแผง จากนั้นไฟฟ้ากระแสตรงจะถูกส่งผ่านอินเวอร์เตอร์เพื่อแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) โดยมีเครื่องวัดกระแสไฟฟ้าดิจิทัลสำหรับตรวจวัดและบันทึกค่าพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ ทั้งนี้ พลังงานที่แปลงแล้วสามารถจ่ายให้โหลดโดยตรงหรือเก็บสะสมไว้ในแบตเตอรี่เพื่อใช้งานภายหลัง

นอกจากนี้ ระบบยังติดตั้งเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิบริเวณผิวแผงเซลล์ทั้งด้านบนและด้านล่างในแต่ละระดับความสูง เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิที่แตกต่างกันต่อสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อีกทั้งมีการติดตั้งชุดเครื่องมือวัดสภาพอุตุนิยมวิทยาเพื่อเก็บข้อมูลความเร็วและทิศทางลม อุณหภูมิแวดล้อม ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ ข้อมูลทั้งหมดถูกจัดเก็บด้วยเครื่องบันทึกข้อมูลดิจิทัลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์เชิงลึก

การบันทึกข้อมูลดำเนินการทุก ๆ 5 นาที ตั้งแต่เวลา 06:00 น. ถึง 18:00 น. ต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 2 เดือน ตั้งแต่เดือนมีนาคมถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2567 โดยข้อมูลที่ได้ประกอบด้วย อุณหภูมิพื้นผิวแผงเซลล์ด้านบนและด้านล่าง กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ ปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ ความเร็วและทิศทางลม รวมถึงระดับความชื้นสัมพัทธ์ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยเหล่านี้กับประสิทธิภาพการทำงานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในบริบทของความสูงในการติดตั้ง



รูปที่ 3.7 รูปการทำงานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดสูงสุด 4.86 กิโลวัตต์

3.2.2 การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารจอดรถขนาด 10 กิโลวัตต์ ที่ระดับความสูง 2.5 เมตร 3 เมตร และ 3.5 เมตร

3.2.2.1 รายละเอียดระบบเซลล์แสงอาทิตย์

ในการศึกษานี้ได้มีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า (Grid-Connected Photovoltaic System) โดยเลือกใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโพลีคริสตัลไลน์ (Polycrystalline Silicon) ซึ่งมีจุดเด่นในด้านต้นทุนที่ต่ำกว่าชนิดโมโนคริสตัลไลน์ แม้ว่าประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานของเซลล์ประเภทนี้จะอยู่ในช่วงประมาณ 15–18% ซึ่งน้อยกว่าเซลล์โมโนเล็กน้อย แต่ยังถือว่าเพียงพอและเหมาะสมสำหรับการใช้งานในพื้นที่ที่ไม่จำกัด และมีเป้าหมายในการเพิ่มความคุ้มค่าในการลงทุนระยะยาว โดยเน้นที่ต้นทุนต่อหน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้ในระดับที่เหมาะสม ทั้งนี้ การเลือกใช้เซลล์ชนิดโพลีคริสตัลไลน์จึงเป็นทางเลือกที่สมดุลระหว่างประสิทธิภาพและความประหยัดในระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดใช้งานจริง [11]

ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ ประกอบด้วยองค์ประกอบหลักและอุปกรณ์สนับสนุนดังต่อไปนี้

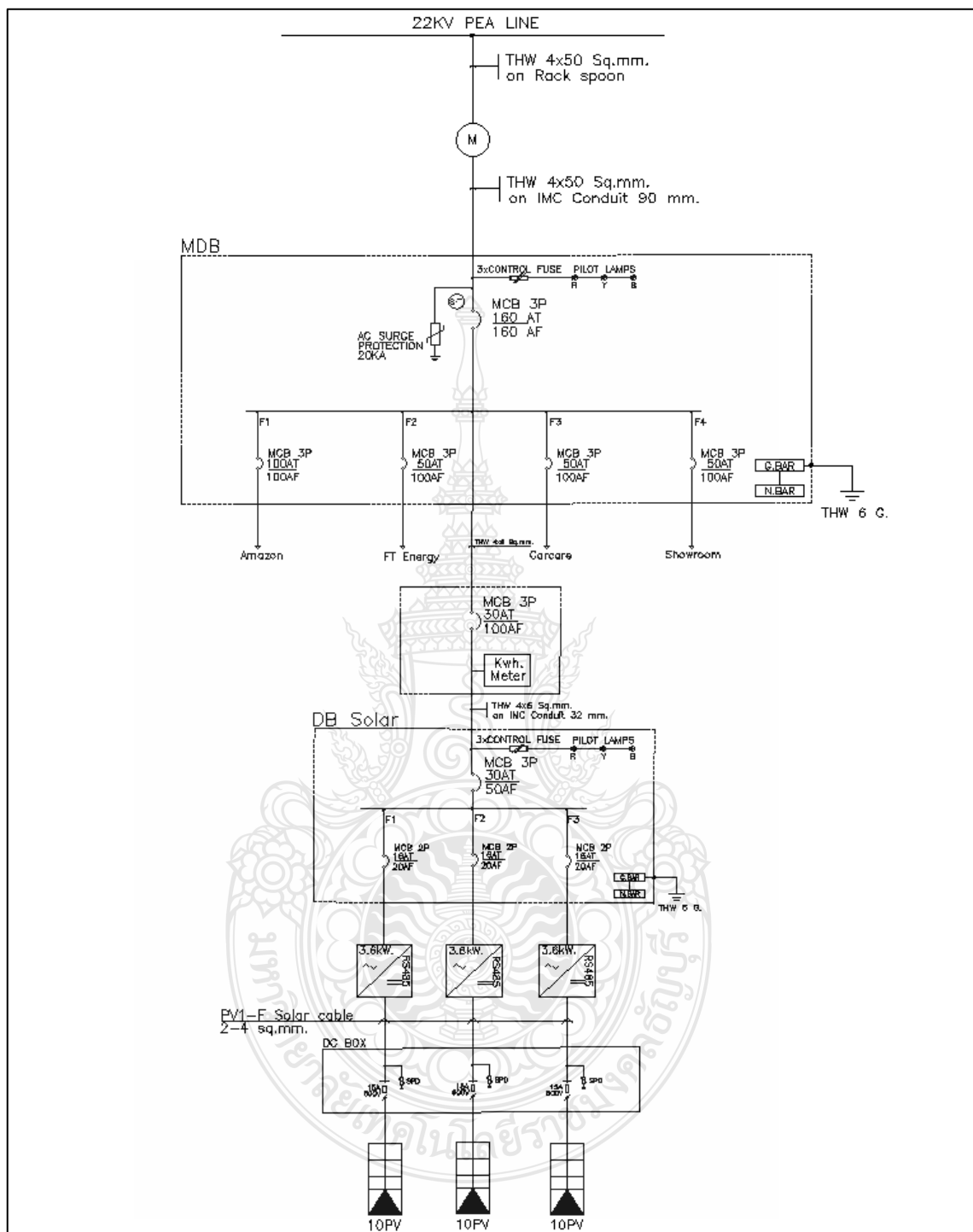
1) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 330 วัตต์ จำนวน 30 แผง มีกำลังการผลิตรวมสูงสุดเท่ากับ 10 กิโลวัตต์ ซึ่งได้รับการติดตั้งที่ระดับความสูง 3 ระดับ ได้แก่ ระดับ 2.5 เมตร, 3.0 เมตร และ 3.5 เมตร แต่ละระดับมีจำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์เท่ากับ 10 แผง วางเรียงในแนวขนานที่ระดับความสูงที่กำหนด เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์ภายใต้สภาวะระดับความสูงที่แตกต่างกัน โดยกำหนดให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดมีมุมเอียง 0° และมุมอะซิมุท 0°

- 2) อินเวอร์เตอร์แบบเฟสเดี่ยว ขนาด 3.6 กิโลวัตต์ จำนวน 3 ชุด
- 3) เครื่องวัดกระแสไฟฟ้าดิจิทัล จำนวน 2 เครื่อง
- 4) ชุดเครื่องมือวัดอุณหภูมิพื้นผิวเซลล์แสงอาทิตย์ จำนวน 6 ชุด
- 5) เครื่องมือวัดความเร็วและทิศทางลม จำนวน 1 เครื่อง
- 6) เครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ จำนวน 1 เครื่อง
- 7) เครื่องวัดปริมาณรังสีจากดวงอาทิตย์ จำนวน 1 เครื่อง
- 8) เครื่องบันทึกข้อมูลแบบไม่ใช้กระดาษ (Paperless Data Recorder) จำนวน 1 เครื่อง

3.2.2.2 การติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์

การก่อสร้างอาคารจอดรถมีระบบขนาด 10 กิโลวัตต์ ได้รับการออกแบบโดยวิศวกรโยธาผู้เชี่ยวชาญ โดยคำนึงถึงหลักการทางวิศวกรรมและเป็นไปตามข้อกำหนดของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในส่วนของระบบไฟฟ้านั้น ได้รับการออกแบบจากวิศวกรไฟฟ้าที่มีประสบการณ์

ด้านการติดตั้งระบบ โดยอ้างอิงจากสภาพพื้นที่ติดตั้งและความต้องการใช้งานจริง เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงสุดและเกิดความปลอดภัยในการใช้งานอย่างแท้จริง ทั้งนี้ ผู้ออกแบบต้องมีใบประกอบวิชาชีพที่เกี่ยวข้อง เพื่อรับรองคุณภาพ ความถูกต้อง และความน่าเชื่อถือของกระบวนการออกแบบและการติดตั้งระบบดังกล่าว วิศวกรไฟฟ้าได้จัดทำแบบไดอะแกรมเส้นเดี่ยว (Single Line Diagram) ดังแสดงในรูปที่ 3.8 เพื่อเป็นแนวทางสำหรับการดำเนินงานติดตั้ง และเพื่อใช้ประกอบการยื่นเอกสารขออนุญาตจากหน่วยงานราชการที่เกี่ยวข้อง การดำเนินงานก่อสร้างอาคารจอดรถพลังงานแสงอาทิตย์ เริ่มต้นจากการสำรวจพื้นที่จริงสำหรับติดตั้งระบบ (ดังแสดงในรูปที่ 3.9) เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาใช้ในการออกแบบงานฐานรากและโครงสร้างอาคารที่จะรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการออกแบบและควบคุมการก่อสร้างในขั้นตอนนี้ดำเนินงานโดยวิศวกรโยธาผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานทางวิศวกรรมที่เกี่ยวข้อง ดังแสดงในรูปที่ 3.10 การก่อสร้างโครงสร้างอาคารจอดรถ แสดงดังรูปที่ 3.11 โดยในการดำเนินงานครั้งนี้ได้เลือกใช้ช่างประกอบที่มีประสบการณ์และมีความเชี่ยวชาญด้านการเชื่อมโลหะ เนื่องจากลักษณะงานส่วนใหญ่จำเป็นต้องอาศัยความแข็งแรงทางกลของโครงสร้าง เพื่อให้สามารถรองรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ได้อย่างมั่นคงและปลอดภัย สำหรับการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารจอดรถนั้น ได้ออกแบบเป็นลักษณะชั้นบันไดจำนวน 3 ระดับ โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำหน้าที่เป็นหลังคา และยึดติดกับโครงสร้างหลักของอาคารจอดรถดังแสดงในรูปที่ 3.12 ทั้งนี้ การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารจอดรถของร้านคาเฟ่เมซอน สาขาข้ามมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ได้กำหนดระดับความสูงของการติดตั้งไว้ที่ 2.5 เมตร, 3 เมตร และ 3.5 เมตร จากพื้นดิน ดังแสดงในรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.8 แบบไดอะแกรมเส้นเดียวของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดติดตั้งหลังคาจอดรถ
ขนาด 10 กิโลวัตต์



รูปที่ 3.9 พื้นที่หน้างานจริงก่อนทำการก่อสร้าง



รูปที่ 3.10 งานฐานราก



รูปที่ 3.11 การก่อสร้างโครงอาคารจอดรถ



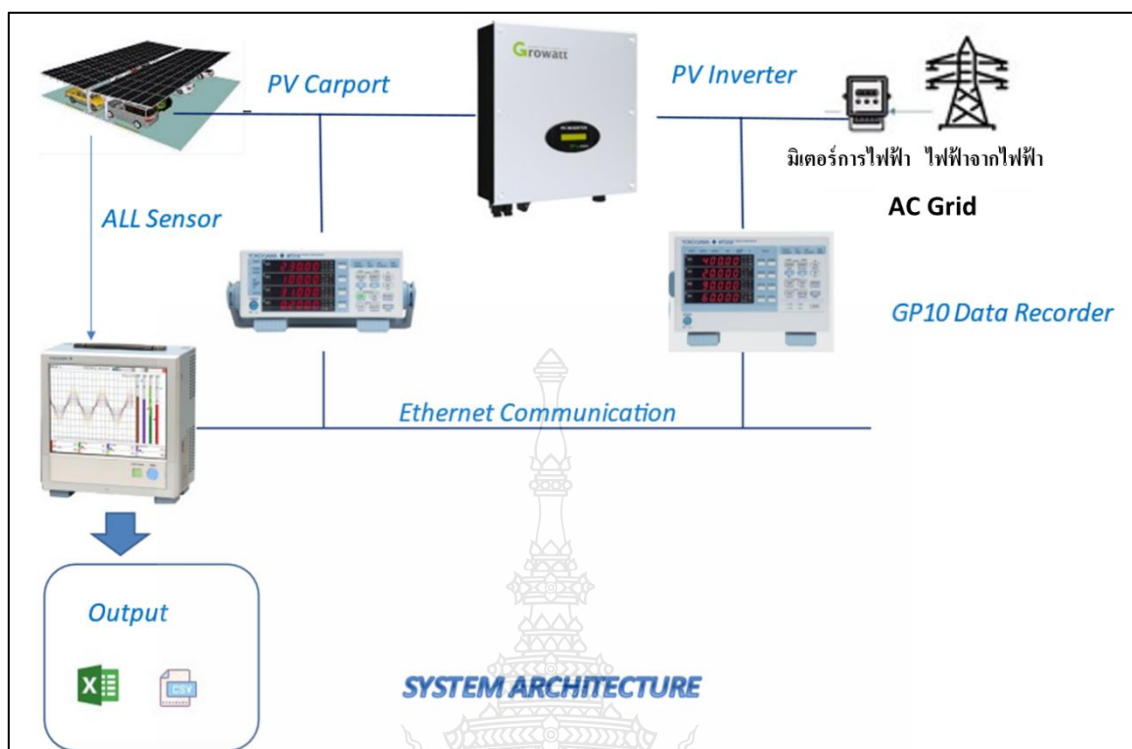
รูปที่ 3.12 การยึดตัวเซลล์แสงอาทิตย์กับโครงสร้างที่จอดรถ



รูปที่ 3.13 การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารจอดรถ ที่ระดับความสูง 2.5 เมตร 3 เมตร และ 3.5 เมตร จากพื้นดิน

3.2.2.3 หลักการทำงานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์

ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ทำงานโดยเริ่มจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำหน้าที่แปลงพลังงานจากแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง (DC) จากนั้นไฟฟ้าที่ผลิตได้จะถูกส่งเข้าสู่อินเวอร์เตอร์ เพื่อแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ซึ่งสามารถนำไปใช้งานกับโหลดภายในระบบได้โดยตรง เพื่อรองรับการวิเคราะห์ที่แม่นยำ ระบบดังกล่าวได้ติดตั้งเครื่องวัดกระแสไฟฟ้าดิจิทัล สำหรับตรวจวัดและบันทึกค่าพลังงานไฟฟ้าทั้งในฝั่งกระแสตรงและกระแสสลับอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ ยังมีการติดตั้งเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิบนพื้นผิวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้งบริเวณด้านบนและด้านล่างของแผงในแต่ละระดับความสูง เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของอุณหภูมิกับประสิทธิภาพการแปลงพลังงานของแผงเซลล์ ในการเก็บข้อมูลด้านสภาพแวดล้อม ระบบได้ติดตั้งชุดเครื่องมือวัดอุณหภูมิบนพื้นผิวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อวัดค่าทิศทางลม ความเร็วลม ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ โดยข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากเครื่องมือวัดจะถูกจัดเก็บผ่านเครื่องบันทึกข้อมูลแบบไม่ใช้กระดาษ (Paperless Data Recorder) ซึ่งสามารถแสดงผลในรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงลึกได้อย่างเป็นระบบ การบันทึกข้อมูลดำเนินตลอดช่วงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2567 และแผนภาพแสดงกระบวนการทำงานของระบบทั้งหมดสามารถดูได้ในรูปที่ 3.14 ทั้งนี้ อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองตรงกับข้อมูลจำเพาะของรุ่นและยี่ห้อที่ได้ระบุไว้ในหัวข้อ 3.1 ของการศึกษา



รูปที่ 3.14 แผนภาพหลักการทำงานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 กิโลวัตต์

3.2.3 การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารตลาดวงศกรขนาด 200 กิโลวัตต์

3.2.3.1 รายละเอียดระบบเซลล์แสงอาทิตย์

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ดำเนินการออกแบบและดำเนินการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบไฮบริด ขนาดกำลังผลิตรวม 200 กิโลวัตต์ บนหลังคาอาคารตลาดวงศกร เขตสายไหม กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย 10220 ระบบดังกล่าวประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโพลีคริสตัลไลน์ จำนวนทั้งสิ้น 609 แผง โดยแต่ละแผงมีกำลัง 330 วัตต์ รวมเป็นกำลังผลิตติดตั้งทั้งหมด 200 กิโลวัตต์ การเลือกใช้เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโพลีคริสตัลไลน์มีเหตุผลด้านความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ เนื่องจากมีต้นทุนต่ำกว่าเซลล์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์ แม้ว่าอัตราการแปลงพลังงานจะอยู่ในช่วง 15–18% ซึ่งน้อยกว่าเล็กน้อย แต่ก็เหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับพื้นที่ที่มีขนาดเพียงพอ และเน้นการลงทุนที่ให้ผลตอบแทนในระยะยาว องค์ประกอบสำคัญของระบบไฮบริดนี้ได้แก่ อินเวอร์เตอร์ไฮบริดขนาด 150 กิโลวัตต์ ตู้จ่ายไฟหลัก (Main Distribution Board: MDB) และ แบตเตอรี่ลิเธียมที่มีความจุ 100 กิโลวัตต์ชั่วโมง ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการจัดการพลังงาน ช่วยเพิ่มเสถียรภาพในการจ่ายกระแสไฟฟ้า และลดความผันผวนของโหลด โดยระบบจะเก็บพลังงานส่วนเกิน

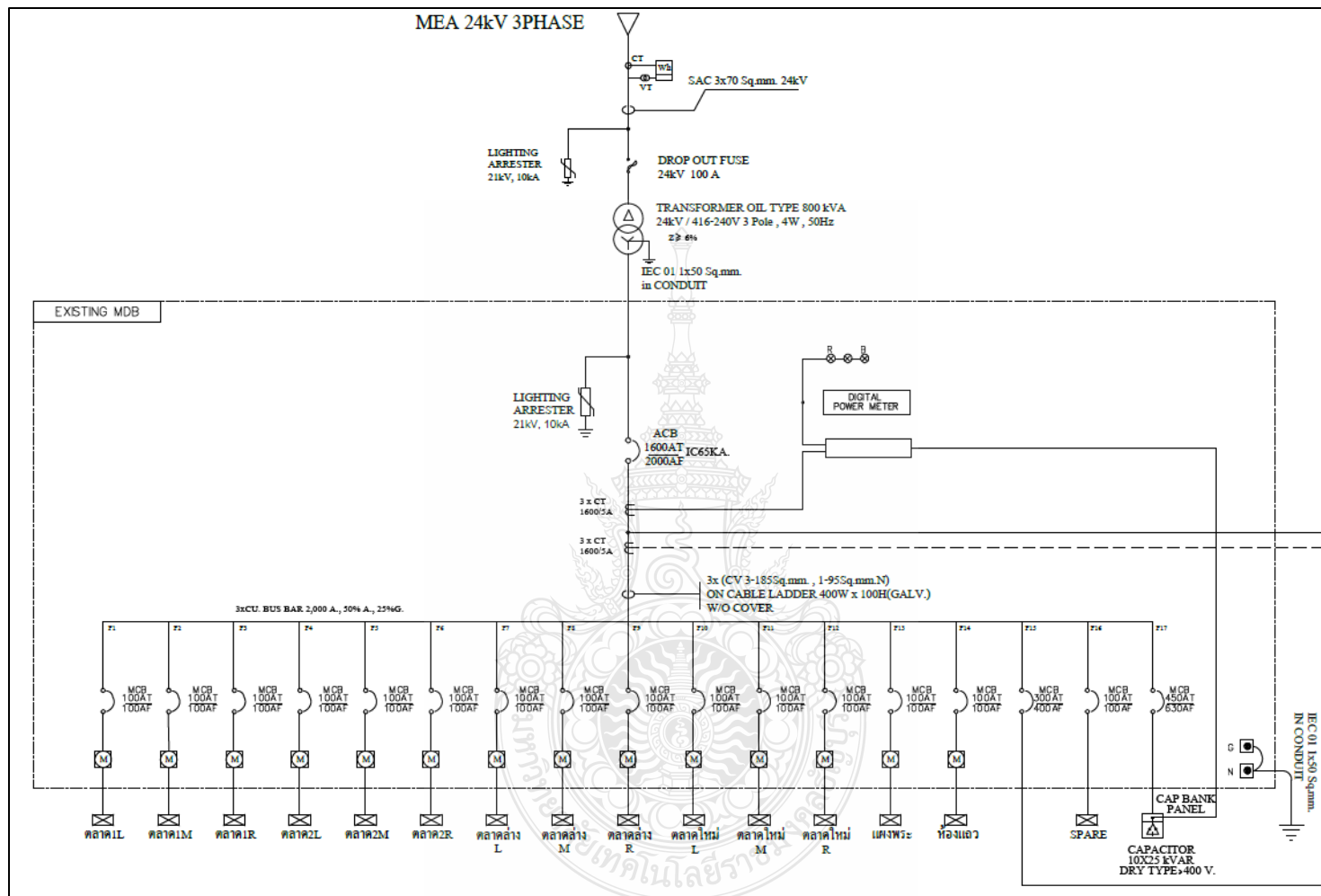
จากช่วงที่แสงแดดจัดไว้ในแบตเตอรี่ เพื่อใช้ในช่วงเวลาที่แสงอาทิตย์ไม่เพียงพอหรือในเวลากลางคืน ลดการพึ่งพาไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายหลัก และส่งเสริมประสิทธิภาพการใช้พลังงานอย่างยั่งยืน

ในด้านการจัดวางแผงเซลล์ มีการแบ่งรูปแบบการเชื่อมต่อออกเป็น 2 แบบ ได้แก่ แบบแรก: ติดตั้งแผงจำนวน 21 แผงต่อสตริง จำนวนทั้งหมด 9 สตริง โดยเชื่อมต่อ 3 สตริงต่อ อินเวอร์เตอร์ 1 เครื่อง แบบที่สอง: ติดตั้งแผงจำนวน 20 แผงต่อสตริง จำนวนทั้งสิ้น 21 สตริง โดยเชื่อมต่อทุก 3 สตริงกับอินเวอร์เตอร์อีกชุดหนึ่ง การออกแบบการเชื่อมต่อดังกล่าวถูกกำหนดให้ สอดคล้องกับข้อกำหนดทางเทคนิคของระบบไฮบริด เพื่อให้สามารถรองรับการผลิตพลังงานได้อย่างเต็ม ประสิทธิภาพ และสามารถควบคุมคุณภาพของกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้อย่างเสถียรและต่อเนื่อง

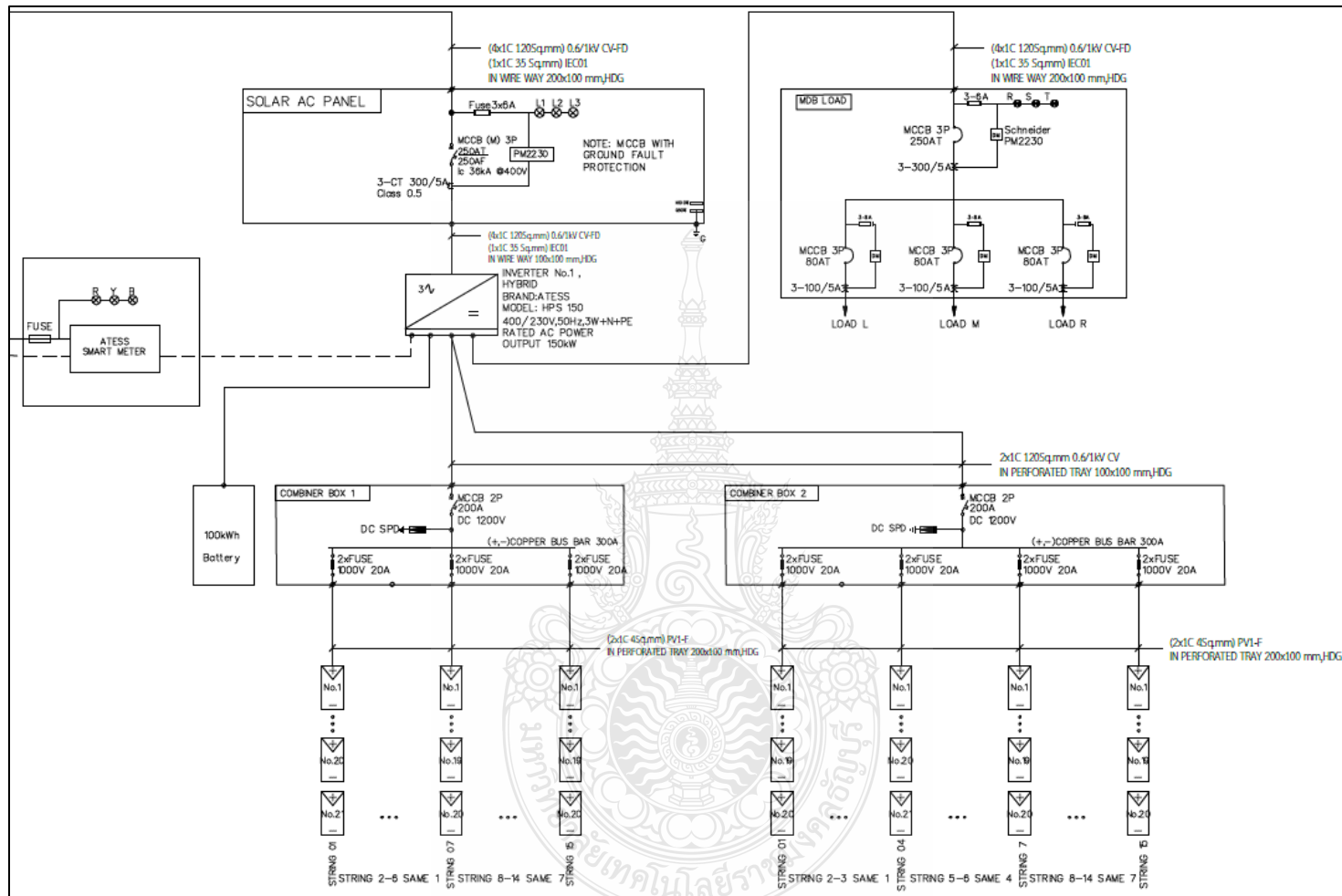
3.2.3.2 การติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์

ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 200 กิโลวัตต์ ซึ่งติดตั้งบน หลังคาอาคารตลาดวงศกร ได้รับการออกแบบโดยทีมวิศวกรโยธาและวิศวกรไฟฟ้าที่มีความเชี่ยวชาญ โดยยึดหลักวิศวกรรมและเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดโดยวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย เพื่อให้มั่นใจได้ถึงประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานและความปลอดภัยของระบบในระยะยาว

ในกระบวนการออกแบบ ได้มีการจัดทำแบบไดอะแกรมเส้นเดี่ยว (Single Line Diagram) เพื่อใช้เป็นแนวทางในการติดตั้งระบบ ซึ่งสามารถดูรายละเอียดได้จากรูปที่ 3.15 และ 3.16 ซึ่งแสดงภาพต่อเนื่องกัน สำหรับแบบแปลนการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 200 กิโลวัตต์ ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.17 ขณะที่ภาพการติดตั้งจริงของระบบบนพื้นที่จริงปรากฏในรูปที่ 3.18 ทั้งนี้ การออกแบบและดำเนินการติดตั้งทั้งหมดได้รับการควบคุมและตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญ เพื่อให้ สอดคล้องกับมาตรฐานทางเทคนิค และรองรับการทำงานของระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด



รูปที่ 3.15 แบบไดอะแกรมเส้นเดียวของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์หลังคาอาคารตลาดวงศกรขนาด 200 กิโลวัตต์ (1)



รูปที่ 3.16 แบบไดอะแกรมเส้นเดียวของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์หลังคาอาคารตลาดวงศกรขนาด 200 กิโลวัตต์ (2)

ในการศึกษาครั้งนี้ได้มีการออกแบบและจัดการทดลองอย่างเป็นระบบ โดยควบคุมตัวแปรต่าง ๆ ที่อาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์อย่างเข้มงวด เพื่อให้มั่นใจได้ว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองมีความถูกต้อง แม่นยำ และน่าเชื่อถือ โดยโครงสร้างของการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

- 1) การทดลองในแต่ละรูปแบบดำเนินการในพื้นที่และในเวลาเดียวกัน เพื่อให้แผงทุกตัวได้รับสภาพแสงแดด อุณหภูมิ และลม เหมือน ซึ่งมีการบันทึกข้อมูลสภาพอากาศ (เช่น อุณหภูมิอากาศ ความเร็วลม ฯลฯ) ควบคู่ไปด้วย
- 2) การทดลองในแต่ละรูปแบบใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดและขนาดเดียวกัน เพื่อให้ค่าความแตกต่างของการผลิตไฟฟ้าเกิดจากตัวแปร “ความสูงติดตั้ง” เป็นหลัก ไม่ใช่ความแตกต่างของคุณสมบัติแผง นอกจากนี้การทดลองในแต่ละรูปแบบใช้อินเวอร์เตอร์และอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นในระบบที่เหมือนกัน ลดความแปรปรวนจากประสิทธิภาพอุปกรณ์
- 3) การทดลองในแต่ละรูปแบบมีการติดตั้งและจัดวางแผงแต่ละความสูงในลักษณะเดียวกัน และแยกตำแหน่งกันอย่างเหมาะสมเพื่อไม่ให้บังเงากันเองระหว่างกลุ่มแผงที่ความสูงต่างกัน โดยเว้นระยะห่างแต่ละชุดเพียงพอกับที่ดวงอาทิตย์จะส่องถึงทุกชุดตลอดช่วง 06.00-18.00 น.
- 4) การบันทึกข้อมูลที่เพียงพอและครอบคลุมทุกสภาพ ตั้งแต่วันที่ท้องฟ้าแจ่มใสจนถึงวันที่มีเมฆบางส่วน ข้อมูลที่ได้ถูกนำมาวิเคราะห์เฉลี่ยและเปรียบเทียบระหว่างความสูงต่าง ๆ

3.2.3.3 หลักการทำงานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์

ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบไฮบริดที่ติดตั้งบนหลังคาอาคารตลาดวงศกร ได้รับการออกแบบให้สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้จากแสงอาทิตย์ในช่วงเวลากลางวัน โดยพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกรวบรวมผ่านตู้รวมกระแสไฟฟ้า (DC Combiner Box) ดังแสดงในรูปที่ 3.19 ซึ่งทำหน้าที่รวมกระแสไฟฟ้าจากแต่ละสตริงเข้าสู่ระบบ จากนั้นกระแสไฟฟ้างกล่าวจะถูกส่งต่อไปยังอินเวอร์เตอร์ไฮบริดขนาด 150 กิโลวัตต์ (รูปที่ 3.20 ข.) เพื่อแปลงเป็นกระแสสลับ (AC) สำหรับจ่ายไฟให้กับโหลด

เมื่อกระแสไฟฟ้าถูกแปลงเป็น AC แล้ว ระบบจะจัดสรรพลังงานออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกถูกเก็บไว้ในแบตเตอรี่ลิเทียมขนาด 100 กิโลวัตต์-ชั่วโมง (รูปที่ 3.20 ก.) เพื่อใช้เป็นพลังงานสำรองในกรณีที่กำลังผลิตไฟฟ้าไม่เพียงพอ เช่น เวลากลางคืนหรือช่วงที่แสงอาทิตย์อ่อน ส่วนที่สองจะถูกจ่ายตรงไปยังโหนดของอาคารตลาด หากแบตเตอรี่ถูกชาร์จจนเต็ม ระบบจะส่งพลังงานที่เหลือทั้งหมดไปยังโหนดโดยอัตโนมัติ ในกรณีที่ไม่มีแสงอาทิตย์หรือพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ไม่เพียงพอ ระบบจะสลับมาใช้พลังงานจากแบตเตอรี่โดยอัตโนมัติ เพื่อให้การจ่ายพลังงานยังคงต่อเนื่องและมีเสถียรภาพ

นอกจากนี้ ระบบยังได้รับการออกแบบให้สามารถเชื่อมต่อกับพลังงานไฟฟ้าจากการไฟฟ้านครหลวง (MEA) ผ่านตู้จ่ายไฟหลัก (Main Distribution Board: MDB) และมีการติดตั้งตู้เบรกเกอร์วงจรไฟฟ้า (รูปที่ 3.21) ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมและป้องกันความเสียหายจากเหตุการณ์ผิดปกติ เช่น ไฟฟ้าลัดวงจรหรือกระแสไฟเกิน ระบบจึงสามารถดึงพลังงานจากการไฟฟ้ามาใช้งานได้เมื่อพลังงานจากแหล่งพลังงานแสงอาทิตย์และแบตเตอรี่ไม่เพียงพอ

จากหลักการทำงานดังกล่าว แสดงให้เห็นถึงการบูรณาการการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์หลัก ได้แก่ ตู้รวมกระแสไฟฟ้า อินเวอร์เตอร์ไฮบริด แบตเตอรี่ ตู้จ่ายไฟหลัก และตู้เบรกเกอร์วงจรไฟฟ้า ซึ่งล้วนมีบทบาทสำคัญต่อประสิทธิภาพ ความมั่นคง และความปลอดภัยของระบบผลิตไฟฟ้าในอาคารตลาดวงศกร โดยสามารถดูภาพรวมของการทำงานได้จากแผนภาพระบบขนาด 200 กิโลวัตต์ในรูปที่ 3.18 และระบบไฮบริดโดยรวมในรูปที่ 3.21



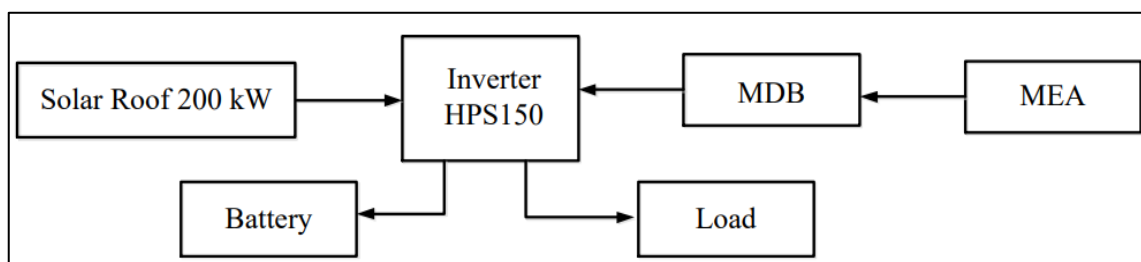
รูปที่ 3.19 ตู้รวมกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ (DC Combiner Box)



รูปที่ 3.20 ก. แบตเตอรี่ลิเธียม 100 กิโลวัตต์-ชั่วโมง และ ข. อินเวอร์เตอร์ไฮบริด 150 กิโลวัตต์



รูปที่ 3.21 ตู้เบรกเกอร์วงจรไฟฟ้า



รูปที่ 3.22 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบไฮบริดตลาดวงจร

3.3 การจำลองระบบเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยซอฟต์แวร์ PVsyst

ในการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกใช้ซอฟต์แวร์ PVsyst เพื่อจำลองและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ เนื่องจาก PVsyst เป็นซอฟต์แวร์ที่ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลายในวงการวิชาการ มีความแม่นยำในการประเมินผลผลิตไฟฟ้าสูง และมีเครื่องมือที่ครอบคลุมทั้งด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ ทำให้สามารถเปรียบเทียบผลลัพธ์กับงานวิจัยอื่นได้โดยสะดวก นอกจากนี้ ยังมีฐานข้อมูลที่ทันสมัยสำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ในตลาดปัจจุบัน จึงช่วยเสริมความน่าเชื่อถือทางวิชาการให้กับงานวิจัยนี้ [25], [24], [28] ปัจจัยที่ถูกนำมาพิจารณาในการจำลองประกอบด้วย ตำแหน่งที่ตั้ง ข้อมูลจำเพาะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และอินเวอร์เตอร์ มุมเอียงและมุมอะซิมัทของแผง รวมถึงข้อมูลสภาพแวดล้อม ได้แก่ ความเร็วลมและอุณหภูมิอากาศ [3], [52], [53]

3.3.1 การจำลองระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นดินขนาด 4.86 กิโลวัตต์ ที่ระดับความสูง 1 เมตร 1.5 เมตร และ 2 เมตร จากพื้นดิน ด้วยซอฟต์แวร์ PVsyst

3.3.1.1 ตำแหน่งที่ตั้งของระบบ

ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการศึกษานี้ตั้งอยู่ในพื้นที่ตำบลคลองสี่ อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี โดยมีพิกัดทางภูมิศาสตร์ที่ละติจูด 14.05° เหนือ และลองจิจูด 100.69° ตะวันออก ข้อมูลปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ใช้ในการจำลองประสิทธิภาพของระบบได้มาจากฐานข้อมูล Solargis ซึ่งเป็นแหล่งข้อมูลที่มีความเชื่อถือในระดับสากล นอกจากนี้ ยังมีการนำข้อมูลด้านสภาพแวดล้อมอื่น ๆ เช่น อุณหภูมิของอากาศ และความเร็วลม มาประกอบการวิเคราะห์เพื่อให้ผลการจำลองสะท้อนถึงสภาพการทำงานจริงของระบบได้อย่างแม่นยำยิ่งขึ้น

3.3.1.2 มุมเอียงและมุมอะซิมัทของเซลล์แสงอาทิตย์

ในการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ครั้งนี้ ได้กำหนดให้แผงเซลล์ติดตั้งในลักษณะที่มีมุมเอียง 15 องศา และมุมอะซิมัท 0 องศา ซึ่งเป็นการหันหน้าของแผงตรงไปทางทิศใต้ โดยพิจารณาจากหลักการรับแสงอาทิตย์ให้ได้มากที่สุดตลอดทั้งปี เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานให้สูงสุดภายใต้สภาพภูมิอากาศของพื้นที่ติดตั้ง

3.3.1.3 ข้อมูลจำเพาะของเซลล์แสงอาทิตย์และอินเวอร์เตอร์

ข้อมูลจำเพาะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในการจำลองถูกแสดงไว้ในตารางที่ 3.2 – 3.4 ข้อมูลทั้งหมดนี้ถูกนำเข้าสู่ซอฟต์แวร์ PVsyst เพื่อทำการจำลองและเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จริง เพื่อยืนยันความถูกต้องแม่นยำของแบบจำลอง

3.3.2 การจำลองระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารจอดรถขนาด 10 กิโลเมตร ที่ระดับความสูง 2.5 เมตร 3 เมตร และ 3.5 เมตร จากพื้นดิน ด้วยซอฟต์แวร์ PVsyst

3.3.2.1 ตำแหน่งที่ตั้งของระบบ

ระบบเซลล์แสงอาทิตย์นี้ตั้งอยู่ที่ตำบลคลองหก อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี โดยมีพิกัดทางภูมิศาสตร์ละติจูด 14.05°N และลองจิจูด 100.69°E ใช้ข้อมูลรังสีดวงอาทิตย์จากฐานข้อมูล Solargis และรวมข้อมูลด้านสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบเช่นเดียวกัน

3.3.2.2 มุมเอียงและมุมอะซิมัทของเซลล์แสงอาทิตย์

สำหรับการจำลองระบบในกรณีนี้ ได้กำหนดให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ติดตั้งในลักษณะแนวนอน โดยมีมุมเอียง 0 องศา และมุมอะซิมัท 0 องศา ซึ่งหมายถึงการหันหน้าของแผงไปทางทิศใต้ ทั้งนี้ เพื่อให้สอดคล้องกับลักษณะทางกายภาพของหลังคาอาคารจอดรถ และยังคงสามารถรักษาประสิทธิภาพในการรับแสงอาทิตย์และผลิตพลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพภายใต้ข้อจำกัดของโครงสร้างอาคาร

3.3.2.3 ข้อมูลจำเพาะของเซลล์แสงอาทิตย์และอินเวอร์เตอร์

ข้อมูลจำเพาะทางเทคนิคของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในการจำลองระบบนี้ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.23

PV Array Characteristics				
PV module	Si-mono	Model	JAM60S10-330/PR	
Custom parameters definition	Manufacturer	JA Solar		
Number of PV modules	In series	10 modules	In parallel	3 strings
Total number of PV modules	Nb. modules	30	Unit Nom. Power	330 Wp
Array global power	Nominal (STC)	9.90 kWp	At operating cond.	9.02 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)	U mpp	306 V	I mpp	30 A
Total area	Module area	50.5 m²	Cell area	45.1 m²
Inverter	Model	Growatt 3600MTL-10		
Original PVsyst database	Manufacturer	Growatt New Energy		
Characteristics	Operating Voltage	120-600 V	Unit Nom. Power	3.60 kWac
Inverter pack	Nb. of inverters	3 units	Total Power	10.8 kWac
			Pnom ratio	0.92

รูปที่ 3.23 ข้อมูลจำเพาะทางเทคนิคของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และอินเวอร์เตอร์ที่ใช้จำลองระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารจอดรถ

3.3.3 การจำลองระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารตลาดวงศกรขนาด 200 กิโลวัตต์ ด้วยซอฟต์แวร์ PVsyst

3.3.3.1 ตำแหน่งที่ตั้งของระบบ

ระบบเซลล์แสงอาทิตย์นี้ตั้งอยู่บนหลังคาอาคารตลาดวงศกร แขวงสายไหม เขตสายไหม กรุงเทพมหานคร โดยมีพิกัดทางภูมิศาสตร์ละติจูด 13.92°N และลองจิจูด 100.68°E ใช้ข้อมูลรังสีดวงอาทิตย์จากฐานข้อมูล Solargis และได้พิจารณาข้อมูลความเร็วลมและอุณหภูมิแวดล้อมในการจำลอง

3.3.3.2 มุมเอียงและมุมอะซิมัทของเซลล์แสงอาทิตย์

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ในการจำลองครั้งนี้กำหนดให้มีมุมเอียง 20° และมุมอะซิมัท 0° และ 180° (หันหน้าไปทางทิศใต้และทิศเหนือ) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าตามสภาพของโครงสร้างหลังคา

3.3.3.3 ข้อมูลจำเพาะของเซลล์แสงอาทิตย์และอินเวอร์เตอร์

ข้อมูลจำเพาะทางเทคนิคของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในการจำลองระบบนี้ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.5

ในการศึกษาครั้งนี้ ข้อมูลจำเพาะทางเทคนิคและปัจจัยแวดล้อมต่าง ๆ ได้ถูกนำเข้าสู่ออฟต์แวร์ PVsyst เพื่อจำลองการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละกรณีศึกษา โดยผลการจำลองจะถูกเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากระบบจริง เพื่อยืนยันความแม่นยำและความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง กระบวนการจำลองทั้งสามกรณีดำเนินการตามขั้นตอนที่เป็นระบบและมาตรฐานเดียวกัน เพื่อให้ผลลัพธ์สามารถสะท้อนสภาพการใช้งานจริงได้อย่างถูกต้องแม่นยำ และนำไปใช้อ้างอิงทางวิชาการได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3.4 การประเมินต้นทุนโครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์

3.4.1 การประเมินต้นทุนโครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นดินขนาด 4.86 กิโลวัตต์ ที่ระดับความสูง 1 เมตร 1.5 เมตร และ 2 เมตร จากพื้นดิน

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ดำเนินการวิเคราะห์ต้นทุนการก่อสร้างโครงสร้างรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในสามระดับความสูง ได้แก่ 1 เมตร, 1.5 เมตร และ 2 เมตร โดยเปรียบเทียบกับปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้ในแต่ละระดับ เพื่อประเมินระดับความสูงที่เหมาะสมที่สุด กล่าวคือ ระดับที่สามารถผลิตพลังงานได้สูงสุดภายใต้ต้นทุนการก่อสร้างที่ต่ำที่สุด การวิเคราะห์ต้นทุนในครั้งนี้พิจารณาจากองค์ประกอบหลักที่เกี่ยวข้องกับการติดตั้งโครงสร้างระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งครอบคลุมถึงวัสดุ อุปกรณ์ ค่าแรงงาน และเงื่อนไขด้านวิศวกรรมที่จำเป็นในการติดตั้งแต่ละระดับความสูง

3.1.3.1 วัสดุหลักที่ใช้ในการก่อสร้างโครงสร้างระบบในการศึกษานี้ คือ เหล็กกล่องสี่เหลี่ยม ขนาด 2 นิ้ว $\times$ 2 นิ้ว $\times$ 2.6 มิลลิเมตร ซึ่งได้รับการเลือกใช้งานเนื่องจากมีคุณสมบัติด้านความแข็งแรงและความทนทานที่เหมาะสม สามารถรองรับน้ำหนักของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และอุปกรณ์ประกอบต่าง ๆ ได้อย่างมั่นคงและปลอดภัย

3.1.3.2 ชุดอุปกรณ์สำหรับติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ประกอบด้วยรางยึดและขารองรับแบบ L-Feet ซึ่งทำหน้าที่เป็นจุดเชื่อมต่อระหว่างแผงเซลล์กับโครงสร้างหลักของระบบ โดยออกแบบมาเพื่อให้สามารถติดตั้งได้อย่างมั่นคงและรองรับน้ำหนักของแผงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3.1.3.3 วัสดุสิ้นเปลือง ได้แก่ ไขควง ไขควง และลวดเชื่อม ซึ่งใช้สำหรับการตัดและเชื่อมต่อชิ้นส่วนของโครงสร้าง

3.1.3.4 งานพ่นสี เพื่อป้องกันสนิมและเพิ่มอายุการใช้งานของโครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์

3.1.3.5 งานประกอบโครงสร้าง เป็นกระบวนการประกอบชิ้นส่วนทั้งหมดให้เป็นโครงสร้างที่มั่นคง แข็งแรง และพร้อมใช้งาน

3.4.2 การประเมินต้นทุนโครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารจอดรถขนาด 10 กิโลวัตต์ ที่ระดับความสูง 2.5 เมตร 3 เมตร และ 3.5 เมตร จากพื้นดิน

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงินของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ โดยมีการใช้ข้อมูลเชิงปริมาณจากพลังงานไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้จริง ร่วมกับมูลค่าการประหยัดค่าไฟฟ้าที่เกิดจากการลดการพึ่งพากระแสไฟฟ้าจากระบบสายส่ง และต้นทุนเริ่มต้นในการติดตั้งระบบ ผลการวิเคราะห์ได้นำเสนอในรูปแบบของระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) ซึ่งแสดงถึงช่วงเวลาที่ระบบสามารถสร้างมูลค่าการประหยัดหรือรายได้สะสมจนเทียบเท่ากับเงินลงทุนเริ่มต้น หาก

ระยะเวลาดังกล่าวอยู่ในระดับที่เหมาะสมตามเกณฑ์ของการลงทุนในด้านพลังงานหมุนเวียน ระบบจะถือว่ามีความคุ้มค่าในทางการเงินและวิศวกรรมด้วยกัน และสามารถใช้เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจลงทุนในอนาคตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

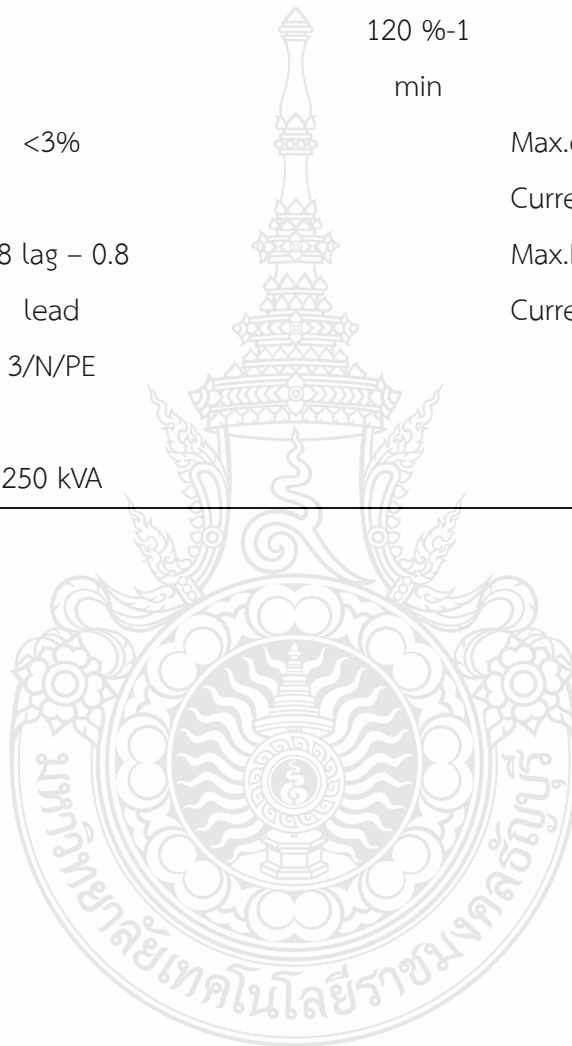
3.4.3 การประเมินต้นทุนโครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารตลาดวงศกรขนาด 200 กิโลวัตต์

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ดำเนินการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ โดยอาศัยการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณจากปริมาณไฟฟ้าที่ระบบสามารถผลิตได้จริง ควบคู่กับมูลค่าค่าไฟฟ้าที่สามารถลดลงจากการลดการพึ่งพาพลังงานจากระบบสายส่ง รวมถึงการพิจารณาต้นทุนเริ่มต้นของการลงทุนในระบบดังกล่าว ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์แสดงในรูปแบบของระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) ซึ่งบ่งชี้ระยะเวลาที่ระบบสามารถสร้างผลตอบแทนหรือประหยัดสะสมได้จนเทียบเท่ากับต้นทุนที่ลงทุนไป หากระยะเวลาดังกล่าวอยู่ภายในเกณฑ์ที่เหมาะสมตามแนวทางการลงทุนในพลังงานหมุนเวียน จะถือว่าระบบมีความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ และสามารถนำผลการประเมินไปใช้ประกอบการตัดสินใจในการวางแผนลงทุนในอนาคตได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิผล

ตารางที่ 3.5 ข้อมูลของอินเวอร์เตอร์ขนาด 150 กิโลวัตต์

AC (Grid Connected)	ATESS HPS 150	AC (Off-Grid)	ATESS HPS 150	DC (Battery and PV)	ATESS HPS 150
Apparent Power	165 kVA	Apparent Power	165 kVA	MAX PV Open- Circuit Voltage	1000 V DC
Rated Power	150 kW	Rated Power	150 kW	MAX PV Power	225 kWp
Rated Voltage	400 V	Rated Voltage	400 V	PV MPPT Voltage Range	480 V- 800 V DC
Rated Current	217 A	Rated Current	217 A	Battery Voltage Range at Max.Charge Power	500 V- 600 V

Voltage	360 V-440 V	THDU	≤2%	Battery Voltage	352-600
Range			Linear	Range	V
Rated	50/60 Hz	Rated	50/60 Hz	Max.charge	225 kW
Frequency		Frequency		Power	
Frequency	45~55/55~65	Overload	110%-10	Max.Discharge	165 kW
Range	Hz	Capability	mins	Power	
			120 %-1		
			min		
THDI	<3%			Max.charge	450 A
				Current	
PF	0.8 lag – 0.8			Max.Discharge	467A
	lead			Current	
AC	3/N/PE				
Connection					
AC Input	250 kVA				



บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 ผลการติดตั้งบนพื้นดินขนาด 4.86 กิโลวัตต์ ที่ระดับความสูง 1 เมตร 1.5 เมตร และ 2 เมตร

4.1.1 ผลการทดลองผลิตไฟฟ้าจริงของระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นดิน

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบจากระดับความสูงของงานที่มีการรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งอยู่ที่ระดับ 1 เมตร, 1.5 เมตร และ 2 เมตรเหนือพื้นดิน โดยมุ่งเน้นการเปรียบเทียบอุณหภูมิระหว่างผิวด้านบนและด้านล่างของแผงเซลล์ รวมถึงการประเมินประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 4.86 กิโลวัตต์ ที่ติดตั้งแบบภาคพื้นดิน การเก็บข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์อิงจากข้อมูลภาคสนาม ประกอบด้วยอุณหภูมิผิวแผงทั้งสองด้าน ค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ ความเร็วและทิศทางของกระแสลม ระดับความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิแวดล้อม และความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ โดยมีการบันทึกข้อมูลทุก ๆ 5 นาที ตั้งแต่เวลา 06:00 น. ถึง 18:00 น. เป็นระยะเวลา 2 เดือน ระหว่างเดือนมีนาคมถึงเมษายน พ.ศ. 2567 เพื่อให้สามารถประเมินการทำงานของระบบภายใต้สภาวะแวดล้อมจริงได้อย่างครอบคลุมและแม่นยำ

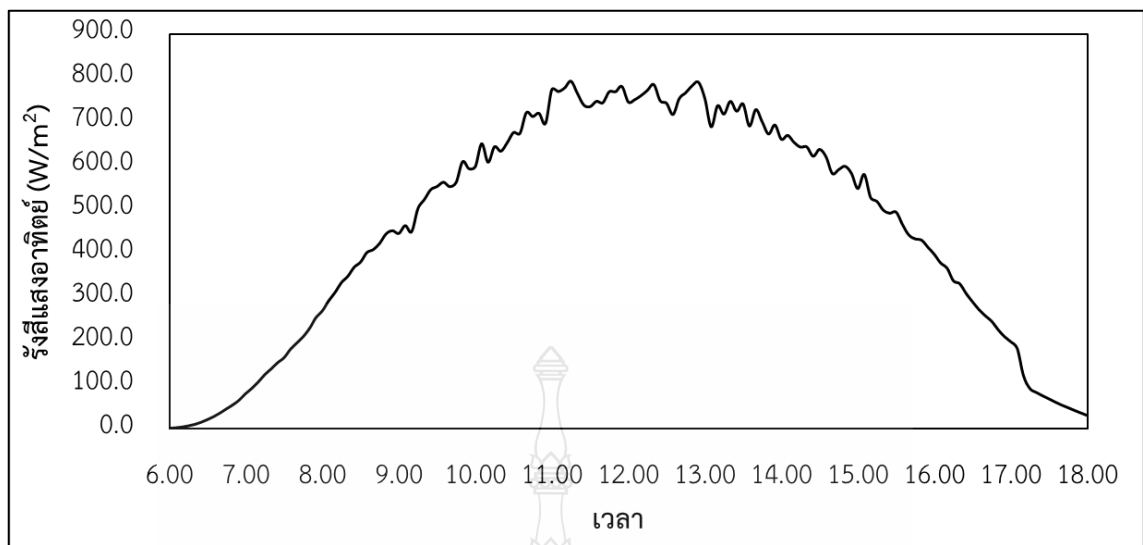
ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า สภาพอุณหภูมิตามวิทยาดูเฉลี่ยในช่วงเดือนมีนาคมและเมษายน มีความคงที่และสม่ำเสมอ โดยความเร็วลมเฉลี่ยอยู่ที่ 0.03 เมตรต่อวินาที ซึ่งบ่งชี้ว่าการเคลื่อนที่ของอากาศมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ทิศทางลมเฉลี่ยที่ 216.00 องศา สะท้อนให้เห็นถึงรูปแบบการพัดพาของลมที่สม่ำเสมอ ค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 64.22% แสดงถึงระดับความชื้นในบรรยากาศที่อยู่ในระดับปานกลาง อุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ยอยู่ที่ 54.73°C ซึ่งสะท้อนถึงสภาวะแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูงอย่างมีนัยสำคัญตลอดช่วงเวลาทดลอง นอกจากนี้ค่ารังสีแสงอาทิตย์ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่เวลา 06:00 น. โดยแตะระดับสูงสุดในช่วง กลางวัน และลดลงเรื่อย ๆ จนถึง 18:00 น. ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ค่ารังสีแสงอาทิตย์เฉลี่ยที่ 453.88 W/m² บ่งชี้ถึงศักยภาพสูงในการผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นสภาวะที่เอื้ออำนวยต่อการใช้งานระบบเซลล์แสงอาทิตย์

จากการวิเคราะห์อุณหภูมิพื้นผิวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งด้านบนและด้านล่าง ที่ระดับความสูง 1 เมตร, 1.5 เมตร และ 2 เมตร พบว่าค่าอุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละระดับมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงสอดคล้องกับค่ารังสีแสงอาทิตย์ในช่วงเวลาเดียวกัน ตามที่แสดงในรูปที่ 4.2 กล่าวคือ อุณหภูมิของพื้นผิวแผงจะเริ่มเพิ่มขึ้นตั้งแต่ช่วงเวลา 06:00 น. ซึ่งเป็นเวลาที่แสงแดดเริ่มตกกระทบ และค่ารังสีแสงอาทิตย์เริ่มสูงขึ้น โดยอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงจุดสูงสุดในช่วงเวลาประมาณ

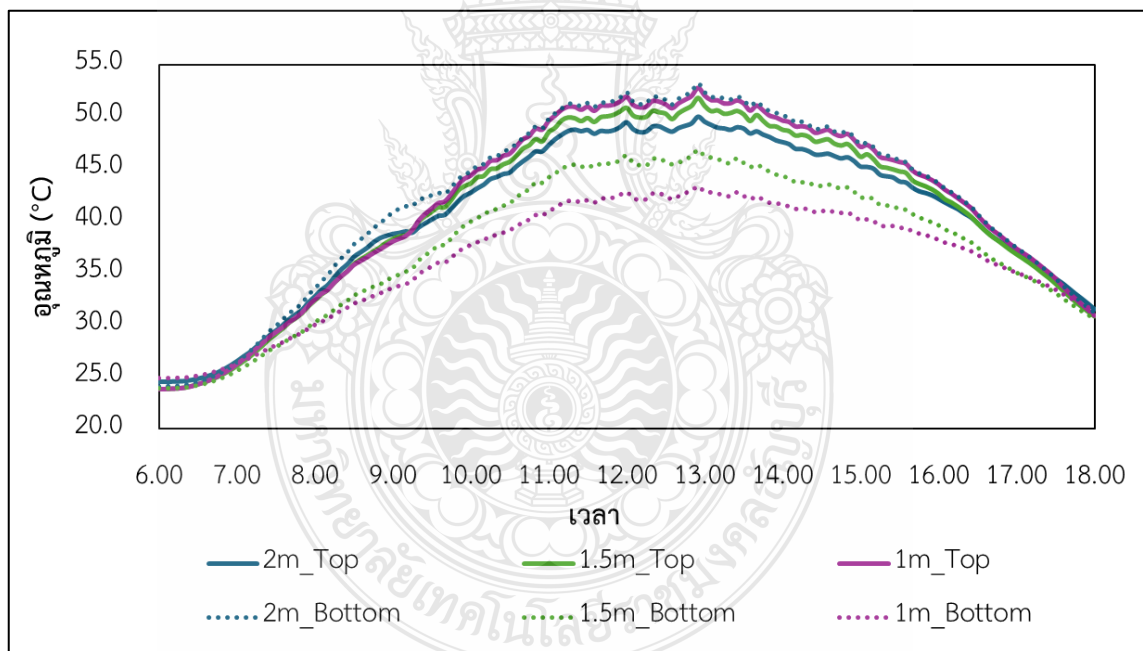
12:55 น. ซึ่งเป็นช่วงที่ค่ารังสีแสงอาทิตย์อยู่ในระดับสูงสุดเช่นกัน สอดคล้องกับแนวโน้มที่รายงานโดย Kumpanalaisatit และคณะ (2019) หลังจากช่วงเที่ยงวัน อุณหภูมิของพื้นผิวแผงทั้งสองด้านจะลดลงอย่างต่อเนื่อง ตามการลดลงของค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่เกิดขึ้นในช่วงบ่าย และจะอยู่ในระดับต่ำสุดในช่วงเวลาประมาณ 18:00 น. ซึ่งตรงกับช่วงสิ้นสุดการรับแสงของวัน ทั้งนี้ผลลัพธ์ดังกล่าวสอดคล้องกับรายงานของ Irwan และคณะ (2016) ที่ระบุว่าพฤติกรรมของอุณหภูมิพื้นผิวแผงแสงอาทิตย์มีแนวโน้มที่มีการสัมพันธ์โดยตรงในการเปลี่ยนแปลงของความเข้มของดวงอาทิตย์ตลอดทั้งวัน [54], [55]

การยกระดับความสูงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีผลโดยตรงต่อการลดอุณหภูมิของพื้นผิวด้านบน ดังที่แสดงด้วยเส้นทึบในรูปที่ 4.2 ซึ่งเกิดจากการเพิ่มประสิทธิภาพของการถ่ายเทความร้อนด้วยการพาความร้อน (Convective Heat Transfer) เมื่อระดับความสูงมากขึ้น ช่องว่างใต้แผงที่กว้างขึ้นช่วยให้การไหลเวียนของอากาศเป็นไปอย่างคล่องตัว ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (Convective Heat Transfer Coefficient) สูงขึ้น ส่งเสริมให้พื้นผิวด้านบนสามารถระบายความร้อนได้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น สอดคล้องกับหลักการทางวิศวกรรมความร้อนที่แสดงในสมการที่ 2.2 ในทางกลับกัน อุณหภูมิของพื้นผิวด้านล่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระดับความสูงของแผง (แสดงด้วยเส้นประในรูปเดียวกัน) โดยมีสาเหตุมาจากการกระบวนการถ่ายเทความร้อนแบบการนำ (Conduction) และการแผ่รังสี (Radiation) แม้ว่าการระบายอากาศจะดีขึ้น แต่พื้นผิวด้านล่างยังคงดูดซับพลังงานความร้อนจากทั้งพื้นดินและวัสดุของโครงสร้างรองรับ นอกจากนี้ ความร้อนยังถูกส่งผ่านจากโครงสร้างไปยังพื้นผิวด้านล่างด้วยกลไกการนำความร้อน ซึ่งส่งผลให้อุณหภูมิในบริเวณดังกล่าวสูงขึ้น สอดคล้องกับกลไกที่แสดงในสมการที่ 2.1 และ 2.3 ซึ่งเกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนในเชิงการนำโดยตรง

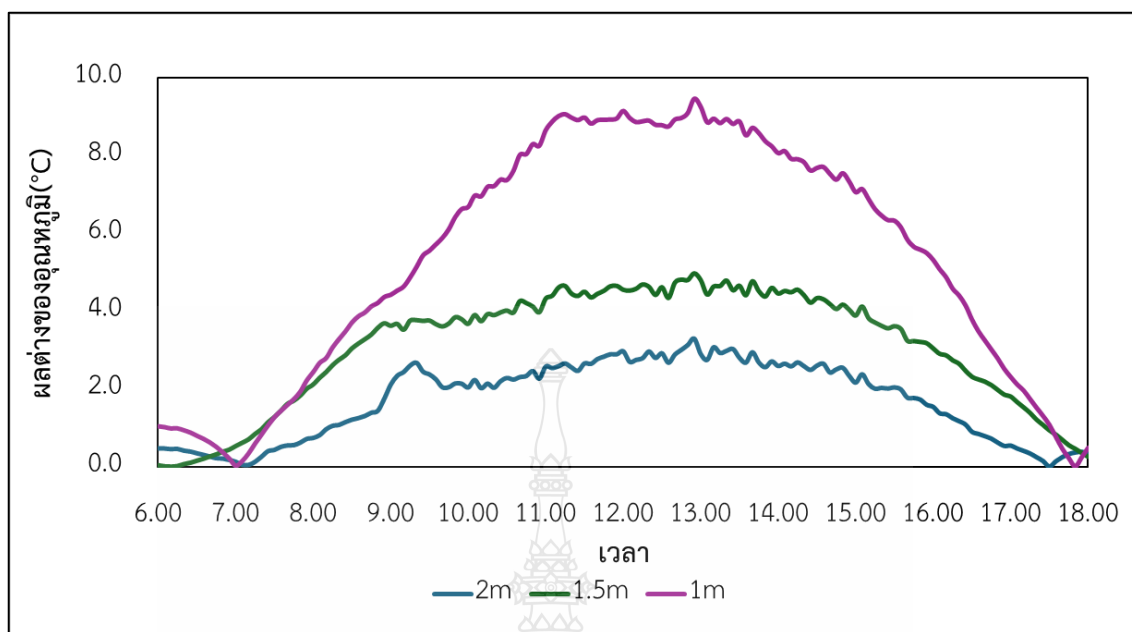
ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างพื้นผิวด้านบนและด้านล่างของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละระดับความสูง (แสดงในรูปที่ 4.3) พบว่า ระดับความสูง 2 เมตรมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิน้อยที่สุด รองลงมาคือระดับ 1.5 เมตร และ 1 เมตรตามลำดับ ซึ่งข้อมูลนี้สะท้อนให้เห็นว่า การเพิ่มความสูงของโครงสร้างติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ช่วยลดการสะสมความร้อนภายในแผงได้อย่างมีนัยสำคัญ สาเหตุหลักมาจากการไหลเวียนของอากาศใต้แผงที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นในระดับที่สูงกว่า ทำให้การถ่ายเทความร้อนออกจากแผงทำได้ดีขึ้น ส่งผลให้อุณหภูมิภายในระบบลดลง ซึ่งมีส่วนสำคัญในการรักษาประสิทธิภาพของแผงในระหว่างการใช้งาน



รูปที่ 4.1 ค่ารังสีแสงอาทิตย์เฉลี่ยเดือนมีนาคม ถึง เมษายน 2567 ตั้งแต่เวลา 06:00 น. ถึง 18:00 น.



รูปที่ 4.2 อุณหภูมิของด้านข้างบนและด้านข้างล่างของเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ยเดือนมีนาคม ถึง เมษายน 2567 ตั้งแต่เวลา 06:00 น. ถึง 18:00 น.

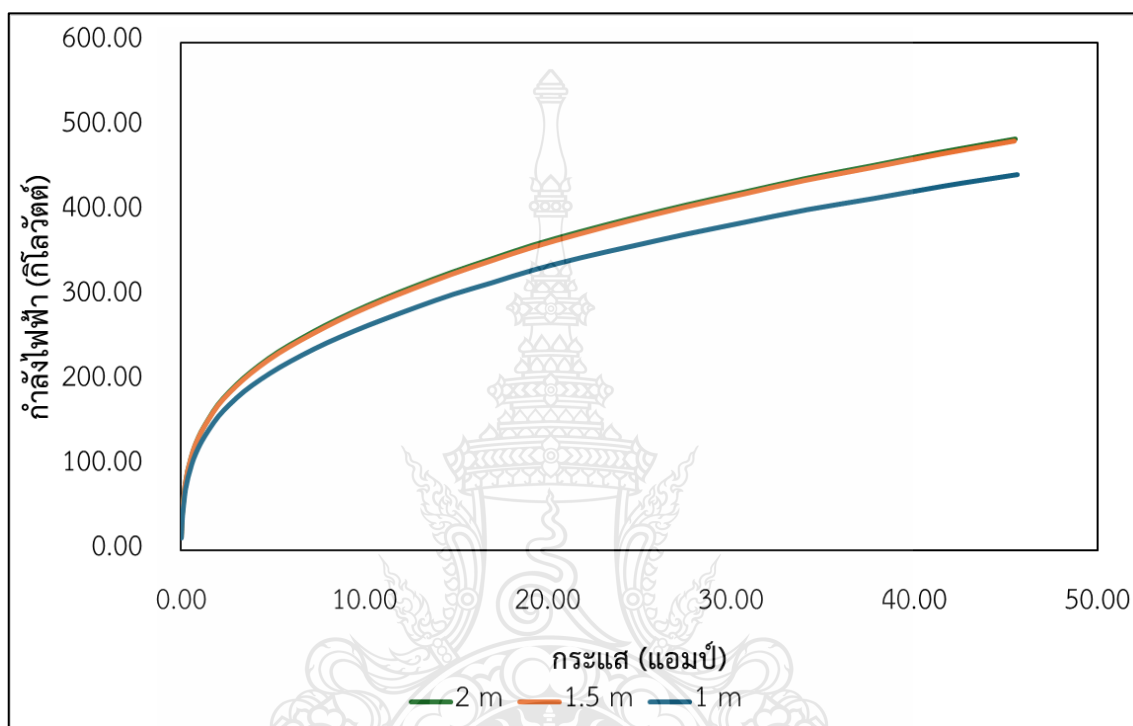


รูปที่ 4.3 ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างพื้นผิวด้านบนและด้านล่างของเซลล์แสงอาทิตย์ที่แต่ละระดับความสูงเฉลี่ยเดือนมีนาคม ถึง เมษายน 2567 ตั้งแต่เวลา 06:00 น. ถึง 18:00 น.

เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละระดับความสูงที่ติดตั้ง ได้แก่ 1 เมตร, 1.5 เมตร และ 2 เมตร ได้มีการวิเคราะห์ข้อมูลเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power Output) และกระแสไฟฟ้า (Current) ที่บันทึกตลอดช่วงเดือนมีนาคมถึงเมษายน โดยมุ่งเปรียบเทียบสมรรถนะของแผงในแต่ละระดับความสูง ทั้งนี้ ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสและพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (P-I Curve) ในแต่ละกรณีแสดงไว้ในรูปที่ 4.4 ผลจากการวิเคราะห์ชี้ให้เห็นว่าค่ากำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามระดับกระแสที่สูงขึ้น โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งในระดับความสูง 2 เมตร (เส้นกราฟสีเขียว) แสดงค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุด แสดงถึงความสามารถในการระบายความร้อนที่ดีกว่า ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานจากแสงอาทิตย์สูงขึ้นและระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าเมื่อเทียบกับระดับความสูงอื่น ๆ ในทางตรงกันข้าม แผงที่ติดตั้งใกล้พื้นดินที่ระดับ 1 เมตร (เส้นกราฟสีน้ำเงิน) ให้ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยต่ำที่สุด ซึ่งอาจเกิดจากการสะสมความร้อนได้แผงที่มากขึ้น เนื่องจากการถ่ายเทอากาศที่จำกัด ทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานของแผงลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับระดับความสูงอื่น

เมื่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ ตามสมการที่ 2.4 พบว่า ค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยของแผงที่ระดับความสูง 1 เมตร, 1.5 เมตร และ 2 เมตร คำนวณได้เท่ากับ 13.51%, 14.70% และ 14.78% ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าค่าประสิทธิภาพภายใต้ Standard Test Conditions (STC) ซึ่งกำหนดไว้

ที่ 20.94% ความแตกต่างนี้เกิดจากปัจจัยแวดล้อมจริง เช่น ความร้อนสะสม ฝุ่นละออง มุมเอียงที่ไม่เหมาะสม และการสูญเสียในระบบสายไฟและอินเวอร์เตอร์ แม้ว่าการเพิ่มระดับความสูงของแผงจะช่วยลดความร้อนสะสม แต่ปัจจัยแวดล้อมและการทำงานของระบบยังคงเป็นปัจจัยสำคัญที่จำกัดประสิทธิภาพของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะจริง [43], [5]

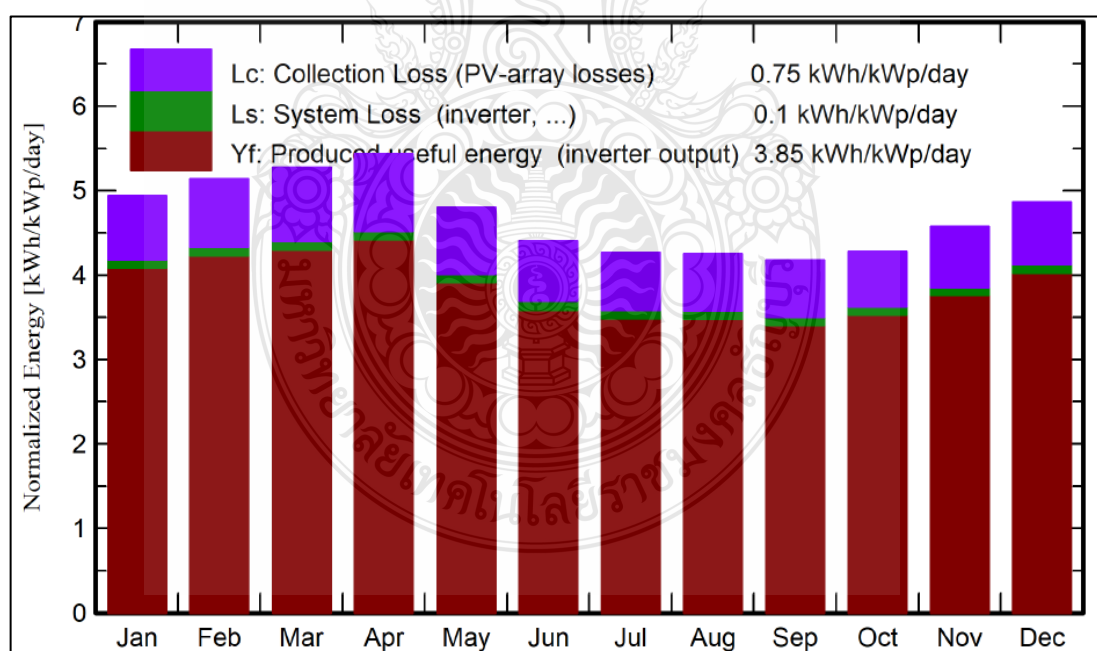


รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่แต่ละระดับความสูงเฉลี่ยเดือนมีนาคม ถึง เมษายน 2567

4.1.2 ผลการจำลองระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นดิน ด้วยซอฟต์แวร์ PVsyst

ในการประเมินประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ซอฟต์แวร์ PVsyst ถูกนำมาใช้เพื่อจำลองการทำงานของระบบ (อ้างอิงรูปที่ 4.5) ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ช่วยให้สามารถวิเคราะห์เชิงลึกถึงสมรรถนะของระบบผ่านตัวชี้วัดหลัก เช่น ปริมาณพลังงานที่ผลิตได้ต่อกำลังติดตั้ง (หน่วยกิโลวัตต์พีค: kWp) และค่าประสิทธิภาพของระบบหรือ Performance Ratio (PR) ซึ่งใช้เป็นเกณฑ์วัดความสามารถในการแปลงของการทำงานพลังงานแสงอาทิตย์ให้กลายเป็นพลังงานไฟฟ้าที่สามารถใช้งานได้จริง ภายใต้เงื่อนไขการปฏิบัติงานในสถานการณ์จริงเมื่อเทียบกับมาตรฐานการทดสอบ (STC) จากแบบจำลอง พบว่าการสูญเสียพลังงานสามารถแยกได้เป็นสองประเภทหลัก

ได้แก่ 1. การสูญเสียจากการสะสมพลังงาน (Collection Loss) ซึ่งอยู่ที่ประมาณ 0.75 kWh/kWp/วัน เกิดจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น การบังแสงที่ลดการรับรังสีแสงอาทิตย์ของแผงเซลล์, การสะสมของฝุ่น และสิ่งสกปรกบนพื้นผิว (Soiling) ที่ขัดขวางการดูดซับแสง และการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ส่งผลต่อสมรรถนะของแผง และ 2. การสูญเสียภายในระบบ (System Loss) ประมาณ 0.10 kWh/kWp/วัน ซึ่งมีสาเหตุจากข้อจำกัดของอุปกรณ์ในระบบ เช่น ความสูญเสียจากการแปลงพลังงานในอินเวอร์เตอร์ และการสูญเสียพลังงานระหว่างการส่งผ่านในสายไฟฟ้าเนื่องจากค่าความต้านทาน แม้จะมีความสูญเสียจากทั้งสองส่วน ระบบยังคงสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานได้เฉลี่ย 3.85 kWh/kWp/วัน ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับที่ดีสำหรับการทำงานจริง โดยมีค่า Performance Ratio อยู่ที่ 82.00% ซึ่งสะท้อนถึงสมรรถนะของระบบที่อยู่ในเกณฑ์ประสิทธิภาพสูงเมื่อเทียบกับเงื่อนไขมาตรฐาน ในช่วงระยะเวลาการทดลอง ระบบสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าสะสมได้รวมทั้งสิ้น 6,832.80 kWh (อ้างอิงข้อมูลในตารางที่ 4.1) ในขณะที่ค่าพลังงานรวมของอาร์เรย์ตามประสิทธิภาพมาตรฐาน (ก่อนหักค่าความสูญเสีย) อยู่ที่ 8,138.00 kWh และพลังงานรวมที่ผลิตได้ก่อนหักค่าการสูญเสียในอินเวอร์เตอร์อยู่ที่ 7,011.00 kWh ค่าประสิทธิภาพดังกล่าวสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 2.4–2.6 ซึ่งใช้ในการวิเคราะห์อัตราส่วนสมรรถนะของระบบโดยละเอียด



รูปที่ 4.5 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากการจำลองระบบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 4.86 กิโลวัตต์ ด้วยซอฟต์แวร์ PVsyst ตลอดปี 2567

ตารางที่ 4.1 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากการจำลองระบบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 4.86 กิโลวัตต์ ด้วยซอฟต์แวร์ PVsyst ตลอดปี 2567

	E_{Array} (kWh)	E_{Grid} (kWh)	PR (Ratio)
มกราคม	630.80	616.0	0.828
กุมภาพันธ์	589.70	576.30	0.823
มีนาคม	663.80	648.60	0.817
เมษายน	660.10	644.70	0.814
พฤษภาคม	605.40	589.70	0.815
มิถุนายน	538.80	523.50	0.815
กรกฎาคม	541.00	525.40	0.818
สิงหาคม	539.60	524.50	0.819
กันยายน	511.30	496.70	0.816
ตุลาคม	546.30	531.70	0.825
พฤศจิกายน	562.70	548.50	0.822
ธันวาคม	621.60	607.20	0.828
รวม	7,011.00	6,832.80	0.820

4.1.3 การเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงกับการจำลองระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นดิน ด้วยซอฟต์แวร์ PVsyst

จากการเปรียบเทียบผลการผลิตพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Power Output) ที่วัดได้จริงกับผลที่ได้จากการจำลองโดยใช้ซอฟต์แวร์ PVsyst พบว่าในเดือนมีนาคมและเดือนเมษายน ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่วัดได้จริงอยู่ที่ 520.55 และ 501.72 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง ตามลำดับ ขณะที่ผลลัพธ์จากการคำนวณด้วยซอฟต์แวร์ PVsyst ในช่วงเวลาเดียวกันอยู่ที่ 648.60 และ 644.70 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่วัดได้จริงต่ำกว่าค่าที่ได้จากการจำลองโดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 20 ทั้งนี้ สาเหตุของความแตกต่างระหว่างค่าที่วัดได้จริงกับค่าจำลองดังกล่าว อาจเป็นผลจากปัจจัยหลายประการ เช่น การสูญเสียพลังงานภายในระบบที่เกิดขึ้นจริงมีค่ามากกว่าการประมาณในแบบจำลอง, ความคลาดเคลื่อนของอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าพลังงานไฟฟ้า, รวมถึงข้อจำกัดของแบบจำลองในซอฟต์แวร์ PVsyst ที่ไม่สามารถสะท้อนถึงเงื่อนไขการทำงานจริงของระบบได้อย่างครบถ้วน การวิเคราะห์และอภิปรายผลลัพธ์ข้างต้นจึงช่วยให้สามารถเข้าใจถึงระดับความแม่นยำและ

ข้อจำกัดของการคำนวณด้วยแบบจำลอง PVsyst และยังชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการพัฒนาและปรับปรุงวิธีการจำลองและการเก็บข้อมูลเพิ่มเติมในอนาคต เพื่อเพิ่มความถูกต้องแม่นยำในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ให้ดียิ่งขึ้น

4.1.4 การประเมินต้นทุนโครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนพื้นดิน

ข้อมูลต้นทุนของโครงสร้างที่ใช้ในการรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามระดับความสูงต่าง ๆ แสดงไว้ในตารางที่ 4.2 โดยพบว่า การก่อสร้างที่ระดับความสูง 1 เมตรมีต้นทุนอยู่ที่ 10,200 บาท ขณะที่ระดับ 1.5 เมตรและ 2 เมตรมีต้นทุนอยู่ที่ 12,700 บาท และ 15,100 บาท ตามลำดับ การเพิ่มความสูงจาก 1 เมตรเป็น 1.5 เมตรส่งผลให้ต้นทุนสูงขึ้นประมาณ 24.51% ส่วนการยกระดับจาก 1 เมตร เป็น 2 เมตร มีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นถึง 48.04% ซึ่งเกือบเท่ากับการเพิ่มต้นทุนเป็นสองเท่าของระดับเริ่มต้น อย่างไรก็ตาม แม้ต้นทุนจะเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน แต่ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้กลับเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย โดยมีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเพียง 0.58% เท่านั้น สะท้อนให้เห็นว่าการลงทุนเพื่อเพิ่มระดับความสูงมากเกินไปอาจไม่คุ้มค่าจากมุมมองด้านผลตอบแทนพลังงาน เมื่อพิจารณาทั้งด้านต้นทุนและประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้น ระดับความสูง 1.5 เมตรจึงถือเป็นทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากสามารถสร้างสมดุลระหว่างต้นทุนการลงทุนกับประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ



ตารางที่ 4.2 การประเมินต้นทุนโครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 4.86 กิโลวัตต์

รายการค่าใช้จ่าย	จำนวน	หน่วย	ราคาต่อหน่วย(บาท)	ราคารวม (บาท)
1. เหล็กกล่องสี่เหลี่ยม ขนาด 2 นิ้ว x 2 นิ้ว x 2.6 มิลลิเมตร	5	ชิ้น	700.00	3,500.00
2. วัสดุสิ้นเปลือง	1	งาน	2,000.00	2,000.00
3. อุปกรณ์การติดตั้ง	1	งาน	1,200.00	1,200.00
4. งานสี	1	งาน	1,500.00	1,500.00
5. งานประกอบ	1	งาน	2,000.00	2,000.00
				10,200.00
1. เหล็กกล่องสี่เหลี่ยม ขนาด 2 นิ้ว x 2 นิ้ว x 2.6 มิลลิเมตร	6	ชิ้น	700.00	4,200.00
2. วัสดุสิ้นเปลือง	1	งาน	2,500.00	2,500.00
3. อุปกรณ์การติดตั้ง	1	งาน	1,200.00	1,200.00
4. งานสี	1	งาน	1,800.00	1,800.00
5. งานประกอบ	1	งาน	3,000.00	3,000.00
				12,700.00
1. เหล็กกล่องสี่เหลี่ยม ขนาด 2 นิ้ว x 2 นิ้ว x 2.6 มิลลิเมตร	7	ชิ้น	700.00	4,900.00
2. วัสดุสิ้นเปลือง	1	งาน	3,000.00	3,000.00
3. อุปกรณ์การติดตั้ง	1	งาน	1,200.00	1,200.00
4. งานสี	1	งาน	2,000.00	2,000.00
5. งานประกอบ	1	งาน	4,000.00	4,000.00
				15,100.00

4.2 ผลการติดตั้งระบบโซลาเซลล์บนหลังคาอาคารจอดรถ ขนาด 10 กิโลวัตต์ ที่ระดับความสูง 2.5 เมตร 3 เมตร และ 3.5 เมตร

4.2.1 ผลการทดลองผลิตไฟฟ้าจริงของระบบโซลาเซลล์บนหลังคาอาคารจอดรถ

จากผลการวัดอุณหภูมิที่ระดับความสูงต่าง ๆ ของการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์พบว่าอุณหภูมิบริเวณใต้แผงมีค่าค่อนข้างคงที่ (ประมาณ 57.8–58.1 °C) สะท้อนให้เห็นว่าการพาความร้อนจากอากาศไหลเวียนใต้แผงมีลักษณะใกล้เคียงกันทุกระดับความสูง ในขณะที่อุณหภูมิด้านบนแผงอยู่ในช่วง 65.2–65.8 °C เนื่องจากได้รับรังสีแสงอาทิตย์โดยตรง และถ่ายเทความร้อนสู่สิ่งแวดล้อมผ่านทั้งการแผ่รังสี การนำ และการพาความร้อน ซึ่งการเปลี่ยนระดับความสูงไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าดังกล่าว พื้นภายในที่จอดรถมีอุณหภูมิลดลงเล็กน้อยเมื่อระดับความสูงของแผงเพิ่มขึ้น อันเป็นผลจากการไหลเวียนของอากาศที่ดีขึ้น ส่วนพื้นคอนกรีตรอบบริเวณมีอุณหภูมิคงที่ประมาณ 47 °C ไม่ได้รับผลจากระดับความสูงของแผง อุณหภูมิอากาศที่ระดับ 1 เมตรจากพื้นก็ไม่เปลี่ยนแปลงเช่นกัน (ประมาณ 35 °C) แสดงว่าผลกระทบจากแผงต่อสภาพอากาศโดยรอบยังมีจำกัด สำหรับผิวสนามหญ้าด้านหลังที่จอดรถมีอุณหภูมิคงที่ที่ 28 °C ทุกกรณี ซึ่งเกิดจากคุณสมบัติของสนามหญ้าที่ระบายความร้อนได้ดีและไม่สะสมความร้อน สรุปได้ว่า ความแตกต่างของความสูงในช่วง 2.5–3.5 เมตรมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนเพียงเล็กน้อย โดยเฉพาะในด้านการลดอุณหภูมิบริเวณใต้แผง ขณะที่บริเวณอื่นไม่ได้รับผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญทางความร้อนจากการเปลี่ยนระดับความสูงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ตารางที่ 4.3 อุณหภูมิเฉลี่ยที่วัดได้ในแต่ละตำแหน่งการวัด

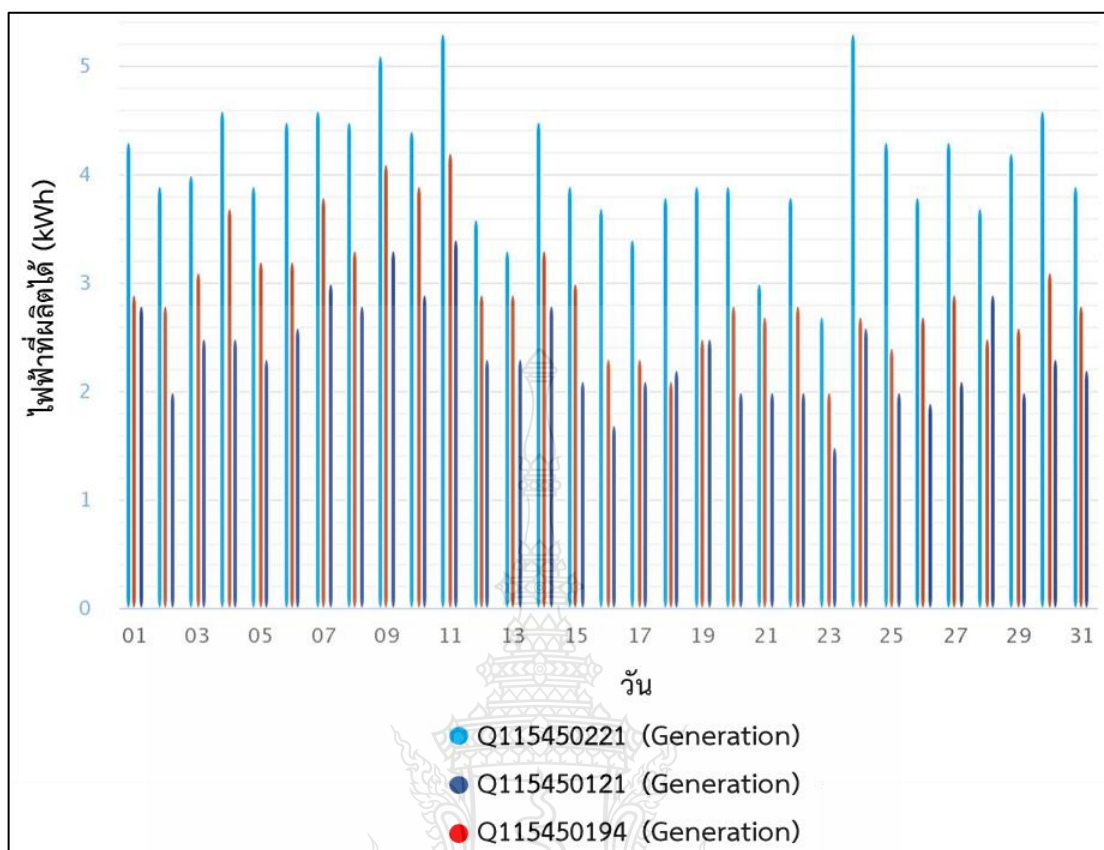
ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิ	อุณหภูมิที่วัดได้ จากแผงแต่ละความสูง (°C)		
	2.5 เมตร	3.0 เมตร	3.5 เมตร
พื้นผิวด้านล่างแผง	57.80	57.80	58.10
พื้นผิวด้านบนแผง	65.20	65.50	65.80
พื้นภายในที่จอดรถ	31.40	30.90	30.00
ผิวถนนคอนกรีตโดยรอบ	47.00	47.00	47.00
อากาศสูงจากพื้น 1 เมตร	35.00	35.00	35.00
ผิวสนามหญาด้านหลังที่จอดรถ	28.00	28.00	28.00

จากการพิจารณาปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ พบว่าระดับความสูงในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบอย่างชัดเจน (ดูรายละเอียดในตารางที่ 4.4) โดยแผงที่ติดตั้งในตำแหน่งสูงสุดที่ระดับ 3.5 เมตรให้ค่าพลังงานสูงสุดที่ 126.7 กิโลวัตต์ชั่วโมง รองลงมาคือระดับ 3 เมตร (91.5 กิโลวัตต์ชั่วโมง) และระดับ 2.5 เมตร (73.6 กิโลวัตต์ชั่วโมง) ตามลำดับ (แสดงในรูปที่ 4.8) ซึ่งข้อมูลนี้สะท้อนให้เห็นว่า การยกระดับความสูงของแผงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการรับแสงแดด รวมถึงส่งเสริมการระบายความร้อนได้ดียิ่งขึ้น ส่งผลให้ระบบสามารถแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ในเดือนกรกฎาคม ระบบสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้รวม 291.8 กิโลวัตต์ชั่วโมง และตลอดระยะเวลาการใช้งานจะสามารถผลิตพลังงานรวมได้ถึง 14,352.9 กิโลวัตต์ชั่วโมง ซึ่งช่วยลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในเดือนดังกล่าวได้ประมาณ 290.9 กิโลกรัม และรวมทั้งหมดถึง 14,309.8 กิโลกรัมตลอดอายุการใช้งานของระบบ นอกจากนี้ รายได้ที่เกิดจากการผลิตพลังงานไฟฟ้าในเดือนกรกฎาคมอยู่ที่ 1,313.1 บาท และมีรายได้สะสมรวมทั้งสิ้น 64,588.1 บาท ซึ่งสะท้อนถึงศักยภาพของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในการสร้างผลตอบแทนที่มั่นคงจากแหล่งพลังงานสะอาดและยั่งยืน

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลของการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาที่จอดรถเดือนกรกฎาคม

พ.ศ. 2565

พารามิเตอร์	ที่ผลิตได้
เซลล์แสงอาทิตย์สูงระดับ 2.5 เมตร	73.6 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง
เซลล์แสงอาทิตย์สูงระดับ 3 เมตร	91.5 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง
เซลล์แสงอาทิตย์สูงระดับ 3.5 เมตร	126.7 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง
พลังงานที่ผลิตได้	291.8 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง
พลังงานรวม	14,352.9 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง
รายได้ในเดือนนี้	1,313.1 บาท
รายได้รวม	64,588.1 บาท
การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง	290.9 กิโลกรัม
การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวม	14,309.8 กิโลกรัม



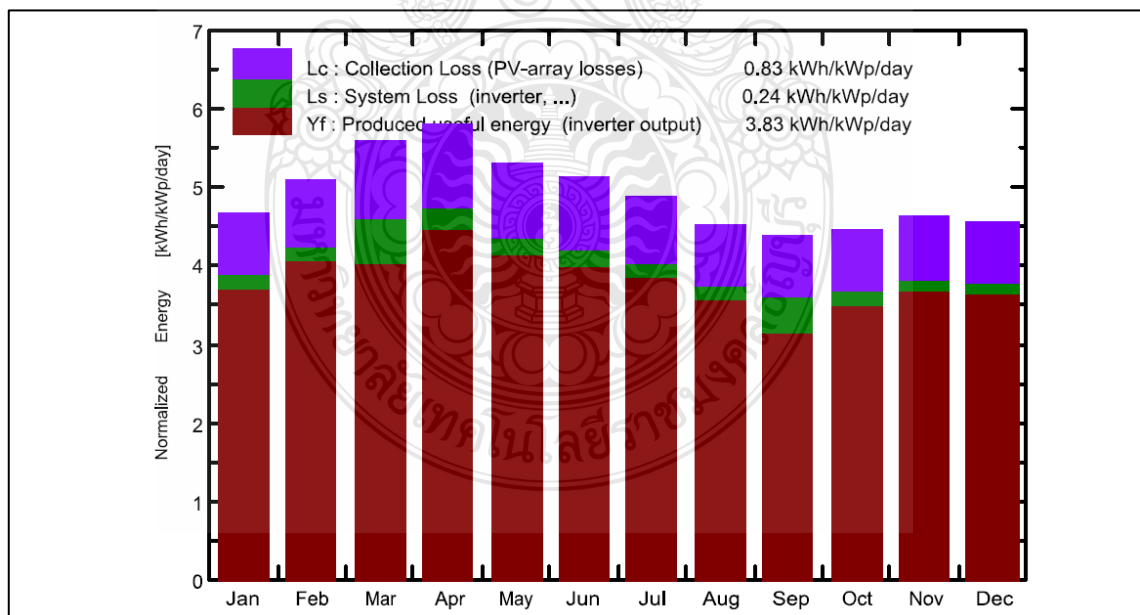
รูปที่ 4.6 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารจอดรถตลอดเดือน
กรกฎาคม พ.ศ. 2565

4.2.2 ผลการจำลองระบบโซลาเซลล์บนหลังคาอาคารจอดรถ ด้วยซอฟต์แวร์ PVsyst

ผลการจำลองการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยซอฟต์แวร์ PVsyst ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.7 ช่วยให้สามารถวิเคราะห์และประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ได้อย่างแม่นยำ โดยข้อมูลจากการจำลองแสดงผลของพลังงานที่ผลิตได้ต่อกำลังของการติดตั้ง (kWh/kWp) และ ค่าอัตราส่วนสมรรถนะ (Performance Ratio: PR) ซึ่งเป็นหนึ่งในการชี้วัดหลักที่ใช้ในการประเมินความสามารถของระบบในการแปลงพลังงานจากแสงอาทิตย์ให้กลายเป็นพลังงานไฟฟ้า ทั้งนี้ การประเมินดังกล่าวอ้างอิงจากการเปรียบเทียบกับเงื่อนไขมาตรฐาน (Standard Test Conditions: STC)

จากผลการจำลอง พบว่าระบบที่มีกำลังการผลิตติดตั้งขนาด 9.90 กิโลวัตต์ สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยรายปีได้ 13.847 เมกะวัตต์ต่อชั่วโมง (MWh) คิดเป็นค่าการผลิตพลังงานเฉพาะ (Specific Production) ที่ 1,399 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมงต่อกิโลวัตต์พีคต่อปี (kWh/kWp/year) และมีอัตราส่วนสมรรถนะ (PR) เฉลี่ยเท่ากับ 78.26% ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับที่เหมาะสมและเป็นที่ยอมรับในทาง

วิชาการสำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งในพื้นที่เขตร้อน อย่างไรก็ตาม การจำลองยังแสดงให้เห็นถึงการสูญเสียพลังงานที่สำคัญสองกลุ่มหลัก ได้แก่ การสูญเสียจากกระบวนการรับรังสีแสงอาทิตย์ (Collection Loss) และการสูญเสียภายในระบบ (System Loss) โดยพบว่าการสูญเสียจากกระบวนการรับรังสีแสงอาทิตย์มีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.24 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมงต่อกิโลวัตต์พีคต่อวัน (kWh/kWp/day) ซึ่งมีสาเหตุหลักมาจากการบดบังแสง (Shading) สิ่งสกปรกที่สะสมบนแผง (Soiling) และการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่ส่งผลในการทำงานของระบบที่ศึกษา ในขณะที่การสูญเสียภายในระบบมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.24 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมงต่อกิโลวัตต์พีคต่อวัน (kWh/kWp/day) อันเป็นผลมาจากประสิทธิภาพการแปลงพลังงานของอินเวอร์เตอร์ และการสูญเสียที่เกิดจากความต้านทานในสายไฟฟ้า (Wiring Losses) แม้ว่าจะมีการสูญเสียพลังงานดังกล่าว แต่ระบบยังคงสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยที่สามารถนำไปใช้งานจริงได้ประมาณ 3.83 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมงต่อกิโลวัตต์พีคต่อปี (kWh/kWp/วัน) และมีอัตราส่วนสมรรถนะอยู่ที่ประมาณ 78.26% เมื่อเทียบกับเงื่อนไขมาตรฐาน (อัตราส่วนสมรรถนะสามารถคำนวณได้โดยใช้ สมการที่ 2.4 - 2.6) ปริมาณพลังงานไฟฟ้ารวมที่ผลิตได้จริงจากระบบตลอดระยะเวลาการทดลองมีค่าเท่ากับ 13.847 เมกะวัตต์ (MWh) (แสดงในตารางที่ 4.5) ในขณะที่พลังงานรวมของอาร์เรย์ที่คำนวณได้ก่อนหักการสูญเสียมีค่า 14.697 เมกะวัตต์ (MWh) และก่อนหักการสูญเสียจากอินเวอร์เตอร์อยู่ที่ 14.19 เมกะวัตต์ (MWh)



รูปที่ 4.7 พลังงานไฟฟ้าที่ระบบผลิตจากการจำลองระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาที่จ่อตรงขนาด 10 กิโลวัตต์ ด้วยซอฟต์แวร์ PVsyst ตลอดปี 2565

ตารางที่ 4.5 พลังงานไฟฟ้าที่ระบบผลิตได้ในการจำลองระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาที่จอดรถ
ขนาด 10 กิโลวัตต์ ด้วยซอฟต์แวร์ PVsyst ตลอดปี 2565

	E_{Array} (MWh)	E_{Grid} (MWh)	PR (Ratio)
มกราคม	1.196	1.145	0.801
กุมภาพันธ์	1.177	1.128	0.800
มีนาคม	1.411	1.245	0.728
เมษายน	1.412	1.331	0.776
พฤษภาคม	1.337	1.280	0.789
มิถุนายน	1.251	1.197	0.790
กรกฎาคม	1.242	1.188	0.796
สิงหาคม	1.151	1.101	0.798
กันยายน	1.074	0.937	0.725
ตุลาคม	1.132	1.082	0.796
พฤศจิกายน	1.143	1.093	0.796
ธันวาคม	1.170	1.121	0.801
รวม	14.697	13.847	0.783

4.2.3 การเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงกับการจำลองระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารจอดรถ ด้วยซอฟต์แวร์ PVsyst

จากการเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงกับค่าพลังงานที่ได้ในระบบจำลองด้วยซอฟต์แวร์ PVsyst ในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2567 พบว่าค่าพลังงานไฟฟ้าที่วัดได้จริงมีค่าเท่ากับ 1,200 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ขณะที่ค่าที่คำนวณจาก PVsyst มีค่าเท่ากับ 1,188 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ซึ่งพลังงานที่วัดได้จริงสูงกว่าค่าจำลองเล็กน้อย โดยมีความแตกต่างประมาณร้อยละ 1 เท่านั้น ผลลัพธ์ดังกล่าวสะท้อนว่าแบบจำลองใน PVsyst มีความแม่นยำในการประมาณการพลังงานที่ผลิตได้ในสภาวะจริงอยู่ในระดับสูง ซึ่งอาจเกิดจากการป้อนข้อมูลที่ครบถ้วน เช่น ตำแหน่งติดตั้งแผง ทิศทาง มุมเอียง ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ และข้อมูลสภาพอากาศ (Solar radiation, ambient temperature) ที่ใกล้เคียงกับสภาพจริง รวมถึงการสูญเสียพลังงานต่าง ๆ ที่ถูกกำหนดไว้ในแบบจำลองอย่างเหมาะสม ในขณะเดียวกัน การที่ค่าพลังงานที่วัดได้จริงมีค่าสูงกว่าค่าจำลองเล็กน้อย อาจมาจากปัจจัยบวกบางประการ เช่น สภาพอากาศที่เอื้ออำนวยมากกว่าค่าเฉลี่ย (เช่น ท้องฟ้าโปร่ง ไม่มีฝุ่นหรือเมฆมากในเดือน

นั้น) หรือการทำความสะอาดแผงที่ดี ทำให้ประสิทธิภาพสูงกว่าค่าเฉลี่ยที่แบบจำลองใช้ในการประเมิน อย่างไรก็ตาม ความแตกต่างที่เกิดขึ้นอยู่ในช่วง $\pm 5\%$ ถือว่าอยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้ทางวิศวกรรม และสามารถยืนยันความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง PVsyst ในการประเมินศักยภาพระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้น การที่ค่าที่วัดได้จริงใกล้เคียงกับค่าจำลองในระดับนี้ ช่วยยืนยันว่าแบบจำลองมีความสอดคล้องกับการทำงานของระบบจริง และสามารถนำไปใช้ประเมินผลผลิตของระบบในระยะยาวได้อย่างมั่นใจ ทั้งในเชิงเทคนิคและเศรษฐศาสตร์

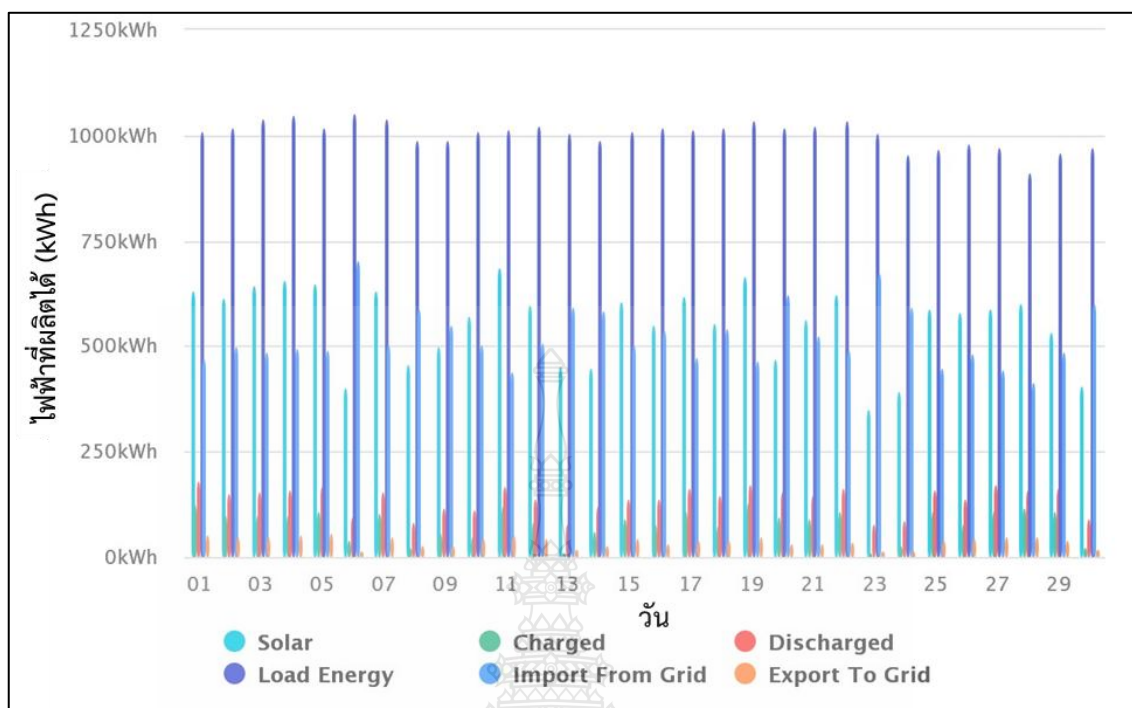
4.2.4 การประเมินต้นทุนโครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาอาคารจอดรถ

จากการศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ โดยอ้างอิงจากข้อมูลปริมาณพลังงานที่ผลิตได้เฉลี่ยเดือนละ 14,352.9 กิโลวัตต์ชั่วโมง และใช้อัตราค่าไฟฟ้าเฉลี่ยที่ 3.8 บาทต่อหน่วย พบว่าระบบสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานลงได้ประมาณ 54,540.99 บาทต่อเดือน คิดเป็นมูลค่ารวมทั้งปีประมาณ 654,491.88 บาท เมื่อเปรียบเทียบกับต้นทุนการลงทุนเริ่มต้นที่ประมาณ 300,000 บาท จะพบว่าระบบสามารถคืนทุนได้ภายในระยะเวลาเพียงประมาณ 0.46 ปี หรือประมาณ 5 เดือนครึ่ง ซึ่งเป็นระยะเวลาคืนทุนที่สั้นมาก และแสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการสร้างผลตอบแทนได้อย่างรวดเร็ว ระบบนี้จึงนับว่าเป็นทางเลือกที่คุ้มค่าในการลงทุน และยังสามารถสร้างผลประโยชน์ในรูปแบบการประหยัดพลังงานและรายได้สุทธิได้อย่างต่อเนื่องตลอดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

4.3 ผลการติดตั้งระบบโซลาร์เซลล์บนหลังคาตลาดวงศกร ขนาด 200 กิโลวัตต์

4.3.1 ผลการทดลองผลิตไฟฟ้าจริงของระบบโซลาร์เซลล์บนหลังคาตลาดวงศกร

จากการทดลองติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ขนาด 200 กิโลวัตต์ ที่ตลาดวงศกร ประเทศไทย และทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการทำงานของระบบในรูปแบบการจ่ายไฟเข้าสู่โครงข่าย (Energy to Grid) กับระบบที่มีการกักเก็บพลังงานไว้ในแบตเตอรี่ (Energy Storage) ตลอดระยะเวลา 1 เดือน พบว่า ระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบไฮบริดสามารถทำงานได้โดยเฉลี่ยประมาณ 4.5–5 ชั่วโมงต่อวัน โดยมีกำลังการผลิตไฟฟ้ารายวันเฉลี่ย 556.58 กิโลวัตต์ชั่วโมง หรือคิดเป็น 16.69 เมกะวัตต์ชั่วโมงต่อเดือน และรวมเป็นพลังงานสะสมทั้งปีประมาณ 200.28 เมกะวัตต์ชั่วโมง ในส่วนของระบบกักเก็บพลังงาน พบว่าสามารถเก็บพลังงานได้เฉลี่ยวันละ 312 กิโลวัตต์ชั่วโมง หรือประมาณ 6.73 เมกะวัตต์ชั่วโมงต่อเดือน รวมทั้งปีสามารถกักเก็บได้สูงถึง 80.76 เมกะวัตต์ชั่วโมง ข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของระบบไฮบริดในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานจากแหล่งหมุนเวียนได้อย่างเต็มที่ อีกทั้งยังช่วยลดภาระค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน มีส่วนช่วยในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และสนับสนุนการพัฒนาอย่างยั่งยืนในเชิงเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อม ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.8



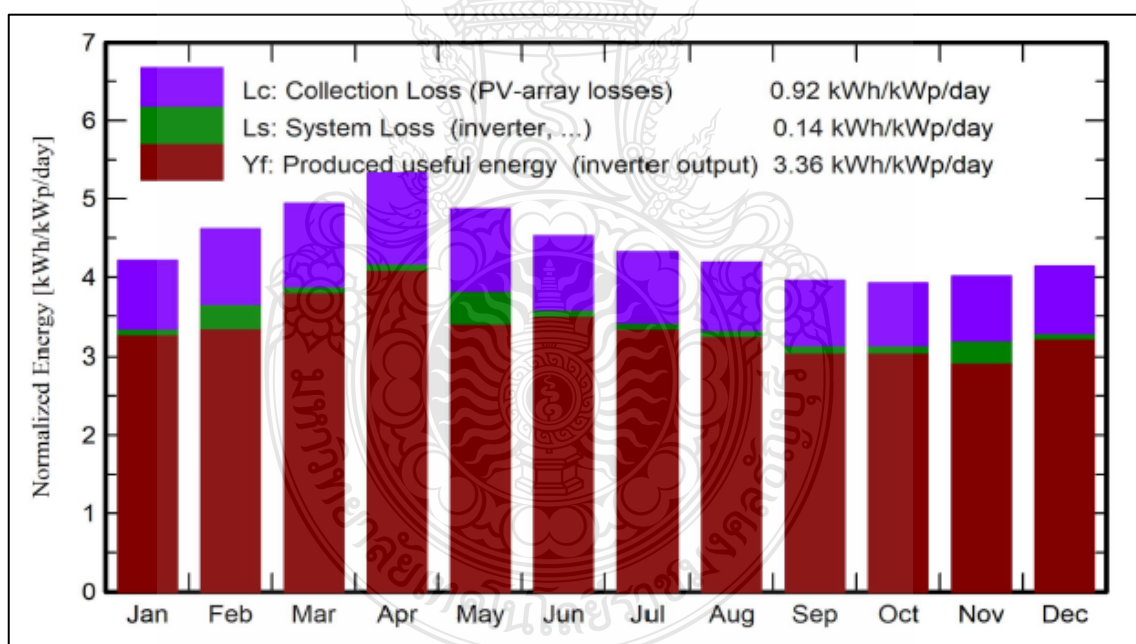
รูปที่ 4.8 การผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาตลาดวงศกร ขนาด 200 กิโลวัตต์ ตลอดเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2567

4.3.2 ผลการจำลองระบบโซลาเซลล์บนหลังคาตลาดวงศกร ด้วยซอฟต์แวร์ PVsyst

ผลการจำลองการผลิตไฟฟ้าด้วยโปรแกรม PVsyst ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 4.9 มีส่วนช่วยอย่างมากในการวิเคราะห์และประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์อย่างเป็นระบบ โดยข้อมูลที่ได้จากการจำลองแสดงให้เห็นค่าพลังงานไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้ต่อกำลังติดตั้ง (kWh/kWp) รวมถึงค่าดัชนีสมรรถนะหรือ Performance Ratio (PR) ซึ่งเป็นตัวชี้วัดสำคัญในการพิจารณาความสามารถของระบบในการแปลงพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้า ภายใต้เงื่อนไขที่เปรียบเทียบกับสภาวะมาตรฐาน (Standard Test Conditions: STC)

จากผลการจำลอง พบว่าระบบที่มีกำลังการผลิตติดตั้งขนาด 200 กิโลวัตต์ สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยรายปีได้ 245.1 เมกะวัตต์ต่อชั่วโมง (MWh) คิดเป็นค่าการผลิตพลังงานเฉพาะ (Specific Production) ที่ 1,226 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมงต่อกิโลวัตต์พีคต่อปี (kWh/kWp/year) และมีอัตราส่วนสมรรถนะ (PR) เฉลี่ยเท่ากับ 76.06% ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับที่เหมาะสมและเป็นที่ยอมรับในทางวิชาการสำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งในพื้นที่เขตร้อน อย่างไรก็ตาม การจำลองยังแสดงให้เห็นถึงการสูญเสียพลังงานที่สำคัญสองกลุ่มหลัก ได้แก่ การสูญเสียจากกระบวนการรับรังสีแสงอาทิตย์ (Collection Loss) และการสูญเสียภายในระบบ (System Loss) โดยพบว่าการสูญเสียจาก

กระบวนการรับรังสีแสงอาทิตย์มีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.24 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมงต่อกิโลวัตต์พีคต่อวัน (kWh/kWp/day) ซึ่งมีสาเหตุหลักมาจากการบดบังแสง (Shading) สิ่งสกปรกที่สะสมบนแผง (Soiling) และการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบ ในขณะที่การสูญเสียภายในระบบมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.92 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมงต่อกิโลวัตต์พีคต่อวัน (kWh/kWp/day) อันเป็นผลมาจากการประสิทธิภาพการแปลงพลังงานของอินเวอร์เตอร์ และการสูญเสียที่เกิดจากความต้านทานในสายไฟฟ้า (Wiring Losses) แม้ว่าจะมีการสูญเสียพลังงานดังกล่าว แต่ระบบยังคงสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยที่สามารถนำไปใช้งานจริงได้ประมาณ 0.14 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมงต่อกิโลวัตต์พีคต่อปี (kWh/kWp/วัน) และมีอัตราส่วนสมรรถนะอยู่ที่ประมาณ 76.06% เมื่อเทียบกับเงื่อนไขมาตรฐาน (อัตราส่วนสมรรถนะสามารถคำนวณได้โดยใช้ สมการที่ 2.4 - 2.6) ปริมาณพลังงานไฟฟ้ารวมที่ผลิตได้จริงจากระบบตลอดระยะเวลาการทดลองมีค่าเท่ากับ 245.13 เมกะวัตต์ (MWh) (แสดงในตารางที่ 4.6) ในขณะที่พลังงานรวมของอาร์เรย์ที่คำนวณได้ก่อนหักการสูญเสียมีค่า 255.13 เมกะวัตต์ (MWh) และก่อนหักการสูญเสียจากอินเวอร์เตอร์อยู่ที่ 250.10 เมกะวัตต์ (MWh)



รูปที่ 4.9 การผลิตไฟฟ้าที่ผลิตได้จากการจำลองระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาตลาดวงศกร ขนาด 200 กิโลวัตต์ ด้วยซอฟต์แวร์ PVsyst ตลอดปี 2567

ตารางที่ 4.6 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากการจำลองระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาตลาดวงศกร ขนาด 200 กิโลวัตต์ ด้วยซอฟต์แวร์ PVsyst ตลอดปี 2567

	E_{Array} (MWh)	E_{Grid} (MWh)	PR (Ratio)
มกราคม	20.72	20.28	0.776
กุมภาพันธ์	20.48	18.75	0.726
มีนาคม	24.09	23.60	0.771
เมษายน	25.09	24.57	0.769
พฤษภาคม	23.72	21.14	0.700
มิถุนายน	21.52	21.05	0.776
กรกฎาคม	21.19	20.71	0.773
สิงหาคม	20.60	20.14	0.776
กันยายน	18.78	18.35	0.774
ตุลาคม	19.40	18.97	0.781
พฤศจิกายน	19.15	17.61	0.732
ธันวาคม	20.39	19.96	0.779
รวม	255.13	245.13	0.761

4.3.3 การเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงกับการจำลองระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาตลาดวงศกร ด้วยซอฟต์แวร์ PVsyst

จากการประเมินประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าแบบไฮบริด โดยเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการวัดจริงกับค่าที่คำนวณจากซอฟต์แวร์ PVsyst ในช่วงเดือนพฤศจิกายน พบว่าระบบสามารถผลิตไฟฟ้าได้จริงประมาณ 16.69 เมกะวัตต์ชั่วโมง (MWh) ขณะที่ค่าที่ได้จากการจำลองด้วย PVsyst อยู่ที่ 17.61 เมกะวัตต์ชั่วโมง เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างข้อมูลทั้งสองชุด พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนประมาณ 5.22% ซึ่งยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ตามมาตรฐานทางวิศวกรรม ความแตกต่างดังกล่าวอาจเกิดจากหลายปัจจัย เช่น ความผันผวนของสภาพภูมิอากาศในสถานการณ์จริงที่ไม่สามารถควบคุมได้, ความไม่สมบูรณ์ของข้อมูลที่บันทึกในบางช่วงเวลา, ตลอดจนประสิทธิภาพของอุปกรณ์ที่อาจลดลงจากการใช้งานภาคสนาม ทั้งนี้ผลลัพธ์ที่ได้ยังคงแสดงถึงความสอดคล้องในระดับที่น่าพอใจระหว่างข้อมูลจริงกับการจำลอง ซึ่งสะท้อนถึงความแม่นยำของแบบจำลอง PVsyst ในการวิเคราะห์ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในสภาพแวดล้อมจริง

4.3.4 การประเมินต้นทุนโครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาตลาดวงศกร

จากการประเมินระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) ของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าโครงการดังกล่าวมีความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ ระบบสามารถผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยเดือนละประมาณ 16,690 กิโลวัตต์ชั่วโมง หรือเทียบเท่ากับผลผลิตรวมต่อปีที่ประมาณ 200,280 kWh หากคำนวณจากอัตราค่าไฟฟ้าเฉลี่ยที่ 3.8 บาทต่อหน่วย จะพบว่ามูลค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละปีเท่ากับประมาณ 761,000 บาท ซึ่งแสดงถึงต้นทุนค่าไฟที่สามารถลดลงได้จากการใช้พลังงานแสงอาทิตย์แทนการซื้อจากระบบสายส่ง เมื่อเปรียบเทียบกับเงินลงทุนเริ่มต้นของโครงการซึ่งอยู่ที่ 6,000,000 บาท จะสามารถคำนวณระยะเวลาคืนทุนได้โดยการนำเงินลงทุนทั้งหมดหารด้วยมูลค่าพลังงานที่ผลิตได้ต่อปี ส่งผลให้ได้ค่าระยะเวลาคืนทุนประมาณ 7.8 ปี หรือราว 7 ปี 10 เดือน ซึ่งหมายความว่าภายหลังจากช่วงเวลาดังกล่าว ระบบจะสามารถสร้างผลตอบแทนในรูปแบบของการประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานได้อย่างต่อเนื่องตลอดอายุการใช้งานที่เหลืออยู่ของระบบ โดยทั่วไประบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีระยะเวลาคืนทุนในช่วง 6–10 ปี ถือว่าอยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการลงทุนในประเทศไทย [56], [57] อย่างไรก็ตาม ปัจจัยหลายประการอาจส่งผลกระทบต่อความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในระยะยาว เช่น ความผันผวนของราคาไฟฟ้า ต้นทุนการบำรุงรักษาระบบ รวมถึงอายุการใช้งานของส่วนประกอบต่าง ๆ ดังนั้น การวิเคราะห์ด้านการลงทุนควรพิจารณาร่วมกับตัวแปรเหล่านี้เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่แม่นยำและรอบด้านยิ่งขึ้น

บทที่ 5

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ผลของความสูงและตำแหน่งการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ที่หลากหลายต่ออุณหภูมิของพื้นผิวแผงทั้งด้านบนและด้านล่าง โดยอุณหภูมิของแผงเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากเกี่ยวข้องกับกลไกการถ่ายเทความร้อน ไม่ว่าจะเป็นการนำ ความร้อน การพาความร้อน หรือการแผ่รังสีความร้อนออกจากแผง รูปแบบการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 3 กรณี ได้แก่ 1. ระบบติดตั้งบนพื้นดิน ขนาด 4.86 กิโลวัตต์ ที่ระดับความสูง 1 เมตร, 1.5 เมตร และ 2 เมตร 2. ระบบติดตั้งบนหลังคาอาคารจอดรถของร้าน Café Amazon ขนาด 10 กิโลวัตต์ ที่ระดับความสูง 2.5 เมตร, 3 เมตร และ 3.5 เมตร และ 3. ระบบติดตั้งบนหลังคาอาคารตลาดวงศกร ขนาด 200 กิโลวัตต์ ซึ่งเป็นระบบเชื่อมต่อสายส่ง (On-Grid) พร้อมระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ลิเทียม

สำหรับกรณีระบบบนพื้นดิน ขนาด 4.86 กิโลวัตต์ มีการเก็บข้อมูลอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จริง และค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างโครงสร้างรองรับ ผลการศึกษาระบุว่า การเพิ่มความสูงของแผงช่วยเพิ่มการระบายอากาศได้แผงได้ดีขึ้น โดยเฉพาะที่ระดับ 2 เมตร ทำให้อุณหภูมิของแผงลดลงและมีการผลิตพลังงานที่สูงขึ้น โดยพบว่าระดับนี้ให้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพสูงสุดที่ 14.78% ในขณะที่ระดับ 1 เมตรให้ค่าต่ำสุดที่ 13.51%

แม้การยกระดับแผงจะช่วยเพิ่มการผลิตพลังงาน แต่ก็ส่งผลให้ต้นทุนของโครงสร้างที่ใช้งานสูงขึ้น โดยระดับ 2 เมตรมีค่าใช้จ่ายสูงกว่าระดับ 1 เมตรถึง 48.04% ขณะที่ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเพียงประมาณ 0.58% ดังนั้น เมื่อพิจารณาร่วมกันทั้งด้านประสิทธิภาพและค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง พบว่าความสูง 1.5 เมตรเป็นทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด เพราะสามารถรักษาสมดุลระหว่างการเพิ่มผลผลิตไฟฟ้าและความคุ้มค่าในการลงทุนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

นอกจากนี้ ยังได้ใช้ซอฟต์แวร์ PVsyst ในการจำลองผลการทำงานของระบบ ซึ่งให้ค่าเฉลี่ยพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้อยู่ที่ 3.85 kWh/kWp/วัน และมีค่าอัตราส่วนสมรรถนะ (Performance Ratio: PR) เท่ากับ 82% ซึ่งสูงกว่าค่าที่ได้จากการทดลองภาคสนามประมาณ 20% ความคลาดเคลื่อนนี้สะท้อนข้อจำกัดของแบบจำลองที่ยังไม่สามารถสะท้อนปัจจัยภายนอกได้อย่างครบถ้วน เช่น การสะสมฝุ่น ความร้อนสะสมในระบบ หรือการสูญเสียในอุปกรณ์จริง ดังนั้น การเก็บข้อมูลจากการใช้งานจริงจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการปรับปรุงความแม่นยำของแบบจำลองในอนาคต สำหรับการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาที่จอดรถขนาด 10 กิโลวัตต์ ที่ระดับความสูง 2.5 เมตร, 3 เมตร และ 3.5

เมตร พบว่า ระดับความสูงของแผงมีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า โดยความสูงที่ 3.5 เมตรให้ค่าการผลิตพลังงานสูงสุด ทั้งนี้ แม้ความแตกต่างด้านอุณหภูมิใต้แผงจะมีน้อย แต่อากาศที่ไหลเวียนดีขึ้น ช่วยส่งเสริมการระบายความร้อนและเพิ่มประสิทธิภาพการแปลงพลังงาน จากข้อมูลการผลิตจริงในเดือนกรกฎาคมพบว่า ระบบสามารถผลิตพลังงานได้รวม 1,200 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง ขณะที่การจำลองด้วยซอฟต์แวร์ PVsyst ให้ผลการผลิตพลังงาน 1,188 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง ด้วยอัตราส่วนสมรรถนะ (PR) เฉลี่ยที่ 78.26% โดยมีความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าจำลองและค่าจริงเพียง 1% สะท้อนความแม่นยำของแบบจำลอง ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาผลตอบแทนด้านเศรษฐศาสตร์ พบว่าระบบสามารถคืนทุนได้ภายในเวลาเพียงประมาณ 0.46 ปี ซึ่งเป็นระยะเวลาคืนทุนที่สั้นมาก แสดงถึงความคุ้มค่าของการลงทุนและศักยภาพของระบบในการสร้างผลตอบแทนในระยะยาวอย่างมีประสิทธิภาพ.

สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาอาคารตลาดวงศกร ขนาด 200 กิโลวัตต์ พบว่าสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้จริงเฉลี่ยประมาณ 556.58 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อวัน หรือคิดเป็นราว 200.28 เมกะวัตต์ชั่วโมงต่อปี ในส่วนของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ลิเธียม พบว่าสามารถจัดเก็บไฟฟ้าได้ในปริมาณประมาณ 80.76 เมกะวัตต์ชั่วโมงต่อปี สะท้อนให้เห็นถึงศักยภาพของระบบไฮบริดที่สามารถใช้พลังงานแสงอาทิตย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงในเดือนพฤศจิกายนกับผลจากการจำลองด้วยโปรแกรม PVsyst พบว่า ระบบสามารถผลิตพลังงานได้ 16.69 เมกะวัตต์ชั่วโมง ขณะที่แบบจำลองคาดการณ์ไว้ที่ 17.61 เมกะวัตต์ชั่วโมง คิดเป็นค่าความคลาดเคลื่อนเพียง 5.22% และมีค่าอัตราส่วนสมรรถนะเฉลี่ย (Performance Ratio: PR) อยู่ที่ 76.06% ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ตามมาตรฐานวิศวกรรม แสดงให้เห็นถึงความแม่นยำและความน่าเชื่อถือของซอฟต์แวร์ PVsyst ในการประเมินประสิทธิภาพของระบบพลังงานแสงอาทิตย์ ในด้านการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ ระบบนี้สามารถลดค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าลงได้ประมาณ 761,000 บาทต่อปี โดยมีระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ประมาณ 7.8 ปี ซึ่งถือว่าอยู่ในช่วงเวลาที่เหมาะสมต่อการลงทุนในบริบทของประเทศไทย และมีศักยภาพในการสร้างผลตอบแทนทางเศรษฐกิจอย่างต่อเนื่องในระยะยาว ภายหลังจากช่วงคืนทุน

จากผลการวิจัยนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการออกแบบและวางแผนระบบโซลาร์ฟาร์ม หรือระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ได้ในหลายด้าน ดังนี้:

1. การเลือกความสูงในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์: งานวิจัยแสดงให้เห็นว่า ความสูงของโครงสร้างติดตั้งมีผลโดยตรงต่ออุณหภูมิของแผง ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้า โดยความสูงที่เหมาะสมช่วยเพิ่มการระบายความร้อนผ่านการพาความร้อน ทำให้แผงทำงานได้ใกล้เคียงอุณหภูมิที่เหมาะสม ส่งผลให้ประสิทธิภาพดีขึ้น การกำหนดความสูงในโซลาร์ฟาร์มควรคำนึงถึงการ

ถ่ายเทอากาศได้แผงและต้นทุนโครงสร้างที่สมดุล เช่น เลือกระดับสูงในช่วง 1.5–2 เมตร สำหรับแผงบนพื้นดิน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพโดยไม่เพิ่มต้นทุนเกินความจำเป็น

2. การประเมินพื้นที่และสภาพแวดล้อม: การติดตั้งบนหลังคาอาคารหรือโครงสร้างอื่น ๆ เช่น อาคารจอดรถ ให้ผลลัพธ์ที่ดีทั้งในแง่ประสิทธิภาพและการใช้พื้นที่คุ้มค่า โดยเฉพาะพื้นที่ในเขตเมืองที่ดินมีจำกัด แนวทางนี้สามารถขยายใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ที่ติดตั้งบนหลังคาล้างสินค้า โรงงาน หรืออาคารพาณิชย์ เพื่อเพิ่มกำลังผลิตโดยไม่ใช้พื้นที่ดินเพิ่มเติม

3. การใช้แบบจำลอง PVsyst ในการวางแผนระบบ: การประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าด้วยซอฟต์แวร์ PVsyst พบว่าค่าจำลองมีความแม่นยำสูงเมื่อเทียบกับค่าจริง (ค่าคลาดเคลื่อนเพียง 1–5%) ดังนั้นจึงสามารถนำไปใช้ในการวางแผน กำหนดขนาดระบบ คำนวณผลผลิตพลังงาน และวิเคราะห์ความคุ้มค่าของโครงการขนาดใหญ่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถใช้ข้อมูลการวัดจริงจากระบบขนาดเล็กเป็นฐานในการปรับค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลองให้ใกล้เคียงกับสภาพแวดล้อมของพื้นที่ติดตั้งจริง

4. การวางแผนด้านเศรษฐศาสตร์และระยะเวลาคืนทุน: ข้อมูลจากการศึกษาระบุถึงระยะเวลาคืนทุนที่แตกต่างกันในแต่ละขนาดระบบ ตั้งแต่ไม่ถึง 1 ปี (ระบบ 10 kW) ไปจนถึงประมาณ 8 ปี (ระบบ 200 kW) ซึ่งสามารถใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับผู้ลงทุนและผู้พัฒนาโครงการขนาดใหญ่ในการประเมินความคุ้มค่า ปรับแผนการเงิน และพัฒนาโครงการให้ตอบโจทย์ทั้งด้านพลังงานและเศรษฐศาสตร์

5. แนวทางการออกแบบระบบไฮบริด: กรณีของตลาดวงจรที่มีการติดตั้งระบบกักเก็บพลังงานแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของระบบไฮบริด (Solar + Storage) ในการเพิ่มเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า และสามารถบริหารจัดการพลังงานได้ดียิ่งขึ้น โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีปัญหาด้านความมั่นคงของโครงข่ายไฟฟ้า การใช้แบตเตอรี่กักเก็บพลังงานนำไปใช้กับโซลาร์ฟาร์มเพื่อสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการจ่ายไฟ และลดความสูญเสียจากการผลิตเกินความต้องการในช่วงเวลากลางวัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษานี้ สามารถเสนอแนะแนวทางสำหรับการศึกษาวิจัยในอนาคตได้ดังต่อไปนี้

5.2.1 การศึกษาระดับความสูงและรูปแบบการติดตั้งเพิ่มเติม ควรขยายช่วงของระดับความสูงและรูปแบบการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้หลากหลายมากขึ้น เช่น การติดตั้งที่ความสูงเกิน 3.5 เมตร หรือการปรับมุมเอียงของแผง เพื่อประเมินผลต่อการระบายความร้อนและประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าในสภาพอากาศร้อนขึ้นอย่างประเทศไทย

5.2.2 การศึกษาในช่วงฤดูกาลที่หลากหลาย การทดลองเพิ่มเติมในช่วงฤดูฝนและฤดูหนาว จะช่วยให้ได้ข้อมูลเปรียบเทียบด้านสภาพอากาศที่แตกต่างกัน ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิแผง การระบาย ความร้อน และการผลิตไฟฟ้าอย่างมีนัยสำคัญ

5.2.3 การเปรียบเทียบชนิดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ควรเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผง แต่ละประเภท เช่น Monocrystalline, Polycrystalline และ Thin-film ภายใต้สภาพแวดล้อมและ ความสูงที่แตกต่างกัน เพื่อหาแผงที่เหมาะสมที่สุดกับลักษณะพื้นที่ติดตั้งและงบประมาณ

5.2.4 การวิเคราะห์ ผลกระทบของฝุ่นและเงาบังแสง ต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์



บรรณานุกรม

- [1] Gamonwet, P. & Dhakal, S. (2023). The assessment of the value of electricity saving and economic benefit to residential solar rooftop PV customer: The case of Thailand. **Energy Strategy Reviews**, 50, 101203.
- [2] Kadam, A. R., Singh, N., Dhoble, N. S., Vengadaesvaran, B. & Dhoble, S. J. (2023). 11 - Management of solar cell e-waste: challenges and techniques. in **360-Degree Waste Management**, 2, 255–272.
- [3] Wang, F., Li, R., Zhao, G., Xia, D. & Wang, W. (2024). Simulation test of 50 MW grid-connected ‘Photovoltaic+Energy storage’ system based on pvsyst software. **Results in Engineering**, 22, 102331.
- [4] Bhatia, A. (2024, July 31). Design and Sizing of Solar Photovoltaic Systems. Retrieved from <https://www.cedengineering.com/course-page>.
- [5] Hasan, K., Yousuf, S. B., Tushar, M. S. H. K., Das, B. K., Das, P., & Islam, Md. S. (2022). Effects of different environmental and operational factors on the PV performance: A comprehensive review. **Energy Science & Engineering**, 10(2), 656–675.
- [6] Shaik, F., Lingala, S. S. & Veeraboina, P. (2023). Effect of various parameters on the performance of solar PV power plant: a review and the experimental study. **Sustainable Energy res.**, 10(1), 6.
- [7] Kumar, R., Rajoria, C. S., Sharma, A. & Suhag, S. (2021). Design and simulation of standalone solar PV system using PVsyst Software: A case study. **Materials Today: Proceedings**, 46, 5322–5328.
- [8] Shrivastava, A., Sharma, R., Kumar Saxena, M., Shanmugasundaram, V., Lal Rinawa, M. & Ankit. (2023) Solar energy capacity assessment and performance evaluation of a standalone PV system using PVSYST. **Materials Today: Proceedings**, 80, 3385– 3392. 67.
- [9] Al-Ezzi, A. S. & Ansari, M. N. M. (2022). Photovoltaic Solar Cells: A Review. **ASI**, 5(4),
- [10] Di Sabatino, M., Hendawi, R. & Garcia, A. S. (2024). Silicon Solar Cells: Trends, Manufacturing Challenges, and AI Perspectives. **Crystals**, 14(2), 167.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [11] Roy, P., Ghosh, A., Barclay, F., Khare, A. & Cuce, E. (2022). Perovskite Solar Cells: A Review of the Recent Advances. **Coatings**, **12**(8).
- [12] Kannan N. & Vakeesan D. (2016). Solar energy for future world: - A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, **62**, 1092–1105.
- [13] Feng, J. Wang, X., Li, J., Liang, H., Wen, W., Alvianto, E., Qiu, C. W., Su, R. & Hou, Y. (2023). Resonant perovskite solar cells with extended band edge. **Nat Commun**, **14**(1), 5392.
- [14] Kopecek, R. & Libal, J. (2021). Bifacial Photovoltaics 2021: Status, Opportunities and Challenges. **Energies**, **14**(8), 2076.
- [15] López-Castrillón, W., Sepúlveda, H. H. & Mattar, C. (2021). Off-Grid Hybrid Electrical Generation Systems in Remote Communities: Trends and Characteristics in Sustainability Solutions. **Sustainability**, **13**(11), 5856.
- [16] SunGoldPower. (2025, Feb 11). On-grid, Off-grid and Hybrid: Which is better for you? Retrieved from <https://sungoldpower.com/blogs/news/on-grid-off-grid-and-hybrid-which-is-better-for-you>.
- [17] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2563). แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของ ประเทศไทยจากข้อมูลดาวเทียม ปี 2563. สืบค้นจาก <https://gis.dede.go.th/gallery-map-view.aspx?p=93>.
- [18] Forsberg, C. H. (2021). **Introduction to heat transfer**. Heat Transfer Principles and Applications, Elsevier, 1–21.
- [19] Forsberg, C. H. (2021). **Natural (free) convection**. Heat Transfer Principles and Applications, Elsevier, 267–304.
- [20] Modest M. F. & Mazumder, S. (2022). **Chapter 9 - The Radiative Transfer Equation in Participating Media (RTE)**. Radiative Heat Transfer (4th ed), Academic Press, 285–309.
- [21] Messenger R. A. & “Amir” Abtahi, H. (2017). **Photovoltaic Systems Engineering** (4th ed). Boca Raton: CRC Press.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [22] Phowan, A., Sripadungtham, P., Limmanee, A. & Hattha, E. (2011). Performance analysis of polycrystalline silicon and thin film amorphous silicon solar cells installed in Thailand by using simulation software. In **The 8th Electrical Engineering/ Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI) Association of Thailand - Conference 2011** (pp. 625-628), Khon Kaen, Thailand, IEEE.
- [23] Ogliari, E., Dolara, A., Mazzeo, D., Manzolini, G. & Leva, S. (2023). Bifacial and Monofacial PV Systems Performance Assessment Based on IEC 61724-1 Standard. **Photovoltaics**, **13**(5), 756–763.
- [24] Milosavljević, D. D., Kevkić, T. S. & Jovanović, S. J. (2022). Review and validation of photovoltaic solar simulation tools/software based on case study. **Open Physics**, **20**(1), 431-451.
- [25] Ahmad, F. F., Abdelsalam, M., Hamid, A. K., Ghenai, C., Obaid, W. & Bettayeb, M. (2020). Experimental validation of pvsyst simulation for fix oriented and azimuth Tracking solar pv system. **Modelling, Simulation and Intelligent Computing – Proceedings of MoSiCom**, 227–235.
- [26] Chepp, E. D., Gasparin, F. P. & Krenzinger, A. (2021). Accuracy investigation in the modeling of partially shaded photovoltaic systems. **Solar Energy**, **223**, 182–192.
- [27] Siregar, M., Pardosi, C. H., Bachri, K. O., Nur, T. & Pandjaitan, L. W. (2024) Comparison of Actual Results and PVSyst Simulation in the Design of Off-Grid Solar Power Generation System (PLTS) in Karuni Village, Southwest Sumba. **journalelektro**, **17**(1), 1–12.
- [28] Islam, M. A., Islam, Z., Muniandi, B., Naushad Ali, M. M., Rahman, M. A., & Hossain Lipu, M. H. S. (2023). Comparative Analysis of PV Simulation Software by Analytic Hierarchy Process. In **10th IEEE International Conference on Power Systems (ICPS)** (pp. 1–5).

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [29] Attyagalle, M. & Chandrasiri, S. (2017). Temperature Effect on Solar Photovoltaic Power Generation.
- [30] Adeeb, J., Farhan, A. & Al-Salaymeh, A. (2019). Temperature Effect on erformance of Different Solar Cell Technologies. **J. Ecol. Eng**, **20**(5), 249–254
- [31] Zhang, X. & Xu, M. (2020). Assessing the Effects of Photovoltaic Powerplants on Surface Temperature Using Remote Sensing Techniques. **Remote Sensing**, **12**(11), 1825.
- [32] Atirah, I. N., Rafidah, W. A. S., Abdul, M. Z., Azri, M. A. & Kamarizan, K. (2020). Impact of Extreme Temperature on Solar Power Plant in Malaysia. **Chemical Engineering Transactions**, **94**, 343–348.
- [33] Osma, G., Ordóñez, G., Hernández, E., Quintero, L. & Torres, M. (2016). The impact of height installation on the performance of PV panels integrated into a green roof in tropical conditions. Presented at **the ENERGY QUEST 2016** (pp.147-156), Ancona, Italy.
- [34] Khamchaleun, T., Surawanitkun, C. & Kaewrawng, A. (2019). Effects of Solar hotovoltaic Size on Grid-Connected Power System in Savannakhet Province, **Lao People's Democratic Republic**, **19**(4).
- [35] Nnamchi, S. N., Natukunda, F., Wanambwa, S., Musiime, E. B., Tukamuhebwa, R., Wanazusi, T. & Ogwal, E. (2023). Effects of wind speed and tropospheric height on solar power generation: Energy exploration above ground level. **Energy Reports**, **9**, 5166–5182.
- [36] Zhe, L. W., Yusoff, Mohd. I. B., Misrun, M. I., Abdul Razak, A. B., Ibrahim, S. & B. Zhubir, N. S. (2016). Investigation of Solar Panel Performance Based on Different Wind Velocity Using ANSYS Software. **IJECS**, **1**(3), 456.
- [37] Villemin, T., Claverie, R., Sawicki, J.-P. & Parent, G. (2022). Thermal characterization of a photovoltaic panel under controlled conditions. **Renewable Energy**, **198**, 28–40.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [38] Basu, P. K., Khanna, A. & Hameiri, Z. (2015). The effect of front pyramid heights on the efficiency of homogeneously textured inline-diffused screen-printed monocrystalline silicon wafer solar cells. *Renewable Energy*, **78**, 590–598.
- [39] Xu, Z., Kong, Q., Qu, H. & Wang, C. (2023). Cooling characteristics of solar photovoltaic panels based on phase change materials. *Case Studies in Thermal Engineering*, **41**, 102667.
- [40] Wang, F., Li, Z., Liu, M., Liu, X., Pang, D., Du, W., Cheng, X., Zhang, Y. & Guo, W. (2023). Heat-dissipation performance of photovoltaic panels with a phase-change material fin structure. *Journal of Cleaner Production*, **423**, 138756.
- [41] Smit, S. E., Viggiano, B., Ali, N., Silverman, T. J., Obligado, M., Calaf, M., & Cal, R. B. (2022). Increased panel height enhances cooling for photovoltaic solar farms. *Applied Energy*, **325**, 119819.
- [42] Baqir M. & Channi, H. K. (2022). Analysis and design of solar PV system using Pvsyst software. *Materials Today: Proceedings*, **48**, 1332–1338.
- [43] Ranjan Das, M. (2019). Effect of Different Environmental Factors on Performance of Solar Panel. *IJITEE*, **8**(11), 15–18.
- [44] Dubey, S., Sarvaiya, J. N. & Seshadri, B. (2013). Temperature Dependent Photovoltaic (PV) Efficiency and Its Effect on PV Production in the World – A Review. *Energy Procedia*, **33**, 311–321.
- [45] Chandra, S., Agrawal, S. & Chauhan, D. S. (2018). Effect of Ambient Temperature and Wind Speed on Performance Ratio of Polycrystalline Solar Photovoltaic Module: An Experimental Analysis.
- [46] Cuce, E., Cuce, P. M. & Bali, T. (2048). Impact of humidity on current parameters of solar cells. *Journal of Energy Systems*, **2**(3).

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [47] Khan, M. F., Islam, Md. S. & Islam, S. (2019). Effect of Variation of Solar irradiance on the Inverter Output for a Grid connected PV system. In **2019 International Conference on Energy and Power Engineering (ICEPE)** (pp. 1-4), Dhaka, Bangladesh: IEEE.
- [48] Ibrahim, K. A., Gyuk, P. M. & Aliyu, S. (2019). The Effect of Solar Irradiation on Solar Cells. 14(1).
- [49] Amer Dahham, I., Mohd Zainuri, M. A. A., Abdullah, A. A. & Fauzan, M. F. (2023). Modeling the Effect of Dust and Wind Speed on Solar Panel Performance in Iraq. **Energies**, 16(17), 6397.
- [50] Smith, S. E., Viggiano, B., Ali, N., Silverman, T. J., Obligado, M., Calaf, M. & Cal, R. E. (2022). Increased panel height enhances cooling for photovoltaic solar farms. **Applied Energy**, 325, 119819.
- [51] Meena, R., Kumar, S. & Gupta, R. (2020). Comparative investigation and analysis of delaminated and discolored encapsulant degradation in crystalline silicon photovoltaic modules. **Solar Energy**, 203, 114–122.
- [52] Grover, A., Khosla, A. & Joshi, D. Design and simulation of 20MW photovoltaic power plant using PVSyst. **IJECS**, 19(1), 58.
- [53] Kadir, N. A. Abdullah, A. Z. & Mohd Hussin, N. N. (2023). Modeling and simulation of a 16.20 kWp on-grid solar Photovoltaic System (PV) using PVSyst at Malaysia. **J. Phys.: Conf. Ser.**, 2550(1), 012005.
- [54] Kumpanalaisatit, M., Jankasorn, A., Setthapun, W., Sintuya, H. & Jansri, S. (2019). The effect of space utilization under the ground-mounted solar farm on power generation. **ajarcde**, 3(1), 14–16.
- [55] Irwan, Y. M., Syafiqah, Z., Amelia, A. R., Irwanto, M., Leow, W. Z. & Ibrahim, S. (2016). Design the Balance of System of Photovoltaic for Low Load Application. **IJECS**, 4(2), 279.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [56] วันวิสาข์ ศรีสงคราม. (2563). การกำหนดแนวทางที่เหมาะสม สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ บนหลังคาอาคารเรียนในประเทศไทย กรณีศึกษาโรงเรียนสระบุรีวิทยาคม แบบอาคารเรียนมาตรฐาน สพฐ. 108 ล./30. (วิทยานิพนธ์, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์).
- [57] ศักราษ ความหมั่น. (2567). การประเมินศักยภาพระบบผลิตพลังงานขยะและแสงอาทิตย์: กรณีศึกษา อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง. วิทยสารบูรณาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม ประยุกต์ม 17(2), 57-71.



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

ข้อมูลสภาพอากาศโดยเฉลี่ยเดือนมีนาคม-เมษายน พ.ศ. 2567
ของการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นดิน ขนาด 4.86 กิโลวัตต์
ที่ระดับความสูง 1 เมตร 1.5 เมตร และ 2 เมตร



ตารางที่ ก.1 ข้อมูลสภาพอากาศโดยเฉลี่ยเดือนมีนาคม-เมษายน พ.ศ. 2567 ของการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นดิน ขนาด 4.86 กิโลวัตต์
ที่ระดับความสูง 1 เมตร 1.5 เมตร และ 2 เมตร

เวลา (โมง)	อุณหภูมิพื้นผิว (°C)						ความเร็วลม (m/s)	ทิศทางลม (Degree)	ความชื้น (%RH)	อุณหภูมิแวดล้อม (°C)	ความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m ²)
	บน (2 m)	ล่าง (2 m)	บน (1.5 m)	ล่าง (1.5 m)	บน (1 m)	ล่าง (1 m)					
6.00	24.55	24.07	23.84	23.88	23.80	24.85	0.01	267.11	57.39	84.13	1.07
6.50	24.85	24.50	24.32	24.16	24.27	25.08	0.01	272.45	57.42	84.23	20.90
7.00	26.52	26.39	26.07	25.54	26.20	26.24	0.02	280.24	57.99	82.40	80.31
7.50	29.45	29.89	29.14	27.86	29.28	27.99	0.02	268.91	58.88	79.38	161.78
8.00	32.72	33.47	32.35	30.23	32.41	29.97	0.02	270.67	59.83	75.78	268.43
8.50	36.52	37.73	35.84	32.79	35.74	32.02	0.02	242.68	60.90	71.97	379.57
9.00	38.72	40.83	38.23	34.60	38.01	33.58	0.03	235.08	61.82	67.79	444.84
9.50	40.10	42.47	40.86	37.09	41.17	35.61	0.03	213.17	62.85	62.65	551.76
10.00	42.67	44.71	43.58	39.90	44.34	37.65	0.03	224.85	63.84	57.85	597.07
10.50	44.60	46.89	45.67	41.64	46.44	39.06	0.04	189.00	64.62	54.35	674.80
11.00	47.23	49.81	48.49	44.15	49.59	40.93	0.03	183.72	65.55	50.18	772.63
11.50	48.68	51.34	49.86	45.35	50.95	41.97	0.03	201.86	66.24	47.41	733.66
12.00	49.41	52.38	50.83	46.27	51.91	42.75	0.03	195.97	66.72	45.39	744.33
12.50	48.73	51.65	50.27	45.64	51.17	42.39	0.03	197.35	66.90	44.03	741.23
13.00	49.47	52.38	51.01	46.19	52.03	42.77	0.03	198.73	67.28	42.70	752.52
13.50	48.82	51.63	50.22	45.55	51.27	42.38	0.03	219.41	67.49	41.78	739.78
14.00	47.51	50.11	48.73	44.26	49.63	41.56	0.03	197.17	67.46	41.32	659.30
14.50	46.32	48.93	47.69	43.34	48.59	40.89	0.04	163.13	67.42	41.13	636.30
15.00	45.17	47.34	46.13	42.23	47.09	40.02	0.04	177.52	67.38	41.17	547.06
15.50	43.74	45.79	44.74	41.11	45.64	39.31	0.04	211.78	67.22	40.76	493.51

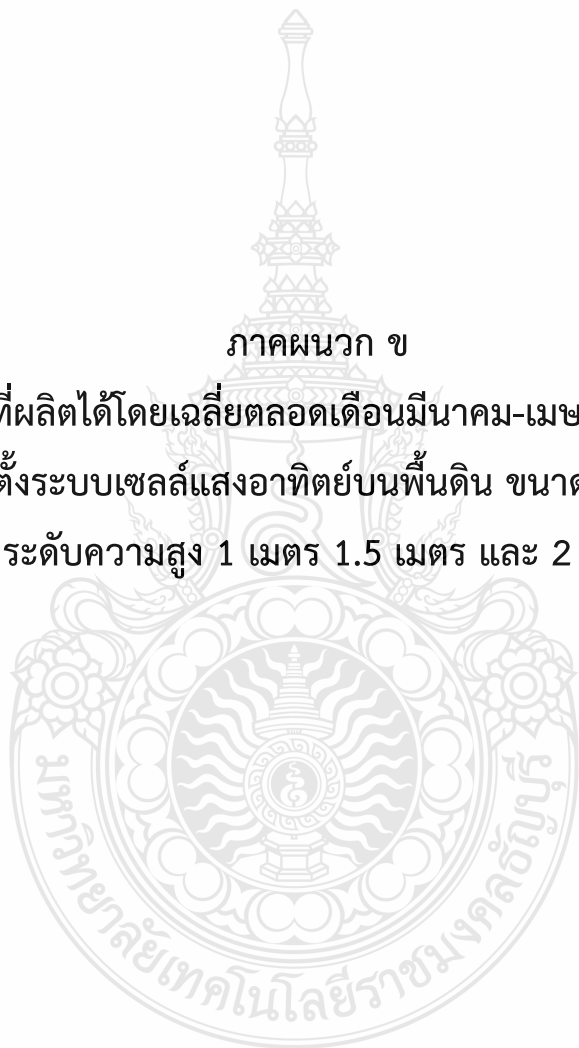
ตารางที่ ก.1 ข้อมูลสภาพอากาศโดยเฉลี่ยเดือนมีนาคม-เมษายน พ.ศ. 2567 ของการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นดิน ขนาด 4.86 กิโลวัตต์
ที่ระดับความสูง 1 เมตร 1.5 เมตร และ 2 เมตร (ต่อ)

เวลา (โมง)	อุณหภูมิพื้นผิว (°C)						ความเร็วลม (m/s)	ทิศทางลม (Degree)	ความชื้น (%RH)	อุณหภูมิแวดล้อม (°C)	ความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m ²)
	บน (2 m)	ล่าง (2 m)	บน (1.5 m)	ล่าง (1.5 m)	บน (1 m)	ล่าง (1 m)					
16.00	42.08	43.63	42.59	39.55	43.50	38.17	0.04	149.20	66.95	40.90	397.08
16.50	39.76	40.67	39.75	37.43	40.52	36.72	0.04	200.49	66.48	41.69	288.97
17.00	36.87	37.42	36.80	34.99	37.31	34.99	0.03	204.39	65.71	43.45	198.04
17.50	34.44	34.45	33.97	33.03	34.45	33.36	0.03	214.44	64.88	45.68	67.85
18.00	31.51	31.16	30.84	30.59	30.87	31.38	0.04	238.10	63.59	49.65	30.17



ภาคผนวก ข

ข้อมูลไฟฟ้าที่ผลิตได้โดยเฉลี่ยตลอดเดือนมีนาคม-เมษายน พ.ศ. 2567
ของการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นดิน ขนาด 4.86 กิโลวัตต์
ที่ระดับความสูง 1 เมตร 1.5 เมตร และ 2 เมตร



ตารางที่ ข.1 ข้อมูลไฟฟ้าที่ผลิตได้โดยเฉลี่ยตลอดเดือนมีนาคม-เมษายน พ.ศ. 2567 ของการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นดิน ขนาด 4.86 กิโลวัตต์ ที่ระดับความสูง 1 เมตร 1.5 เมตร และ 2 เมตร

วันที่	เดือนมีนาคม				เดือนเมษายน			
	ไฟฟ้ากระแสตรง (กิโลวัตต์)			ไฟฟ้ากระแสสลับ (กิโลวัตต์)	ไฟฟ้ากระแสตรง (กิโลวัตต์)			ไฟฟ้ากระแสสลับ (กิโลวัตต์)
	2 m	1.5 m	1 m		2 m	1.5 m	1 m	
1	16.44	16.18	15.32	16.77	16.25	16.20	14.88	16.90
2	15.53	15.16	14.54	16.78	15.40	15.29	13.42	16.93
3	15.45	15.30	14.09	16.74	16.73	16.53	15.33	16.94
4	15.69	15.48	14.68	16.79	14.69	14.62	13.49	16.94
5	15.77	15.68	14.79	16.79	15.45	15.68	13.85	16.92
6	16.62	16.58	15.26	16.59	15.31	15.48	14.02	16.69
7	14.76	14.76	13.94	16.23	16.70	16.78	15.11	16.93
8	15.04	14.94	14.02	16.24	14.84	14.80	13.05	16.86
9	14.50	13.70	14.21	16.40	16.19	16.11	14.43	16.72
10	15.91	15.62	15.26	16.78	15.61	15.35	14.36	16.74
11	15.72	15.60	14.69	16.99	17.12	16.95	15.59	16.68
12	15.83	15.39	15.23	17.02	14.14	14.13	12.88	16.70
13	15.56	15.10	14.94	17.00	16.25	16.32	15.01	16.66
14	16.33	15.95	14.67	17.00	15.26	15.16	13.72	16.66
15	15.77	15.49	14.22	17.02	15.97	16.07	14.43	16.64
16	14.65	14.29	14.30	17.02	16.14	16.25	14.43	16.67
17	15.87	15.40	14.79	16.98	15.86	15.95	14.16	16.63
18	16.22	16.47	15.09	17.02	14.93	15.08	13.07	16.65
19	15.82	15.45	14.57	17.04	14.75	14.71	13.00	16.62
20	15.73	15.63	15.36	16.97	15.26	15.25	13.84	16.65
21	15.80	15.70	14.45	16.95	16.02	16.02	15.09	16.68
22	14.86	14.72	13.13	15.17	15.97	16.06	14.20	16.63
23	16.91	16.89	15.47	17.09	16.38	16.06	15.37	16.66
24	16.29	16.16	15.01	16.97	15.11	15.14	13.39	16.69
25	15.73	15.80	13.62	16.90	15.20	15.37	13.26	16.65
26	15.43	15.38	14.66	16.96	15.87	16.09	13.83	16.67
27	14.88	15.19	14.39	16.95	15.92	16.07	13.90	16.66
28	16.50	16.19	15.08	16.89	16.42	16.52	14.67	16.67
29	15.48	15.42	13.65	16.82	14.47	14.58	12.57	16.65
30	16.03	16.01	14.41	16.84	16.40	16.48	14.91	16.66
31	15.27	15.23	13.50	16.84				

ประวัติผู้เขียน

ประวัติผู้เขียน	นายสุเทพ สีมาลา
วัน เดือน ปีเกิด	30 เมษายน 2524
ที่อยู่	146/1 หมู่ 7 ตำบลทับกวาง อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี 18260
ประวัติการศึกษา	ปริญญาตรี คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สาขาเทคโนโลยีไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ธัญบุรี ปริญญาโท คณะบริหารธุรกิจ สาขาการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยรามคำแหง
ประวัติการทำงาน	ตำแหน่งวิศวกรไฟฟ้า บริษัท แพรคติกอล เอ็นจิเนียริง จำกัด พ.ศ.2547 – 2553 ตำแหน่งวิศวกรโครงการ บริษัท อีเมอร์สัน เนทเวอร์ค พาวเวอร์ จำกัด พ.ศ.2554 – 2555 ตำแหน่งกรรมการผู้จัดการ บริษัท โปรเจกต์ทีม เอ็นจิเนียริง จำกัด พ.ศ.2555 – ปัจจุบัน บริษัท โปรเจกต์ทีม คอนสตรัคชั่น จำกัด พ.ศ.2562 - ปัจจุบัน
เบอร์โทรศัพท์	084-287-9541
อีเมล	suthep_si@mail.rmutt.ac.th