

การศึกษาศักยภาพระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดกึ่งโปร่งใส  
สำหรับโรงเรือนปลูกพืช



ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน  
มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2566

การศึกษาศักยภาพระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดกึ่งโปร่งใส  
สำหรับโรงเรือนปลูกพืช



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

สำนักบริหารและพัฒนานิชาการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2566

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

การศึกษาศักยภาพระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดกึ่งโปร่งใส  
สำหรับโรงเรือนปลูกพืช

Tadam Vongpanya

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา  
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรารุช พลวงษ์ศรี)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ. ....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

(รองศาสตราจารย์ ดร.อัครินทร์ อินทนิเวศน์)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ. ....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุลักษณ์ มงคล)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ. ....

ประธานอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รจพรรณ นิรัญศิลป์)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ. ....

สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการรับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ)

รองอธิการบดี

วันที่.....เดือน.....พ.ศ. ....

ชื่อเรื่อง	การศึกษาศักยภาพระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดกึ่งโปร่งใสสำหรับโรงเรือนปลูกพืช
ชื่อผู้เขียน	Mr. Tadam Vongpanya
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรารุช พลวงษ์ศรี

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาศักยภาพระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดกึ่งโปร่งใสสำหรับโรงเรือนปลูกพืช โดยแบ่งงานเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นการศึกษาสีของฟิล์มที่เหมาะสมในการสร้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใส 3 สี ได้แก่ สีแดง สีน้ำเงิน และสีแดงสลับน้ำเงิน เปรียบเทียบกับไม่มีการติดฟิล์ม และศึกษารูปแบบการจัดวางเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใส 3 รูปแบบ ได้แก่ รูปแบบการจัดวางเซลล์แบบเว้นระยะห่างแบบที่ 1 รูปแบบการจัดวางเซลล์แบบเว้นระยะห่างแบบที่ 2 และรูปแบบการจัดวางเซลล์แบบหมากรุก จากการศึกษาพบว่า การติดฟิล์มทั้ง 3 สี ทำให้ค่า PPFD บางจุดในโรงเรือนต่ำกว่า  $400 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  ซึ่งไม่เหมาะกับการปลูกสตอเบอรี่ ในขณะที่รูปแบบการจัดวางเซลล์รูปแบบเว้นระยะห่างแบบที่ 2 และและแบบหมากรุกมีค่า PPFD ที่ใกล้เคียงกันซึ่งมีค่า PPFD มากกว่า  $400 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  ซึ่งเหมาะสมในการปลูกสตอเบอรี่ แต่เมื่อพิจารณากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้พบว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดกึ่งโปร่งใสที่จัดวางเซลล์แบบตราหมากรุกมีกำลังไฟฟ้าผลิตติดตั้งมากกว่า ดังนั้นรูปแบบการจัดเรียงวางเซลล์แบบหมากรุกจึงเหมาะสมที่สุดในการนำไปติดตั้งบนหลังคาโรงเรือนปลูกสตอเบอรี่โดยมีค่า PPFD เฉลี่ยที่  $660.37 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$

ในส่วนที่ 2 เป็นการออกแบบ ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดกึ่งโปร่งใสที่มีการจัดวางเซลล์แบบตราหมากรุกบนหลังคาโรงเรือนปลูกสตอเบอรี่ขนาด กว้าง 6 m ยาว 12 m ที่มีการใช้ระบบทำความเย็นแบบระเหยน้ำ และทำการทดสอบสมรรถนะการผลิตไฟฟ้า พบว่าสามารถติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดกึ่งโปร่งใสแบบตราหมากรุกได้ขนาด  $151.12 \text{ W}/\text{panel}$  ได้ทั้งหมด 36 แผง รวมเป็นกำลังไฟฟ้าติดตั้ง 5.4 kW เมื่อทำการทดสอบพบว่า ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดกึ่งโปร่งใสอยู่ที่ 11.79 % และประสิทธิภาพของระบบเท่ากับ 11.37% และมีสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 66.1 % และเมื่อทำการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ พบว่าการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดกึ่งโปร่งใสบนหลังคาโรงเรือนปลูกสตอเบอรี่ สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าพื้นฐานลงได้ 4,780.19 kWh/year คิดเป็นค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ 21,150.54 Baht/year มีเงินลงทุนพร้อมค่าติดตั้ง 288,719 Baht คิดเป็นระยะเวลาคืนทุน 13.65 ปี

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ 56,724.84 Baht และอัตราผลตอบแทนภายใน 3.55 %

คำสำคัญ : แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดกึ่งโปร่งใส, รูปแบบการจัดวางเซลล์, ประสิทธิภาพ, โรงเรือนปลูกพืช, สตรอว์เบอร์รี่



<b>Title</b>	POTENTIAL STUDY OF SEMI-TRANSPARENT SOLAR PV ELECTRICITY GENERATION SYSTEM FOR GREENHOUSE
<b>Author</b>	Mr. Tadam Vongpanya
<b>Degree</b>	Master of Engineering in Renewable Energy Engineering
<b>Advisory Committee Chairperson</b>	Assistant Professor Dr. Sarawut Polvongsri

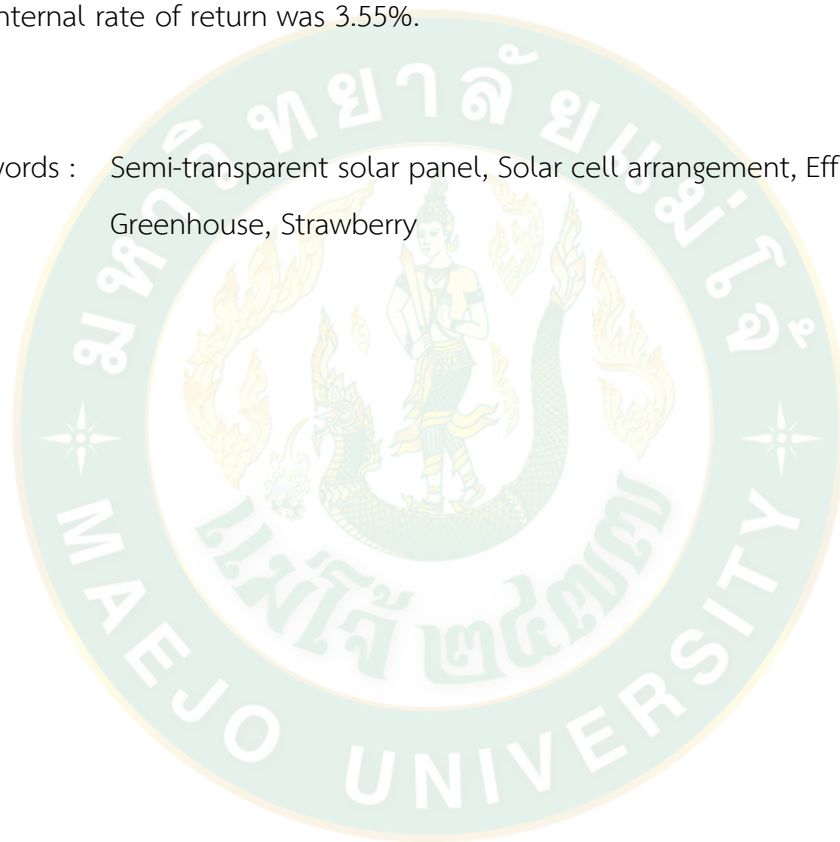
### ABSTRACT

The objective of this research is to study the potential of a semi-transparent solar photovoltaic system for plant cultivation in a greenhouse. The research is divided into two parts. The first part studies the appropriate film color for creating a semi-transparent solar panel, with three colors being evaluated: red, blue, and alternating red and blue compared with a panel without any film. And this part investigates three different layout designs for semi-transparent solar panels: spaced layout design 1, spaced layout design 2, and checkerboard design. The results showed that using the film decreased the photosynthetic photon flux density (PPFD) to some areas in the greenhouse to below  $400 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$ , which is not suitable for growing strawberries. However, when considering the electricity generated, the checkerboard pattern of semi-transparent solar cell panels had a higher installed capacity. Therefore, this pattern is the most suitable for installation on the roof of a greenhouse for strawberry cultivation, with an average PPFD value of  $660.37 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$ .

In the second part of the project, it is the design and installation of semi-transparent solar panels arranged in a chessboard pattern on the roof of a 6 m wide and 12 m long strawberry greenhouse that utilizes a water-cooling system. The power output test showed that semi-transparent solar panels in a chessboard pattern with a size of 151.12 watts per panel could be installed in a total of 36 panels, with a total installed capacity of 5.4 kW. The efficiency of the semi-

transparent solar panels was found to be 11.79%, and the overall system efficiency was found to be 11.37%. The performance ratio was found to be 66.1%. When evaluating the economic feasibility, it was found that the installation of semi-transparent solar panels on the roof of a strawberry greenhouse could reduce electricity consumption from the grid by 4,780.19 kWh/year, resulting in savings of 21,150.54 Baht/year. The investment cost, including installation, was 288,719 Baht, with a payback period of 13.65 years. The net present value was 56,724.84 Baht, and the internal rate of return was 3.55%.

Keywords : Semi-transparent solar panel, Solar cell arrangement, Efficiency  
Greenhouse, Strawberry



## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรารุช พลวงษ์ศรี ที่ให้ความกรุณามาเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลัก และให้คำปรึกษา ความรู้ แนวทางแก้ไข้ปัญหาตลอดจนคำแนะนำในการดำเนินงานของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.อัครินทร์ อินทนิเวศน์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุลักษณ์ มงคล ที่ให้ความกรุณาเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม และได้ชี้แนะวิธีการดำเนินงาน ให้คำแนะนำในการดำเนินงานของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ธรณิศวรรค์ ดีทายาท ที่ให้เกียรติมาเป็นประธานกรรมการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ และให้ความกรุณาชี้แนะแนวทางแก้ไข้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความครบถ้วนและสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ โครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทนในกลุ่มประเทศอาเซียนสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาของวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ในการสนับสนุนทุนการศึกษา และขอขอบคุณสำนักงานบริหารกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์ (ส.กทอ.) กระทรวงพลังงาน ที่สนับสนุนทุนวิจัยโครงการต้นแบบโรงเรือนปลูกพืชผสมผสานเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งแสง รวมทั้งขอขอบคุณหน่วยวิจัยด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมอัจฉริยะ (SEEU) ที่ให้คำปรึกษา และให้ความช่วยเหลือเครื่องมืออุปกรณ์ในการวิจัยมา

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณ นายไม้อ้วน วงปัญญา นางทอง วงปัญญา และนายสินวน วงปัญญา สำหรับกำลังใจและคอยสนับสนุนผู้วิจัยตลอดมา รวมทั้งเพื่อน พี่ น้อง จากวิทยาลัยพลังงานทดแทน โดยเฉพาะ นายภาณุวิชญ์ พุทธรักษา นางสาวธัญญารัตน์ สันเดช นายจักรารุช นิลทา นายธีรพันธุ์ แสงสุวรรณ นายนาวิน พุดน้อย สำหรับการสนับสนุนผู้วิจัยในทุกๆ ด้าน

Tadam Vongpanya



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ช
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	4
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	4
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ .....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (GUMP, 2019).....	5
2.1.2 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์.....	7
2.1.3 หลักการทำงานทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์ .....	8
2.1.4 กราฟคุณลักษณะ I-V Curve & P-V Curve ของเซลล์แสงอาทิตย์ .....	8
2.1.5 กราฟคุณลักษณะ I-V Curve เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ.....	10
2.1.6 วิเคราะห์ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (พีระวุฒิ et al.,2558).....	11
2.1.7 การผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ (ตระกุล และ ยนต์, 2019).....	11
2.1.7.1 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ .....	11

2.1.7.2 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า .....	12
2.1.7.3 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน.....	13
2.1.8 การประเมินสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ .....	14
2.1.9 โรงเรือนเพาะปลูกพืช (นฤมล, 2554) .....	16
2.1.9.1 ประเภทของโรงเรือน .....	17
2.1.9.2 โครงสร้างโรงเรือนเพาะปลูกพืช.....	19
2.1.10 ปัจจัยในการเจริญเติบโตของพืชในโรงเรือนเพาะปลูก (สุลักษณ์, 2021) .....	20
2.1.11 การระบายอากาศ (ventilation).....	23
2.1.12 พัดลมระบายอากาศ (fan ventilation) .....	24
2.1.13 ลักษณะทั่วไปสตรอว์เบอร์รี่ .....	24
2.1.14 ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์พลังงาน (สรารัฐ, 2021) .....	25
2.2 วิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	26
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการดำเนินงานวิจัย .....	40
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย .....	40
3.1.1 ฟิล์ม .....	40
3.1.2 กระดาษ .....	41
3.1.3 กระจกใส.....	41
3.1.4 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใส .....	42
3.1.5 อินเวอร์เตอร์.....	43
3.1.6 ปุ่มสำหรับหมุนเวียนน้ำ.....	44
3.1.7 พัดลมระบายอากาศ.....	45
3.2 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย .....	47
บทที่ 4 ผลการวิจัย .....	63
4.1 ผลการศึกษาสีของฟิล์มและรูปแบบการจัดวางเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใส .....	63

4.1.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์กึ่งโปร่งใสกรณีรูปแบบการจัดวางเซลล์แบบเว้นระยะห่างแบบที่ 1	63
4.1.2 แผงเซลล์แสงอาทิตย์กึ่งโปร่งใสกรณีรูปแบบการจัดวางเซลล์แบบเว้นระยะห่างแบบที่ 2	76
4.1.3 แผงเซลล์แสงอาทิตย์กึ่งโปร่งใสกรณีรูปแบบการจัดวางเซลล์แบบแบบหมากรุก	87
4.1.4 สร้างสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ทำนายการผลิตไฟฟ้าที่ผลิตได้	100
4.2 การออกแบบสร้างและทดสอบโรงเรือนปลูกพืชที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์กึ่งโปร่งใส	105
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	134
5.1 สรุปผลการวิจัย	134
5.2 ข้อเสนอแนะจากการวิจัย	135
ภาคผนวก	136
ภาคผนวก ก	137
การคำนวณการทำนายการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใส	138
รูปแบบการจัดวางเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใส	144
รูปแบบการติดฟิล์มสีแดง ฟิล์มสีน้ำเงิน และฟิล์มสีแดงสลับน้ำเงิน	145
ตัวอย่างการเคลื่อนที่ของเงา	146
ภาคผนวก ข	147
การเผยแพร่งานวิจัย	147
การเผยแพร่งานวิจัยในงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติ	148
บรรณานุกรม	152
ประวัติผู้วิจัย	155

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 สรุปประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	35
ตารางที่ 2 อุปกรณ์ในการตรวจวัดที่ใช้ในงานวิจัย.....	46
ตารางที่ 3 จุดวัดพารามิเตอร์กรณีศึกษาการจัดวางเซลล์และสีของฟิล์ม.....	55
ตารางที่ 4 การแสดงจุดตรวจวัดข้อมูลต่าง ๆ.....	56
ตารางที่ 5 ข้อมูลตัวแทนค่ารังสีอาทิตย์รายเดือนแต่ละชั่วโมง .....	56
ตารางที่ 6 ตัวแทนอุณหภูมิสูงสุด และต่ำสุด ของเดือนตลอดทั้งปี.....	57
ตารางที่ 7 ค่า PPFD เฉลี่ยในโรงเรือนทดสอบ.....	100
ตารางที่ 8 แสดงกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากการจำลองคณิตศาสตร์รายเดือนเปรียบเทียบกับโหลดที่ใช้ .....	132
ตารางที่ 9 มูลค่าเงินลงทุนและพลังงานที่ประหยัดได้ของการผลิตไฟฟ้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่ง โปร่งใส.....	133

## สารบัญภาพ

### หน้า

ภาพที่ 1 อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกปี พ.ศ.2562 ที่เปรียบเทียบกับค่าปกติค่าเฉลี่ยช่วงปี พ.ศ.2524-2553 (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF).....	1
ภาพที่ 2 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลึกเดี่ยว (Monocrystalline Silicon Solar) (Haider et al., 2019)5	
ภาพที่ 3 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัส (Amorphous Silicon) (Haider et al., 2019) .....	6
ภาพที่ 4 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกรวม (Polycrystalline Silicon) (Haider et al., 2019).....	6
ภาพที่ 5 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบาง (Thin Film) (Haider et al., 2019) .....	7
ภาพที่ 6 หลักการเปลี่ยนแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Gelder, 2018)...	8
ภาพที่ 7 กราฟคุณลักษณะ I-V Curve 8 P-V Curve ของเซลล์แสงอาทิตย์ (Ramos et al., 2013) 9	
ภาพที่ 8 ผลของความเข้มแสงที่มีต่อสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสง (Wang et al., 2012) .....	10
ภาพที่ 9 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ (Wang et al., 2012).....	10
ภาพที่ 10 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบจ่ายโหลดโดยตรง (ตระกูล และ ยนต์, 2019) .....	12
ภาพที่ 11 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระทำงานร่วมกับแบตเตอรี่ (ตระกูล และ ยนต์, 2019) .....	12
ภาพที่ 12 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า (ตระกูล และ ยนต์, 2019) .....	13
ภาพที่ 13 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (ตระกูล และ ยนต์, 2019).....	14
ภาพที่ 14 โรงเรือนเพาะปลูกพืช ( <a href="http://www.m-group.in.th/article/">http://www.m-group.in.th/article/</a> ) .....	17
ภาพที่ 15 โรงเรือนโพลีเอทิลีนกับโรงเรือนหลังคาโค้งโพลี ( <a href="http://www.m-group.in.th/article/">http://www.m-group.in.th/article/</a> ) .....	19
ภาพที่ 16 โรงเรือนมุ้งตาข่าย ( <a href="http://www.m-group.in.th/article/">http://www.m-group.in.th/article/</a> ).....	20
ภาพที่ 17 โรงเรือนกระจก ( <a href="http://www.m-group.in.th/article/">http://www.m-group.in.th/article/</a> ).....	20

ภาพที่ 18 ระบบทำความเย็นแบบระเหยน้ำ (Zhao et al., 2016).....	22
ภาพที่ 19 การติดตั้งระบบการทำความเย็นด้วยการระเหยของน้ำ (Zhao et al., 2016) .....	23
ภาพที่ 20 พัดลมระบายอากาศ (Zhao et al., 2016).....	24
ภาพที่ 21 ลักษณะทั่วไปสตรอร์เบอร์รี่ และสภาพแปลง ( <a href="https://www.sentangedtee.com/farming-trendy/article_26658">https://www.sentangedtee.com/farming-trendy/article_26658</a> ) .....	25
ภาพที่ 22 การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 240 Wp จำนวน 36 แผง ขนาด 8.64 kW (Gholami et al., 2019) .....	27
ภาพที่ 23 ต้นแบบอุโมงค์เรือนกระจกไฟฟ้าโซลาร์เซลล์ (Marucci et al., 2018) .....	28
ภาพที่ 24 หน้าต่างบานเกล็ดเซลล์แสงอาทิตย์ (Ladthavong et al., 2021) .....	29
ภาพที่ 25 ระบบระบายความร้อนของโรงเรือนที่ใช้ร่วมกับเซลล์แสงอาทิตย์กึ่งโปร่งแสง (Yadav et al., 2022) .....	30
ภาพที่ 26 ระบบ BIPV ขนาด 6 kW (Aristizábal & Páez, 2017) .....	31
ภาพที่ 27 การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสบนหลังคา (Gholami et al., 2019).....	31
ภาพที่ 28 การนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบที่ติดตั้งด้านบนหลังคาโรงเรือน (Ezzaeri et al., 2018) .....	32
ภาพที่ 29 ลักษณะการจัดวางแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของโรงเรือนเพาะปลูก (Poulek et al., 2018)	33
ภาพที่ 30 โรงเรือนอุตสาหกรรมที่ชิราซ ประเทศอิหร่าน(Alinejad et al., 2020).....	33
ภาพที่ 31 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสสำหรับโรงเรือนปลูกพืช (Sung et al., 2021) .....	34
ภาพที่ 32 ชั้นของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสร่วมกับฟิล์มบางสีแดง (Gong et al., 2018)	35
ภาพที่ 33 ฟิล์มที่ใช้ในการทดสอบ .....	40
ภาพที่ 34 กระดาษแข็งที่ใช้ในการจำลองเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ .....	41
ภาพที่ 35 กระจกใสที่ใช้ในการจำลองเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	42
ภาพที่ 36 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใส.....	43
ภาพที่ 37 อินเวอร์เตอร์ .....	44
ภาพที่ 38 ปุ่มสำหรับหมุนเวียนน้ำ.....	45

ภาพที่ 39	พัฒนาระบายอากาศ.....	45
ภาพที่ 40	ขั้นตอนวิธีการดำเนินงานวิจัย .....	47
ภาพที่ 41	การทดสอบสีของฟิล์มที่ใช้ในการสร้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์กึ่งโปร่งใส .....	49
ภาพที่ 42	รูปแบบการจัดวางเซลล์แสงอาทิตย์แบบเว้นระยะห่างแบบที่ 1 .....	50
ภาพที่ 43	รูปแบบการจัดวางเซลล์แสงอาทิตย์แบบเว้นระยะห่างแบบที่ 2 .....	51
ภาพที่ 44	รูปแบบการจัดวางเซลล์แบบหมากruk .....	52
ภาพที่ 45	โรงเรือนทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์กึ่งโปร่งใส .....	53
ภาพที่ 46	จุดวัดพารามิเตอร์กรณีศึกษาการจัดวางเซลล์และสีของฟิล์ม .....	54
ภาพที่ 47	การทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใส.....	56
ภาพที่ 48	ต้นแบบโรงเรือนปลูกสตรอเบอร์รี่ .....	59
ภาพที่ 49	การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดกึ่งโปร่งใสบนหลังคาโรงเรือน.....	59
ภาพที่ 50	จุดตรวจวัดปริมาณแสง อุณหภูมิ และความชื้นอากาศ .....	60
ภาพที่ 51	ระบบผลิตไฟฟ้าแบบ (Semi-Transparent Photovoltaic System) .....	61
ภาพที่ 52	ค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบ้านในและด้านนอกโรงเรือนทดสอบ .....	64
ภาพที่ 53	ค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบ้านในและด้านนอกโรงเรือนทดสอบ .....	65
ภาพที่ 54	ค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบ้านในและด้านนอกโรงเรือนทดสอบ .....	66
ภาพที่ 55	ค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบ้านในและด้านนอกโรงเรือนทดสอบ .....	67
ภาพที่ 56	ค่าสภาพอากาศด้านในและด้านนอกโรงเรือนทดสอบกรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์กึ่งโปร่งใส แบบไม่ติดฟิล์ม .....	68
ภาพที่ 57	ค่าสภาพอากาศด้านในและด้านนอกโรงเรือนทดสอบกรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์กึ่งโปร่งใส แบบติดฟิล์มสีน้ำเงิน.....	69
ภาพที่ 58	ค่าสภาพอากาศด้านในและด้านนอกโรงเรือนทดสอบกรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์กึ่งโปร่งใส แบบติดฟิล์มสีแดง .....	70
ภาพที่ 59	ค่าสภาพอากาศด้านในและด้านนอกโรงเรือนทดสอบ กรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์กึ่งโปร่งใส แบบติดฟิล์มสีแดงสลับน้ำเงิน.....	71

ภาพที่ 60 ค่าความส่องสว่างกรณีศึกษาการจัดวางเซลล์ในรูปแบบเว้นระยะห่างแบบที่ 1.....	72
ภาพที่ 61 ค่า PPFD ด้านในและด้านนอกโรงเรือนทดสอบกรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์กึ่งโปร่งใสแบบไม่ติดฟิล์ม.....	73
ภาพที่ 62 ค่า PPFD ด้านในและด้านนอกโรงเรือนทดสอบกรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์กึ่งโปร่งใสแบบติดฟิล์มสีน้ำเงิน.....	74
ภาพที่ 63 ค่า PPFD ด้านในและด้านนอกโรงเรือนทดสอบกรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์กึ่งโปร่งใสแบบติดฟิล์มสีแดง.....	75
ภาพที่ 64 ค่า PPFD ด้านในและด้านนอกโรงเรือนทดสอบกรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์กึ่งโปร่งใสแบบติดฟิล์มสีแดงสลับสีน้ำเงิน.....	76
ภาพที่ 65 ค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบด้านในและด้านนอกโรงเรือนทดสอบ.....	77
ภาพที่ 66 ค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบด้านในและด้านนอกโรงเรือนทดสอบ.....	78
ภาพที่ 67 ค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบด้านในและด้านนอกโรงเรือนทดสอบ.....	79
ภาพที่ 68 ค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบด้านในและด้านนอกโรงเรือนทดสอบ.....	80
ภาพที่ 69 สภาพอากาศด้านในและด้านนอกโรงเรือนทดสอบกรณีศึกษาสีของฟิล์มในแผงที่มีการจัดวางแบบเว้นระยะห่างแบบที่ 2.....	83
ภาพที่ 70 ค่าความส่องสว่างกรณีศึกษาการจัดวางเซลล์ในรูปแบบเว้นระยะห่างแบบที่ 2.....	84
ภาพที่ 71 ค่า PPFD ด้านในและด้านนอกโรงเรือนทดสอบกรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์กึ่งโปร่งใสแบบไม่ติดฟิล์ม.....	85
ภาพที่ 72 ค่า PPFD ด้านในและด้านนอกโรงเรือนทดสอบกรณีศึกษาสีของฟิล์มสีน้ำเงิน ฟิล์มสีแดง และฟิล์มสีแดงสลับสีน้ำเงิน.....	87
ภาพที่ 73 ค่ารังสีอาทิตย์สำหรับการจัดวางรูปแบบเซลล์แบบไม่ติดฟิล์ม.....	88
ภาพที่ 74 ค่ารังสีอาทิตย์สำหรับการจัดวางรูปแบบเซลล์แบบฟิล์มสีน้ำเงิน.....	89
ภาพที่ 75 ค่ารังสีอาทิตย์สำหรับการจัดวางรูปแบบเซลล์แบบฟิล์มสีแดง.....	90
ภาพที่ 76 ค่ารังสีอาทิตย์สำหรับการจัดวางรูปแบบเซลล์แบบฟิล์มสีแดงสลับสีน้ำเงิน.....	91
ภาพที่ 77 ผลการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์อากาศด้านในและด้านนอกโรงเรือนทดสอบการจัดวางแบบหมากรุก.....	94



ภาพที่ 78 ค่าความส่องสว่างของแสงกรณีศึกษาการจัดวางเซลล์ในรูปแบบหมากรูก.....	95
ภาพที่ 79 ผลของการเปลี่ยนแปลงค่า PPFd ด้านในและด้านนอกโรงเรือนทดสอบแบบไม่ติดฟิล์ม.	96
ภาพที่ 80 ผลของการเปลี่ยนแปลงค่า PPFd ด้านในและด้านนอกโรงเรือนทดสอบฟิล์มสีน้ำเงิน.....	97
ภาพที่ 81 ผลของการเปลี่ยนแปลงค่า PPFd ด้านในและด้านนอกโรงเรือนทดสอบฟิล์มสีแดง .....	98
ภาพที่ 82 ผลของการเปลี่ยนแปลงค่า PPFd ด้านในและด้านนอกโรงเรือนทดสอบฟิล์มสีแดงสลัสน้ำเงิน.....	99
ภาพที่ 83 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสแบบหมากรูก .....	101
ภาพที่ 84 ค่ารังสีอาทิตย์ กำลังไฟฟ้า และอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสขณะทำการทดสอบ.....	102
ภาพที่ 85 การทดลองมีความคลาดเคลื่อนพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใส	103
ภาพที่ 86 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละเดือนจากการใช้สมการทำนาย.....	103
ภาพที่ 87 การทำนายพลังงานที่ได้เป็นรายปีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใส รูปแบบหมากรูก 1 แผง .....	104
ภาพที่ 88 การทำนายพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในหนึ่งปีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใส รูปแบบหมากรูกจำนวน 36 แผง .....	104
ภาพที่ 89 โรงเรือนปลูกพืชและการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์กึ่งโปร่งใสในรูปแบบการจัดวางเซลล์แบบหมากรูก.....	106
ภาพที่ 90 ค่า PPFd ด้านในและด้านนอกโรงเรือนในจุดที่ 3 6 และ 9.....	107
ภาพที่ 91 การเปลี่ยนแปลงค่า PPFd ด้านในและด้านนอกโรงเรือนในจุดที่ 4 7 และ 10.....	108
ภาพที่ 92 ค่า PPFd ด้านนอกและด้านในโรงเรือนจุดที่ 5 8 และ 11 .....	109
ภาพที่ 93 ผลของการเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณแสงในโรงเรือน .....	110
ภาพที่ 94 ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยในโรงเรือน .....	111
ภาพที่ 95 อุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์อากาศในโรงเรือน .....	113
ภาพที่ 96 การเปลี่ยนแปลงความเร็วอากาศ .....	114
ภาพที่ 97 ค่ารังสีอาทิตย์และอุณหภูมิแวดล้อมในวันที่ 23 มกราคม 2566 .....	115

ภาพที่ 98 การทดสอบการผลิตกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผง กระแสตรงและกระแสสลับ ในวันที่ 23 มกราคม พ.ศ. 2566.....	116
ภาพที่ 99 กำลังไฟฟ้าด้านกระแสตรง และกำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ในวันที่ 23 มกราคม พ.ศ. 2566 .....	116
ภาพที่ 100 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ พลังงานไฟฟ้าที่อุปกรณ์ภายในโรงเรียน ใช้ และพลังงานไฟฟ้าที่ต้องการจากการไฟฟ้า ในวันที่ 23 มกราคม พ.ศ. 2566 .....	117
ภาพที่ 101 ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดกึ่งโปร่งใส และประสิทธิภาพของระบบ .....	118
ภาพที่ 102 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้และการใช้ไฟฟ้าของระบบตลอดระยะเวลา 7 วัน .....	120
ภาพที่ 103 ผลผลิตของพลังงานไฟฟ้าใน 7 วัน.....	121
ภาพที่ 104 ผลผลิตของพลังงานไฟฟ้าค่าเฉลี่ย 7 วัน .....	122
ภาพที่ 105 สมรรถนะของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ .....	123
ภาพที่ 106 ความคลาดเคลื่อนพลังงานไฟฟ้าของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใส .....	124
ภาพที่ 107 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละเดือนจากการใช้สมการทำนาย.....	125
ภาพที่ 108 กำลังไฟฟ้าและการใช้โหลดในโรงเรียนของเดือนมกราคม .....	126
ภาพที่ 109 กำลังไฟฟ้าและการใช้โหลดในโรงเรียนของเดือนกุมภาพันธ์ .....	127
ภาพที่ 110 กำลังไฟฟ้าและการใช้โหลดในโรงเรียนของเดือนมีนาคม .....	127
ภาพที่ 111 กำลังไฟฟ้าและการใช้โหลดในโรงเรียนของเดือนเมษายน.....	128
ภาพที่ 112 กำลังไฟฟ้าและการใช้โหลดในโรงเรียนของเดือนพฤษภาคม.....	128
ภาพที่ 113 กำลังไฟฟ้าและการใช้โหลดในโรงเรียนของเดือนมิถุนายน.....	129
ภาพที่ 114 กำลังไฟฟ้าและการใช้โหลดในโรงเรียนของเดือนกรกฎาคม.....	129
ภาพที่ 115 กำลังไฟฟ้าและการใช้โหลดในโรงเรียนของเดือนสิงหาคม .....	130
ภาพที่ 116 กำลังไฟฟ้าและการใช้โหลดในโรงเรียนของเดือนกันยายน.....	130
ภาพที่ 117 กำลังไฟฟ้าและการใช้โหลดในโรงเรียนของเดือนตุลาคม .....	131
ภาพที่ 118 กำลังไฟฟ้าและการใช้โหลดในโรงเรียนของเดือนพฤศจิกายน.....	131
ภาพที่ 119 กำลังไฟฟ้าและการใช้โหลดในโรงเรียนของเดือนธันวาคม .....	132



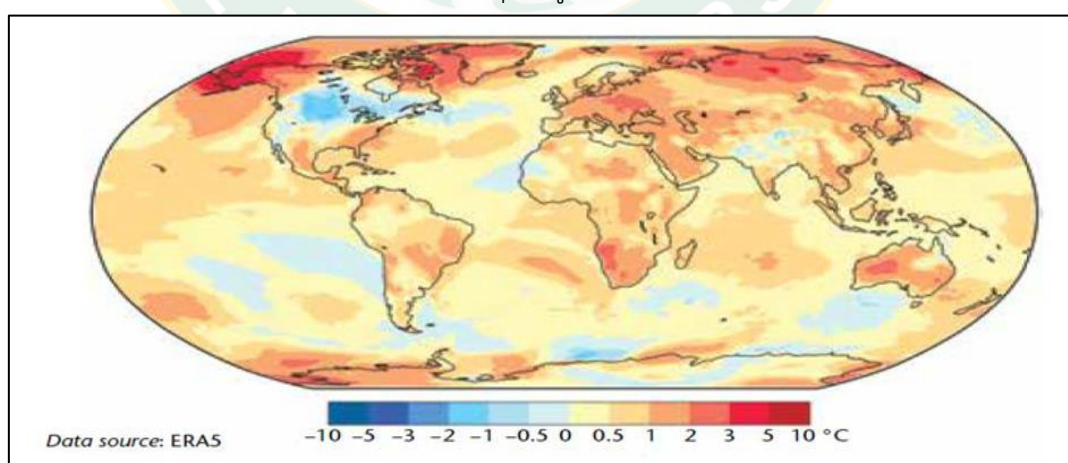
## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกในปี พ.ศ.2562 สูงกว่าค่าเฉลี่ย โดยพื้นที่ส่วนใหญ่บนแผ่นดินมีอุณหภูมิสูงกว่าค่าปกติ (ค่าเฉลี่ยช่วงปี พ.ศ.2524-2553) โดยเฉพาะที่รัฐอลาสก้าของสหรัฐอเมริกา มีอุณหภูมิสูงกว่าค่าปกติชัดเจน รวมถึงพื้นที่แถบอาร์กติก ตอนกลาง และด้านตะวันออกของทวีปยุโรป แอฟริกาใต้รวมถึงส่วนที่เป็นแผ่นดินของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ออสเตรเลีย และบริเวณทางตอนเหนือและด้านตะวันออกเฉียงเหนือของทวีปเอเชียและบางพื้นที่ของประเทศบราซิลก็มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่าค่าปกติ ในขณะที่พื้นที่ทางอเมริกาเหนือมีอุณหภูมิลดต่ำกว่าค่าปกติในบริเวณที่อยู่ลึกเข้าไปในแผ่นดิน ดังแสดงในภาพที่ 1

ในสภาพอากาศค่อนข้างมีความแปรปรวนและยากที่จะควบคุม ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การดำเนินชีวิตของมนุษย์ สัตว์ รวมถึงพืช โดยเฉพาะข้อจำกัดของพืชที่ไม่สามารถเลือกสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตได้อย่างมนุษย์หรือสัตว์ ดังนั้นเพื่อควบคุมปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมในการเพาะปลูกพืชให้มีความเหมาะสมนั้นจึงได้มีการพัฒนาการปลูกพืชในโรงเรือน ปลูกพืชเพื่อควบคุมสภาพแวดล้อม แต่ในประเทศไทยที่มีสภาพอากาศร้อนชื้นเช่นประเทศไทยนั้น ปัญหาการปลูกพืชในโรงเรือนคือ อุณหภูมิหรือความร้อนสะสมภายในโรงเรือนค่อนข้างสูง โดยเฉพาะในโรงเรือนที่มีการระบายความร้อนที่ไม่ดีมีโอกาสที่อุณหภูมิภายในจะสูงถึง 50 °C ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชอย่างมาก ดังนั้นการเลือกโรงเรือนจึงมีความสำคัญเนื่องจากโรงเรือนแต่ละแบบมีความสามารถในการระบายอากาศและการลดอุณหภูมิได้แตกต่างกัน



ภาพที่ 1 อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกปี พ.ศ.2562 ที่เปรียบเทียบกับค่าปกติค่าเฉลี่ยช่วงปี พ.ศ.2524-2553 (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF)

ในประเทศไทยการปลูกพืชในโรงเรือนจำเป็นต้องมีการควบคุมอุณหภูมิและสภาพอากาศภายในโรงเรือนโดยเลือกใช้ระบบทำความเย็นแบบระเหย ซึ่งจากการประยุกต์ใช้งานระบบทำความเย็นแบบระเหยพบว่าสามารถลดอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนได้ดี ดังเช่น งานวิจัยของ (Ahmed, 2015) ได้ทดสอบประสิทธิภาพของแผ่นระเหย 3 ชนิด ทำมาจากเซลลูโลส ฟางข้าว และเศษไม้ เปรียบเทียบกับโรงเรือนที่ไม่ได้มีการทำความเย็น โดยทดสอบที่เวลา 8:00-16:00 น. ในประเทศชูดาน ผลการทดลองพบว่า ที่เวลา 13:00 น. เป็นช่วงเวลาที่มียุณหภูมิอากาศที่ค่อนข้างสูง จึงทำให้อุณหภูมิอากาศภายในและภายนอกโรงเรือนมีค่าสูงขึ้น เมื่อใช้ระบบทำความเย็นแบบระเหยที่แผ่นระเหยน้ำทำมาจากฟางข้าวจะมีอุณหภูมิอากาศในโรงเรือนต่ำสุดประมาณ  $30.73^{\circ}\text{C}$  มีค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศ 41-55% สุรพงษ์ และวิภา ทำการศึกษาการใช้ระบบทำความเย็นแบบระเหยเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาดอกกล้วยไม้ ภายใต้อากาศของกรุงเทพมหานคร โดยชุดทดสอบประกอบด้วยตู้ทำความเย็นขนาด  $62 \times 78 \times 90 \text{ cm}^3$  ติดตั้งแผ่นระเหยน้ำขนาด  $0.54 \text{ m}^2$  และใช้พัดลมดูดอากาศเข้ามาภายในห้องหนา 15 cm ทำจากเซลลูโลส จากผลการศึกษาพบว่า การทำความเย็นแบบระเหยสามารถทำให้อุณหภูมิอากาศลดลงเมื่อเทียบกับอากาศแวดล้อม  $5^{\circ}\text{C}$  และเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์อากาศจาก 60% เป็น 90% ผลดังกล่าวสามารถยืดอายุการเก็บรักษาและรักษาคุณภาพของดอกไม้ได้เป็นอย่างดี

นอกจากปัจจัยทางสภาพภูมิอากาศแล้วยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำความเย็นของระบบทำความเย็นแบบระเหย โดย (Metin et al., 2004) ได้ศึกษาผลกระทบของความเร็วลมที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นแบบระเหย 0.5-1.0 และ 1.5 m/s ในชุดทดลองประกอบด้วยอุโมงค์ลมที่ติดตั้งแผ่นระเหยน้ำสูง 1.2 m หนา 0.1 m ใช้พัดลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.9 m ผลการศึกษาพบว่า ที่ความเร็วลม 1.0 m/s สามารถลดอุณหภูมิอากาศได้สูงสุดทำให้มีค่าประสิทธิภาพการทำความเย็นของระบบสูงสุด (Jemal et al., 2009) ได้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในโรงเรือนขนาด  $48 \times 48 \text{ m}^2$  ที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบระเหยน้ำร่วมกับพัดลมดูดอากาศและร่วมกับตาข่ายพรางแสงในการลดอุณหภูมิและเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์พบว่าสามารถลดอุณหภูมิลงได้  $6^{\circ}\text{C}$  และเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ได้ประมาณ 20-25% ที่ระยะห่างจากแผ่นระเหยน้ำ 12 m สูงจากพื้นดิน 1.5 m (Overbeek et al., 2014) ทำการศึกษาผลของระบบทำความเย็นแบบระเหยในโรงเรือนปลูกพืชในภูมิอากาศเขตร้อนของประเทศอินเดีย ในโรงเรือนขนาด  $4 \times 12 \text{ m}^2$  ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 โรงเรือน โดยจะมีแผ่นระเหยน้ำกั้นระหว่างโรงเรือนที่ 1 กับโรงเรือนที่ 2 และบริเวณทิศตะวันตกของโรงเรือนที่ 1 จะติดตั้งแผ่นระเหยน้ำและมีพัดลมระบายอากาศอยู่ด้านข้างของแผ่นระเหยน้ำที่กั้นอยู่ตรงกลางและบริเวณฝั่งทิศตะวันออกของโรงเรือนที่ 2 จะใช้ระบบทำความเย็นแบบระเหยร่วมกับฉากกำบังความร้อนโดยติดตั้งอยู่ระหว่างโซนที่เป็นสี่เหลี่ยมกับโซนจั่ว

จากการศึกษาพบว่า เมื่อใช้แผ่นระเหยน้ำที่มีพัดลมระบายอากาศสามารถลดอุณหภูมิในโรงเรือนที่ 1 และ 2 ได้ประมาณ  $5^{\circ}\text{C}$  และ  $6^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับเมื่อเทียบกับโรงเรือนที่ไม่ได้ติดตั้งแผ่นระเหยน้ำและใช้ระบบทำความเย็นแบบระเหยร่วมกับฉากกำบังความร้อนช่วยลดอุณหภูมิอากาศได้ประมาณ  $8^{\circ}\text{C}$  และ  $10^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับโรงเรือนเปล่า

จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น พบว่าการปลูกพืชในโรงเรือนในการควบคุมสภาพอากาศในโรงเรือนนิยมใช้โรงเรือนร่วมกับระบบทำความเย็นแบบระเหย และปัจจุบันพบว่าเริ่มมีการนำเอาพลังงานแสงอาทิตย์เข้ามาใช้เพื่อลดปัญหาด้านต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้า แต่ก็จะมีตามมาด้วยต้นทุนด้านที่ดินที่ต้องมีพื้นที่ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ การแก้ปัญหานี้อาจทำได้โดยการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสบนหลังคาโรงเรือนปลูกพืช โดยมีการศึกษาการประยุกต์ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใส เช่นการศึกษาการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนแบบกึ่งโปร่งใสเพื่อใช้ร่วมกับอาคารประหยัดพลังงาน ของสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติประจำปีงบประมาณ 2561 งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกรวมซิลิกอนแบบกึ่งโปร่งใสสำหรับการใช้ประโยชน์ทั้งจากพลังงานไฟฟ้าและแสงธรรมชาติภายในอาคารโดยมีรูปแบบของการเว้นระยะห่างระหว่างเซลล์มีค่าเท่ากับ 12.5 และ 4 cm (แผงที่1-3) ตามลำดับทำการติดตั้งแผงดังกล่าวบนผนังของอาคารแบบจำลอง ในแนวตั้งฉาก และหันส่วนของผนังด้านที่ทำการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปยังทิศใต้พบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์หมายเลข 1-3 มีประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 7.27 7.00 และ 6.78% ตามลำดับและสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 64.6 50.8 และ 43.8 Wh/day ส่วนผลการทดสอบทางด้านแสงสว่างจากธรรมชาติในอาคารแบบจำลองพบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์หมายเลข 3 ที่มีพื้นที่ส่วนโปร่งแสงสูงที่สุดมีค่าเฉลี่ยความสว่างสูงสุด 2,964 lux ในขณะที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์หมายเลข 1 และ 2 ที่มีพื้นที่ส่วนโปร่งแสงน้อยลงมีค่าความสว่างภายในอาคารเพียง 1,049 และ 1,330 lux ตามลำดับ

จากงานวิจัยด้านแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสข้างต้น การนำมาใช้กับโรงเรือนปลูกพืช นั้นสัดส่วนระหว่างพื้นที่ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์กับพื้นที่โปร่งใสมอบให้แสงอาทิตย์ผ่านนั้นมี ความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง ซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดของพืชที่ต้องการปลูกด้วย เนื่องจากพืชแต่ละชนิดมีความต้องการปริมาณแสง ความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดศึกษาการนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสมาติดตั้งบนหลังคาโรงเรือน เพื่อศึกษารูปแบบการวางเซลล์แสงอาทิตย์ วิเคราะห์การใช้พลังงาน และความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ของโรงเรือนปลูกพืช

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษารูปแบบการจัดวางเซลล์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดกึ่งโปร่งใสที่เหมาะสมกับการปลูกพืชในโรงเรือน
2. เพื่อศึกษาศักยภาพการผลิตไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดกึ่งโปร่งใสสำหรับโรงเรือนปลูกพืช

## 1.3 ขอบเขตการศึกษา

การศึกษาศักยภาพระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดกึ่งโปร่งใสสำหรับโรงเรือนปลูกพืชมีขอบเขตในการวิจัยดังนี้

1. ในการศึกษาารูปแบบการจัดวางเซลล์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Polycrystalline silicon Solar cell กำลังการผลิตไฟฟ้าประมาณ 5 วัตต์/เซลล์
2. ศึกษาสีของฟิล์มที่จะใช้ในการสร้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสที่ไม่มีการติดฟิล์มเปรียบเทียบกับฟิล์มอย่างน้อย 3 สี คือ สีแดง สีนํ้าเงิน และสีแดงสลับนํ้าเงิน ที่เหมาะสมกับการปลูกสตรอเบอร์รี่
3. ศึกษาารูปแบบการจัดวางเซลล์อย่างน้อย 3 รูปแบบ คือ รูปแบบการจัดวางเซลล์แบบเว้นระยะห่างแบบที่ 1 รูปแบบการจัดวางเซลล์แบบเว้นระยะห่างแบบที่ 2 และรูปแบบการจัดวางเซลล์แบบหมากรุก โดยพิจารณาจากความเหมาะสมด้านคุณภาพของแสงที่สตรอเบอร์รี่ต้องการ และกำลังไฟฟ้าที่ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตได้
4. โรงเรือนปลูกพืชที่ใช้ในการศึกษาเป็นโรงเรือนแบบ Lean to ขนาด 6 m x 12 m หลังคาติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดกึ่งโปร่งใสภายในโรงเรือนมีระบบทำความเย็นแบบระเหยในการควบคุมอุณหภูมิ
5. วิเคราะห์ปริมาณแสง ค่าความส่องสว่าง ค่าความเข้มแสง พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ สมรรถนะของระบบ ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดกึ่งโปร่งใส และความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์
6. สถานที่ทดสอบวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

## 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ได้ทราบถึงรูปแบบการจัดวางเซลล์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดกึ่งโปร่งใสที่เหมาะสมกับการปลูกพืชในโรงเรือน
2. ได้ทราบถึงศักยภาพการผลิตไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดกึ่งโปร่งใสสำหรับโรงเรือนปลูกพืช

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

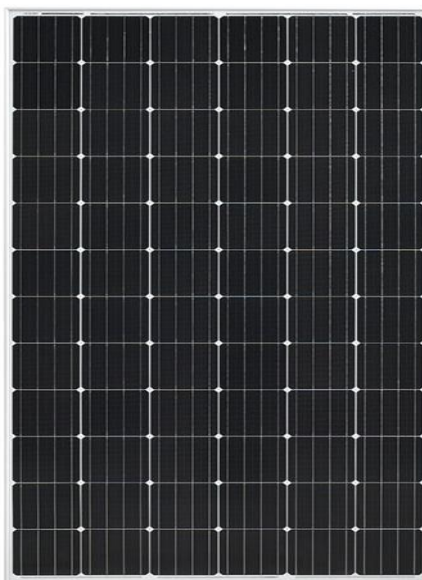
#### 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

##### 2.1.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (GUMP, 2019)

เซลล์แสงอาทิตย์ คือ สิ่งประดิษฐ์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ (GUMP, 2019) เช่น ซิลิคอน (Silicon), แกลเลียม อาร์เซไนด์ (Gallium Arsenide), อินเดียม ฟอสไฟด์ (Indium Phosphide), แคดเมียม เทลลูไรด์ (Cadmium Telluride) และคอปเปอร์ อินเดียม ไดเซเลไนด์ (Copper Indium diselenide) เป็นต้น ซึ่งเมื่อได้รับแสงอาทิตย์โดยตรงก็จะเปลี่ยนเป็นพาหะนำไฟฟ้าและจะถูกแยก เป็นประจุไฟฟ้าบวกและลบเพื่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วทั้งสองของเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อนำขั้วไฟฟ้า ของเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเข้ากับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรง กระแสไฟฟ้าจะไหลเข้าสู่อุปกรณ์เหล่านั้นทำให้สามารถทำงานได้

ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์ แบ่งตามวัสดุที่ใช้เป็น 4 ชนิดหลัก ๆ คือ

1. เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอน ชนิดผลึกเดี่ยว (Single Crystalline Silicon Solar Cell) หรือที่รู้จักกันในชื่อ Monocrystalline Silicon Solar Cell และชนิดผลึกรวม (Polycrystalline Silicon Solar Cell) ลักษณะเป็นแผ่นซิลิคอนแข็งและบางมาก ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลึกเดี่ยว (Monocrystalline Silicon Solar) (Haider et al., 2019)

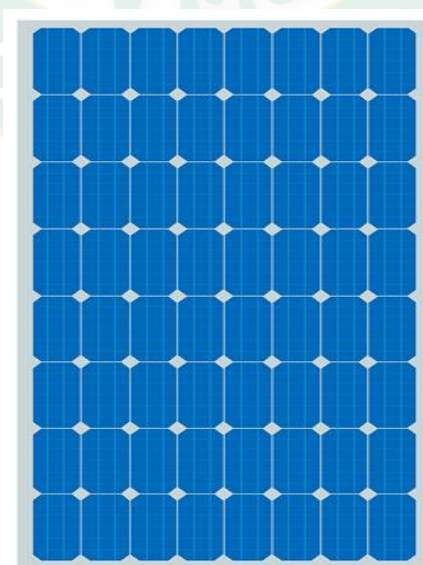
2. เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous Silicon Solar Cell) ลักษณะเป็นฟิล์มบางเพียง 0.5  $\mu$ m (0.0005 mm.) นาน้ำหนักเบาและประสิทธิภาพเพียง 5-10% ดังแสดงใน ภาพที่ 3





ภาพที่ 3 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัส (Amorphous Silicon) (Haider et al., 2019)

3. เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำอื่นๆ เช่น แกลเลียม อาร์เซไนด์ แคดเมียม เทลลูไรด์ และคอปเปอร์อินเดียมไดเซเลไนด์ เป็นต้น มีทั้งชนิดผลึกเดี่ยว (Single Crystalline) และผลึกรวม (Polycrystalline) เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากแกลเลียมอาร์เซไนด์ จะให้ประสิทธิภาพสูงถึง 20-25% ดังแสดงในภาพที่ 4



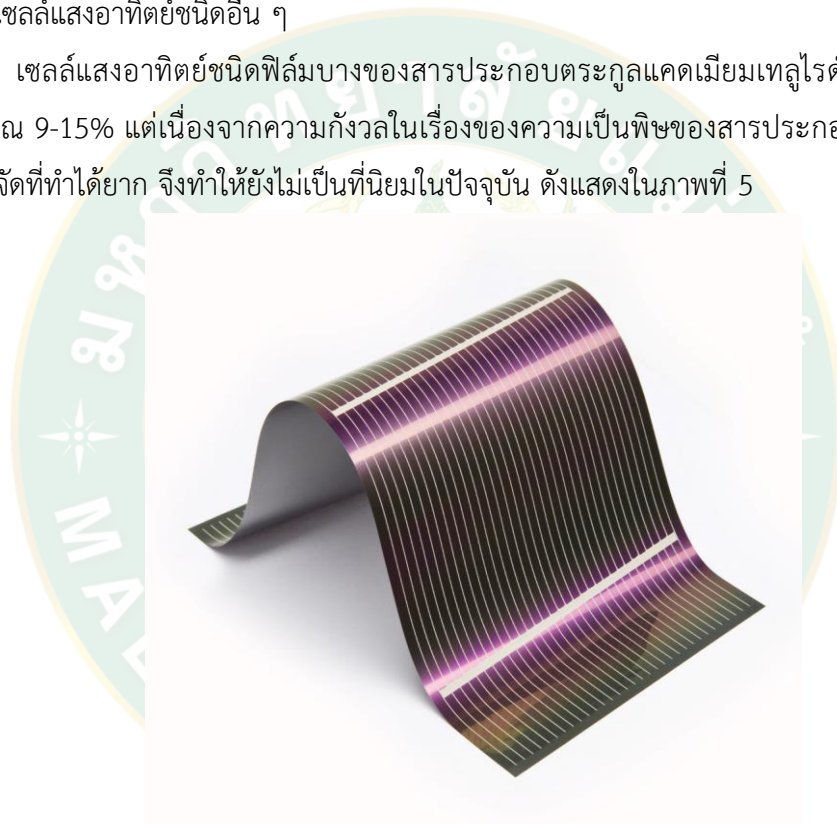
ภาพที่ 4 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกรวม (Polycrystalline Silicon) (Haider et al., 2019)

#### 4. เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง (Thin film)

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนแบบไม่เป็นผลึก (Amorphous silicon) มีลักษณะเป็นฟิล์มบางประมาณ 0.5-1.0 ไมครอน มีสีม่วงน้ำตาล มีประสิทธิภาพประมาณ 7-10% ซึ่งปัจจุบันได้มีการพัฒนาเป็นรูปแบบที่เรียกว่า Amorphous triple junction เป็นการรวมเอาข้อดีทั้งของแบบผลึกและไม่เป็นผลึกเข้าไว้ด้วยกันจึงไม่จำเป็นต้องใช้กระจกทำให้น้ำหนักเบาและมีความยืดหยุ่นสูง

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางของสารประกอบตระกูลคอปเปอร์อินเดียมแกลเลียมไดเซเลไนต์ ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่า 20% เทคโนโลยีนี้จึงเป็นความหวังในอนาคตเนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอื่น ๆ

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางของสารประกอบตระกูลแคดเมียมเทลลูไรด์ มีประสิทธิภาพประมาณ 9-15% แต่เนื่องจากความกังวลในเรื่องของความเป็นพิษของสารประกอบแคดเมียมและการกำจัดที่ทำได้ยาก จึงทำให้ยังไม่เป็นที่นิยมในปัจจุบัน ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบาง (Thin Film) (Haider et al., 2019)

#### 2.1.2 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์

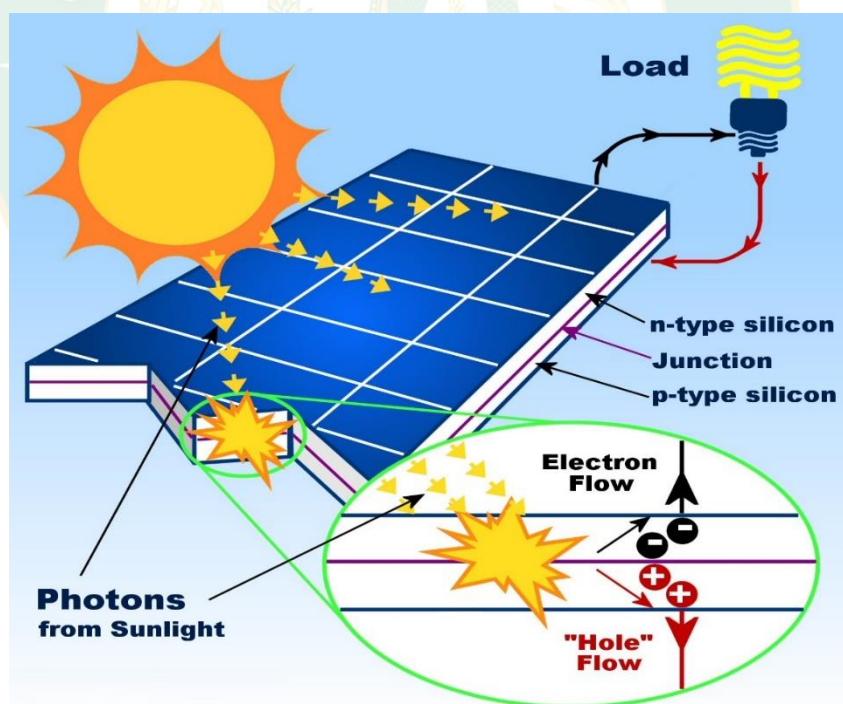
โครงสร้างที่นิยมมากที่สุด ได้แก่ รอยต่อพีเอ็นของสารกึ่งตัวนำ สารกึ่งตัวนำที่ราคาถูกที่สุดและมีมากที่สุดบนโลก คือ ซิลิกอน จึงถูกนำมาสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ โดยนำซิลิกอนมาถลุงและผ่านขั้นตอน การทำให้บริสุทธิ์จนกระทั่งทำให้เป็นผลึก จากนั้นนำมาผ่านกระบวนการแพร่ซึมสารเจือปนเพื่อสร้าง รอยต่อพีเอ็น โดยเมื่อเติมสารเจือฟอสฟอรัสจะเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (เพราะนำไฟฟ้าด้วย อิเล็กตรอนซึ่งมีประจุลบ) และเมื่อเติมสารเจือโบรอนจะเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดพี (เพราะนำไฟฟ้าด้วย โฮลซึ่งมีประจุบวก) ดังนั้น เมื่อนำสารกึ่งตัวนำชนิดพีและเอ็นมาต่อกันจะเกิดรอยต่อพีเอ็นขึ้น โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอน อาจมีรูปร่างเป็นแผ่นวงกลมหรือสี่เหลี่ยมจัตุรัสความหนา

200-400 g (0.2-0.4 mm.) ผิวด้านรับแสงจะมีชั้นแพรรีซิมที่มีการนำไฟฟ้า ขั้วไฟฟ้าด้านหน้าที่ได้รับแสงจะมีลักษณะคล้ายก้างปลาเพื่อให้ได้พื้นที่รับแสงมากที่สุด ส่วนขั้วไฟฟ้าด้านหลังเป็นขั้วโลหะเต็มพื้นผิว

### 2.1.3 หลักการทำงานทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ (Sunporch - Solar, 2018) จะเกิดการสร้างพาหะนำไฟฟ้าประจุลบและบวกขึ้น ได้แก่ อิเล็กตรอนและ โฮล โครงสร้างรอยต่อพีเอ็นจะทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้าภายในเซลล์เพื่อแยกพาหะนำไฟฟ้าชนิดอิเล็กตรอนไปที่ขั้วลบและพาหะนำไฟฟ้าชนิดโฮลไปที่ขั้วบวก (ปกติที่ฐานจะใช้สารกึ่งตัวนำชนิดพีขั้วไฟฟ้าด้านหลังจึงเป็นขั้วบวก ส่วนด้านรับแสงใช้สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นขั้วไฟฟ้าจึงเป็นขั้วลบ) ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าแบบกระแสตรงที่ขั้วไฟฟ้าทั้งสอง เมื่อต่อให้ครบวงจรไฟฟ้าจะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลขึ้น

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 inch จะให้กระแสไฟฟ้าประมาณ 2-3 A และให้แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดประมาณ 0.6 V เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ไม่มากนัก ดังนั้นเพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้ามากเพียงพอสำหรับใช้งานจึงมีการนำเซลล์แสงอาทิตย์หลายเซลล์มาต่อกันเรียกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Modules) ลักษณะการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้าหรือแรงดันไฟฟ้าที่ต้องการ ดังแสดงในภาพที่ 6

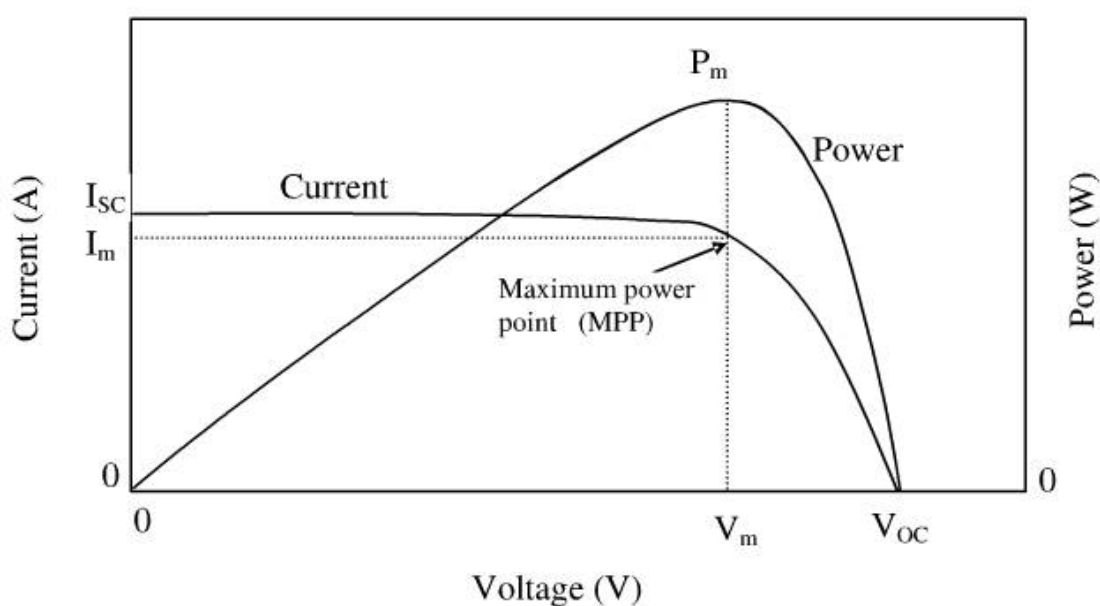


ภาพที่ 6 หลักการเปลี่ยนแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Gelder, 2018)

### 2.1.4 กราฟคุณลักษณะ I-V Curve & P-V Curve ของเซลล์แสงอาทิตย์

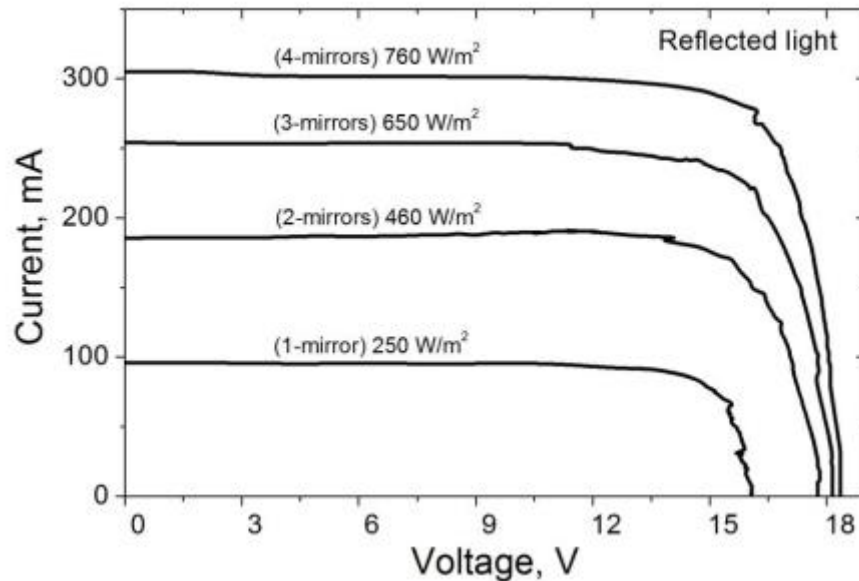
I-V Curve ที่แรงดันเป็นศูนย์ (Ramos et al., 2013) จะได้ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดที่สภาวะลัดวงจรค่าหนึ่ง (Short Circuit Current:  $I_{SC}$ ) ที่กระแสเป็นศูนย์แรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่สภาวะเปิดวงจร

ค่าหนึ่ง (Open Circuit Voltage :  $V_{oc}$ ) หากอุณหภูมิและปริมาณความเข้มแสงที่ตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าคงที่จะสามารถสร้าง I-V Curve ได้ดังภาพที่ 7 ซึ่งจะมีจุดสำคัญที่ทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ Maxi Power Point ( $P_{mpp}$ ) โดยที่จุดนี้จะทำให้ ทราบถึงค่ากระแสที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด Current at Maximum Power Point (non) กับแรงดันที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด Voltage at Maximum Power Point ( $V_{mpp}$ ) P-V Curve จะทำให้ทราบค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ ( $P_{ep}$ ) ซึ่งเกิดจาก I-V Curve นั้นทำให้ทราบถึงค่ากระแส ( $I_{mpp}$ ) กับค่าแรงดัน ( $V_{mp}$ ) เมื่อนำมาคูณกันก็จะทราบค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์



ภาพที่ 7 กราฟคุณลักษณะ I-V Curve 8 P-V Curve ของเซลล์แสงอาทิตย์ (Ramos et al., 2013)

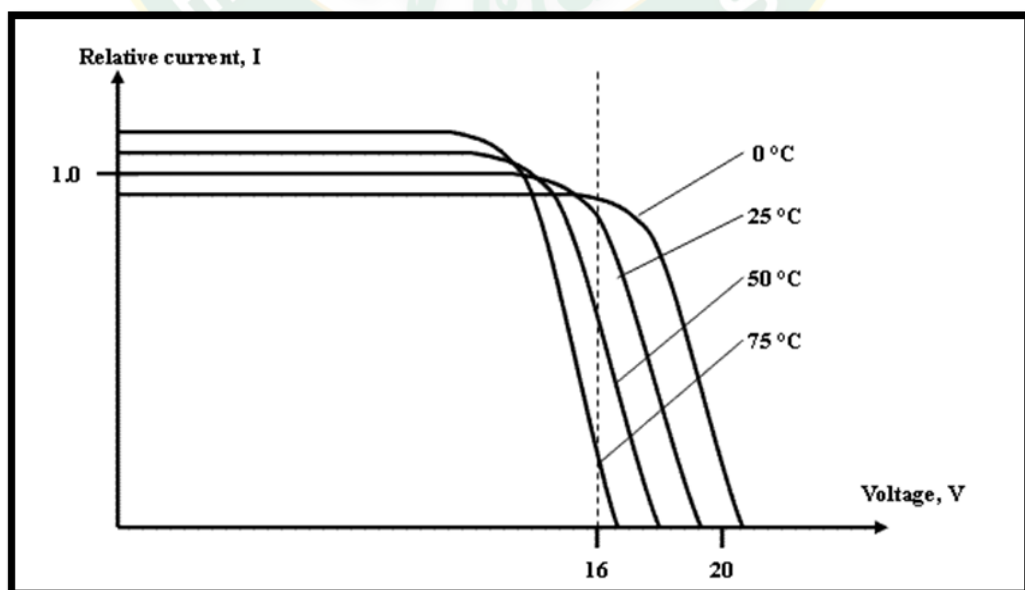
การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ (Wang and Chen, 2012) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มแสง สามารถดูได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทดลองภายใต้สภาวะการควบคุมอุณหภูมิ 25 °C แล้วทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มแสงที่ฉายลงบนเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มต่างกัน พบว่าเมื่อปริมาณค่าความเข้มแสงเพิ่มขึ้น ปริมาณกระแสก็จะเพิ่มขึ้นเช่นกัน แต่จะไม่มีผลมากนักต่อค่าแรงดัน ค่าแรงดันจะมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ผลของความเข้มแสงที่มีต่อสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสง (Wang et al., 2012)

### 2.1.5 กราฟคุณลักษณะ I-V Curve เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิ (Wang and Chen, 2012) สามารถดูได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำการทดลองภายใต้สภาวะควบคุมให้ปริมาณความเข้มแสงที่ฉายลงบนโซลาร์เซลล์ที่มีค่าคงที่ที่  $1,000 \text{ W/m}^2$  แล้วทำการเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ จะพบว่าค่าแรงดันที่วัดได้จะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ส่วนค่ากระแสจะมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย โดยจะมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ (Wang et al., 2012)

### 2.1.6 วิเคราะห์ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (พีระวุฒิ et al.,2558)

ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ คือ อัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อกำลังแสงอาทิตย์ตกกระทบ หากยังมีประสิทธิภาพสูงมากเท่าไรก็ยิ่งมีความคุ้มค่ามากขึ้นเท่านั้น ทั้งนี้ ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้ขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายตัว ได้แก่ ชนิดของเซลล์ที่นำมาประกอบโครงสร้างของแผง วัสดุส่วนประกอบแผง ขนาดของแผง อุณหภูมิ ฝุ่นละออง นอกจากนี้ยังรวมถึงการติดตั้งรับแสงอาทิตย์ของเซลล์แสงอาทิตย์อีกด้วย ซึ่งประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1

$$\eta_{PV} = \frac{P_{DC}}{I_T A_{PV}} \quad (\text{สมการที่ 1})$$

โดยที่

$\eta_{PV}$  คือ ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (%)

$P_{DC}$  คือ กำลังไฟฟ้ากระแสตรง (W)

$I_T$  คือ ค่ารังสีอาทิตย์ตกกระทบ ( $W/m^2$ )

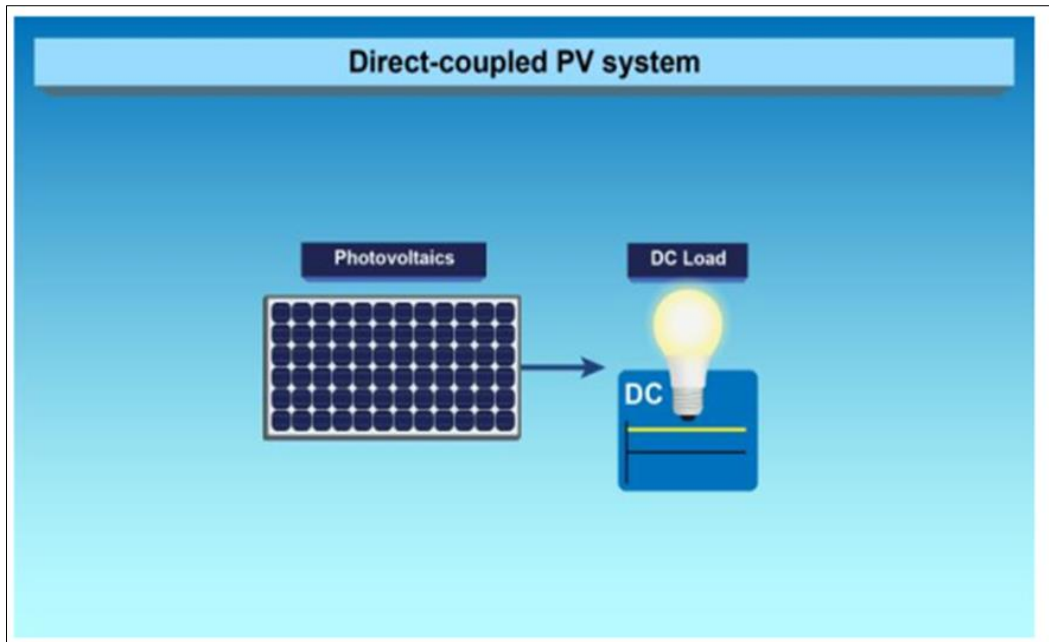
$A_{PV}$  คือ พื้นที่เซลล์แสงอาทิตย์ ( $m^2$ )

### 2.1.7 การผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ (ตระกุล และ ยนต์, 2019)

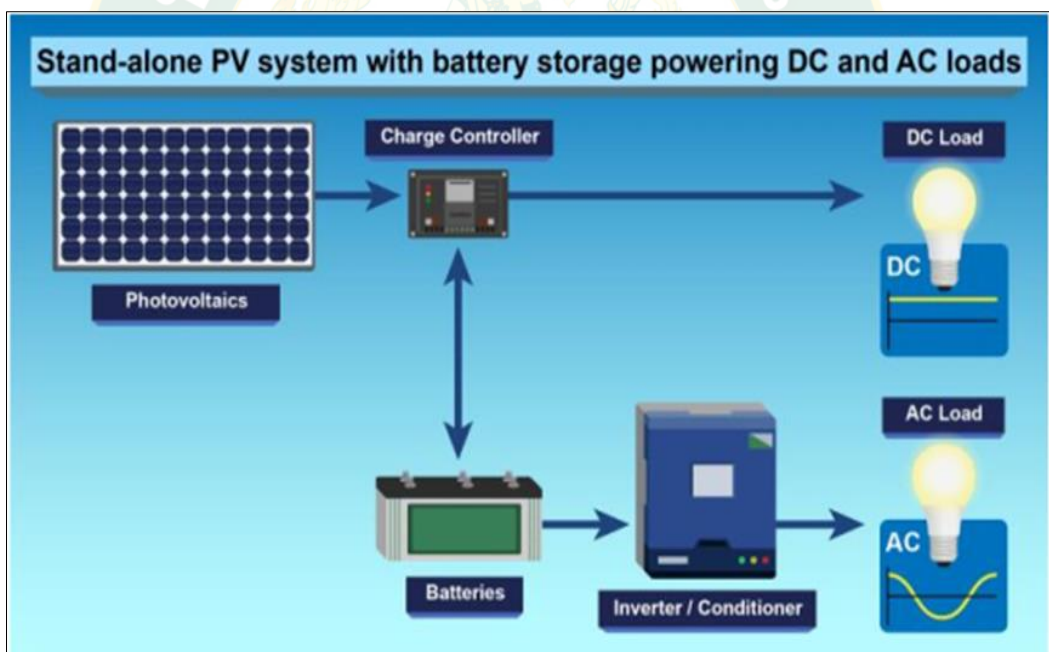
การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบ่งออกเป็น 3 ระบบ คือ

#### 2.1.7.1 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ

เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ได้รับการออกแบบสำหรับใช้งานในพื้นที่ชนบทที่ไม่มีระบบสายส่งไฟฟ้าดังแสดงในภาพที่ 10 และภาพที่ 11 อุปกรณ์ของระบบที่สำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่อใช้งานตรงกับโหลดไฟฟ้ากระแสตรง และอีกรูปแบบหนึ่งคือ นำมาต่อให้ได้แรงดันตามความต้องการของอุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ (Solar charge controller) และกำลังไฟฟ้าตามที่ต้องการใช้งานของโหลด ซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากอุปกรณ์ควบคุมการประจุสามารถนำไปใช้งานได้ใช้งานโดยการต่อกับโหลดไฟฟ้ากระแสตรงได้เลยและในขณะเดียวกัน ถ้ากำลังไฟฟ้าเหลือก็สามารถนำไปชาร์ตเข้าแบตเตอรี่ (ควรเลือกใช้เป็นแบตเตอรี่แบบ Deep cycle) และถัดมาเป็นอุปกรณ์แปลงผันพลังงานเพื่อเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบอิสระ โดยโหลดที่ใช้จะเป็นอุปกรณ์ที่ใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับ



ภาพที่ 10 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบจ่ายโหลดโดยตรง (ตระกูล และ ยนต์, 2019)

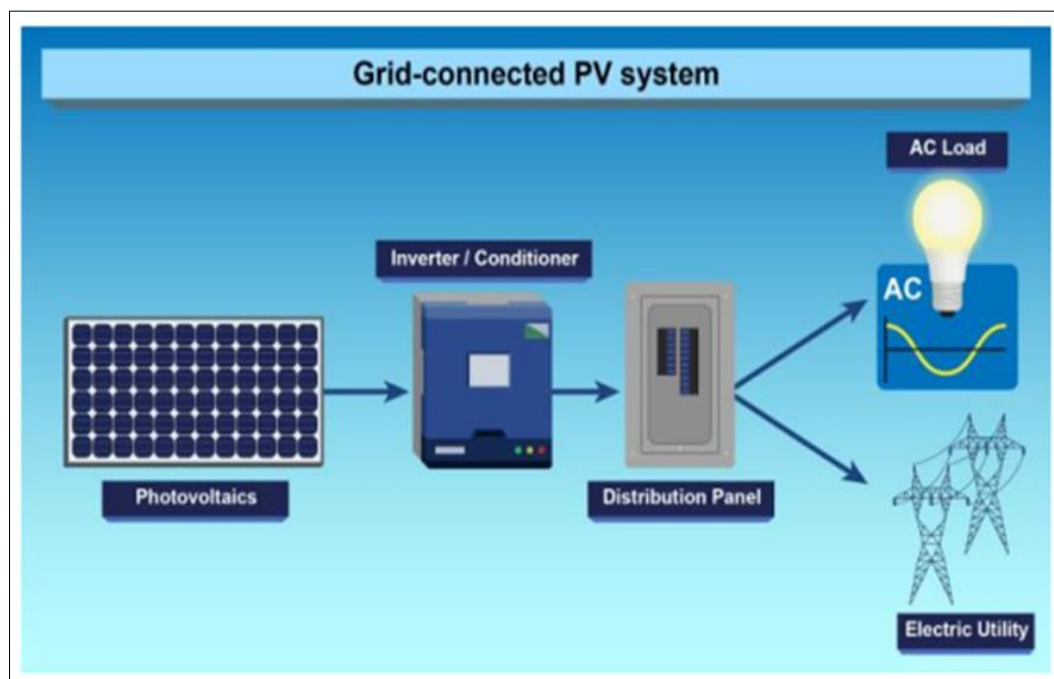


ภาพที่ 11 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระทำงานร่วมกับแบตเตอรี่ (ตระกูล และ ยนต์, 2019)

#### 2.1.7.2 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ระบบผลิตไฟฟ้าที่ถูกออกแบบสำหรับผลิตไฟฟ้างดแสดงในภาพที่ 12 อุปกรณ์ของระบบที่สำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งนำมาต่อให้ได้แรงดันตามความต้องการของอินเวอร์เตอร์ โดยต่อผ่านกล่องต่อสายและเบรกเกอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและกำลังไฟฟ้าตามที่ต้องการใช้งานของโหลด ซึ่งแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้สามารถนำไปใช้งานได้โดยตรงโดยการต่อกับโหลดไฟฟ้ากระแสตรง

หรือแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งสามารถนำไปใช้กับโหลดไฟฟ้ากระแสสลับ และในขณะเดียวกันก็สามารถต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้าผ่านสวิตช์ตัดตอนและมิเตอร์กิโลวัตต์-ชั่วโมง ใช้ผลิตไฟฟ้าในเขตเมืองหรือพื้นที่ที่มีระบบโครงข่ายไฟฟ้าเข้าถึง

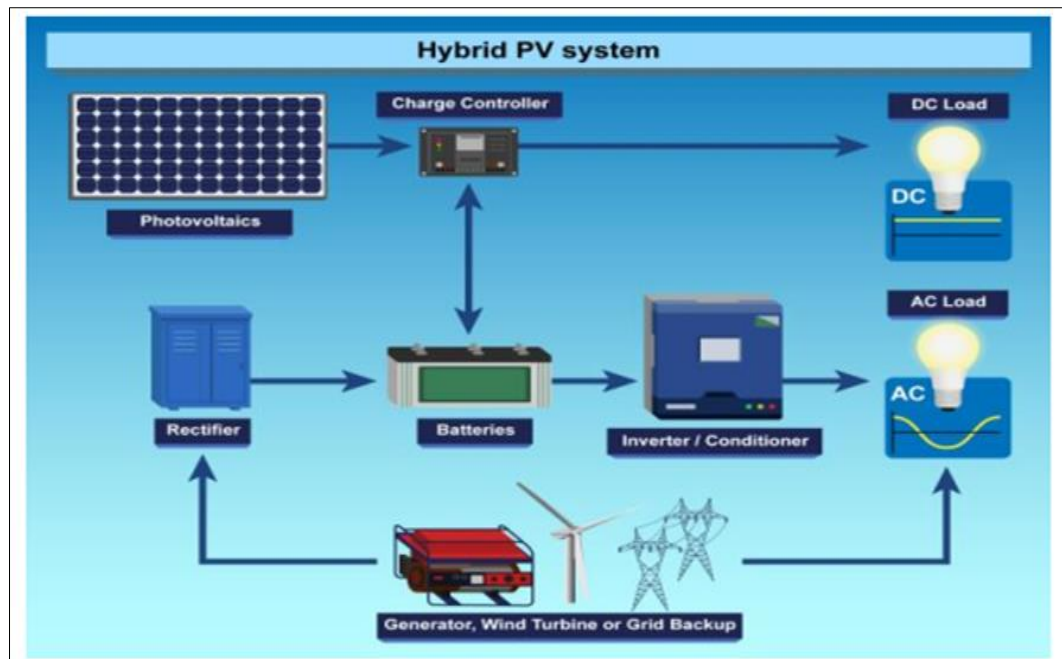


ภาพที่ 12 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า (ตระกุล และ ยนต์, 2019)

#### 2.1.7.3 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

ระบบผลิตไฟฟ้าที่ถูกออกแบบสำหรับผลิตไฟฟ้าร่วมกับอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าชนิดอื่น ๆ อุปกรณ์ของระบบที่สำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งนำมาต่อให้ได้แรงดันตามความต้องการของอุปกรณ์แปลงพลังงานแบบผสมผสาน (Hybrid inverter) โดยสามารถใช้งานร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กังหันลมผลิตไฟฟ้าและแบตเตอรี่ดังแสดงในภาพที่ 13 โดยไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้อาจจะนำไปใช้กับซึ่งสามารถนำไปใช้กับโหลดไฟฟ้ากระแสสลับ 230 Vac และในขณะเดียวกันก็สามารถต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้า





ภาพที่ 13 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (ตระกูล และ ยนต์, 2019)

#### 2.1.8 การประเมินสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

วิธีการประเมินประสิทธิภาพและสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิงตามมาตรฐาน International Electrotechnical Commission หรือ IEC 61724 ถึงแม้ว่าจะมีตัวแปรจำนวนมากที่ใช้ในการคำนวณ แต่จะมีค่าตัวแปรที่สำคัญที่สามารถนำมาใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพและสมรรถนะการผลิตไฟฟ้าของระบบที่ติดตั้งกับระบบอื่น ๆ (พีระวุฒิ et al., 2558)

พลังงานที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์กำลังการติดตั้งสูงสุด ( $Y_A$ ) เป็นค่าบอกว่าระบบจะผลิตไฟฟ้ากระแสตรงได้ปริมาณเท่าไรต่อการติดตั้งระบบ  $1 \text{ kW}_p$  ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่

2

$$Y_A = \frac{E_{DC}}{P_O} \quad (\text{สมการที่ 2})$$

โดยที่

$Y_A$  คือ ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่อขนาดของระบบที่ติดตั้ง:

Array Yield (kWh/kWp)

$E_{DC}$  คือ ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh)

$P_O$  คือ ขนาดของระบบผลิตไฟฟ้าที่ติดตั้ง (kWp)

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากระบบ ( $Y_f$ ) เป็นค่าที่บอกว่าระบบจะผลิตไฟฟ้ากระแสสลับได้ปริมาณเท่าไรต่อการติดตั้งระบบ  $1 \text{ kW}_p$  ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3

$$Y_F = \frac{E_{AC}}{P_O} \quad (\text{สมการที่ 3})$$

โดยที่

$Y_F$  คือ ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากระบบต่อขนาดของระบบที่ติดตั้ง: Final Yield (kWh/kWp)

$E_{AC}$  คือ ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากระบบผลิตไฟฟ้า (kWh)

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทางทฤษฎี ( $Y_R$ ) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4

$$Y_R = \frac{H_i}{G_{STC}} \quad (\text{สมการที่ 4})$$

โดยที่

$Y_R$  คือ ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทางทฤษฎี: Reference Yield(kWh/kWp)

$G_{STC}$  คือ ค่ารังสีดวงอาทิตย์ ที่มาตรฐาน STC (1 kW/m<sup>2</sup>)

$H_i$  คือ ค่าพลังงานรังสีดวงอาทิตย์ (kWh/m<sup>2</sup>)

สมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Performance Ratio หรือ PR) เป็นค่าที่บอกถึงคุณลักษณะการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเป็นการเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อกำลังการติดตั้งสูงสุดของระบบ กับผลผลิตพลังงานไฟฟ้าตามทฤษฎี ซึ่งแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 5

$$PR = \frac{Y_F}{Y_R} \quad (\text{สมการที่ 5})$$

โดยที่

PR คือ ค่าสมรรถนะของระบบ: Performance Ratio (%)

ประสิทธิภาพของระบบสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 6

$$\eta_{SYS} = \frac{P_{AC}}{I_T A_{PV}} \quad (\text{สมการที่ 6})$$

โดยที่

$\eta_{sys}$  คือ ประสิทธิภาพของระบบ (%)

$P_{AC}$  คือ กำลังไฟฟ้ากระแสสลับ (W)

$I_T$  คือ ค่ารังสีอาทิตย์ตกกระทบ (W/m<sup>2</sup>)

$A_{PV}$  คือ พื้นที่เซลล์แสงอาทิตย์ (m<sup>2</sup>)

ประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 7

$$\eta_{inv} = \frac{P_{AC}}{P_{DC}} \times 100\% \quad (\text{สมการที่ 7})$$

โดยที่

$\eta_{inv}$  คือ ประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (%)

$P_{AC}$  คือ กำลังไฟฟ้ากระแสสลับ (W)

$P_{DC}$  คือ กำลังไฟฟ้ากระแสตรง (W)

พลังงานสูญเสียของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 8

$$L_c = Y_R - Y_A \quad (\text{สมการที่ 8})$$

โดยที่

$L_c$  คือ พลังงานสูญเสียของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh/kW<sub>p</sub>)

พลังงานที่สูญเสียในระบบสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 9

$$L_s = Y_A - Y_F \quad (\text{สมการที่ 9})$$

โดยที่

$L_s$  คือ พลังงานที่สูญเสียในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh/kW<sub>p</sub>)

### 2.1.9 โรงเรือนเพาะปลูกพืช (นฤมล, 2554)

โรงเรือนเพาะปลูกพืช คือ สิ่งปลูกสร้างที่ใช้สำหรับอนุบาลพืชหรือเพาะปลูกพืช นิยมใช้เพาะปลูกพืชเพื่อความสวยงามและพืชเศรษฐกิจที่ให้ผลตอบแทนสูง เช่น ไม้ดอกไม้ประดับ พืชไฮโดรโปนิคส์ และพืชผักต่าง ๆ มีการปกคลุมด้วยวัสดุโปร่งแสง เช่น กระดาษ หรือ พลาสติก วัสดุที่นิยมใช้ทำโครงสร้างของโรงเรือนเพาะปลูกพืช ได้แก่ ไม้ และโลหะ โครงสร้างทั้ง 2 มีข้อดี ข้อเสียแตกต่างกัน ดังนี้ แบบโครงสร้างไม้ เช่น ไม้ไผ่ ไม้ยูคาลิปตัส เป็นต้น คลุมด้วยพลาสติกทั้งโรงเรือน ข้อดี คือ ต้นทุนต่ำ สร้างง่ายข้อเสีย คือ อายุการใช้งานสั้น ทนต่อแรงลมได้ต่ำ และแบบโครงสร้างทำจากโลหะ เช่น เหล็ก หรือเหล็กอาบสังกะสีเป็นต้น คลุมด้วยพลาสติกหรือกระดาษทั้งหลัง อาจมีช่องระบายอากาศบนหลังคา ข้อดี คือ แข็งแรง ทนทาน ทนต่อแรงลมได้ดี สามารถสร้างคลุมพื้นที่ได้มาก ข้อเสียคือราคาในการก่อสร้างสูง ดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 โรงเรือนเพาะปลูกพืช (<http://www.m-group.in.th/article/>)

#### 2.1.9.1 ประเภทของโรงเรือน

สำหรับโครงสร้างของโรงเรือนที่ใช้กันอยู่ทั่วไปมีหลายแบบด้วยกัน แต่ละแบบนิยมใช้ ตามวัตถุประสงค์ของผู้ใช้ได้แก่

- Detached Houses

เป็นโรงเรือนที่สร้างขึ้นมาหลังเดี่ยว อุปกรณ์ต่างๆที่นำมาใช้ในโรงเรือนสามารถติดตั้งไว้ภายในโรงเรือน ตลอดจนการจัดการระบบต่าง ๆ โรงเรือนแบ่งเป็น

- Even Span เป็นโรงเรือนที่นิยมสร้างกันโดยทั่ว ๆ ไปเนื่องจากก่อสร้างได้ง่าย มี ลักษณะหลังคาเป็นสามเหลี่ยมหน้าจั่ว นิยมสร้างเป็นโรงเรือนขนาดใหญ่ โรงเรือนเดี่ยวหรือสร้างติดกันหลายโรงเรือน สามารถติดตั้งอุปกรณ์เสริมสำหรับใช้ในโรงเรือน เช่น ระบบทำความเย็น ระบบทำความร้อน และระบบระบายอากาศ โรงเรือนแบบนี้จะประหยัดพลังงานเนื่องจากสามารถจัดการพลังงานได้อย่างเป็นระบบภายในโรงเรือนเดียว โรงเรือนแบบนี้เหมาะสมกับการเพิ่มความยาวนานวันให้กับพืช เช่น เบลูจมาศและพืชวันยาวอื่นๆ

- Uneven Span ลักษณะของหลังคาเป็นสามเหลี่ยมหน้าจั่วแต่จะมีหลังคาด้าน หนึ่งยาวกว่า อีกด้านหนึ่ง สร้างให้หลังคาทางทิศใต้ยาวกว่า นิยมสร้างกันในประเทศที่มีความเข้มของแสงแดดไม่มากหรือสร้างในภูมิภาคประเทศที่ตั้งอยู่บนเนินเขา การวางตำแหน่งของโรงเรือนจะหัน ด้านที่มีหลังคา ยาวไปทางทิศใต้เพื่อรับแสงอาทิตย์อย่างเต็มที่

- Quonset เป็นโรงเรือนที่มีหลังคาโค้งหรือครึ่งวงกลม โครงสร้างของโรงเรือนอาจเป็นแบบมีเสาหรือไม่มีเสาก็ได้ ปัจจุบันนิยมสร้างโรงเรือนชนิดนี้กันมากเนื่องจากสร้างง่ายมี โครงสร้างไม่ซับซ้อนสามารถทนแรงลมสูงๆ และสามารถระบายอากาศออกจากโรงเรือนได้ดี คลุมด้วย sheet film plastic หรือ fiberglass (GRP)

- Gothic Arch ลักษณะโครงหลังคาเป็นศิลปะโบราณของเยอรมันที่เรียกว่า “Gothic Arch” มีลักษณะคล้ายหลังคาโค้ง แต่ส่วนยอดของหลังคาจะเป็นปลายแหลม การก่อสร้างค่อนข้างจะยุ่งยาก โดยเฉพาะส่วนของหลังคาซึ่งนิยมสร้างจากไม้ ทำให้ไม่สามารถเปิดช่อง ระบายอากาศทางหลังคาได้ การระบายอากาศทำโดยติดตั้งพัดลมระบายอากาศโรงเรือนประเภทนี้มีความสวยงามจึงทำให้นิยมใช้ปลูกดอกไม้มากกว่าพืชชนิดอื่น

- Dome ลักษณะหลังคาเป็นครึ่งทรงกลม การก่อสร้างทำได้ยากและมีราคาต้นทุน ในการก่อสร้างสูง นิยมใช้ปลูกดอกไม้เช่นเดียวกับโรงเรือนแบบ Gothic Arch

จากโรงเรือนแบบ Detached houses ถ้าสร้างติดๆ กันหลายโรงเรือนและไม่มีผนังกั้นระหว่างทั้งสองแบบมักนิยมเรียกว่า connected greenhouse ส่วนมากใช้ในการปลูกพืชแบบอุตสาหกรรม

- Multi chamber Houses ลักษณะของโรงเรือนเป็นการประยุกต์จากโรงเรือนแบบ Quonset หรือ Even Span โดยสร้างหลายโรงเรือนติดกันและความสูงของโรงเรือนจะกำหนดโดย ความสูงของพืชที่ปลูก ดังนั้นจึงมีความสูงของโรงเรือนไม่แน่นอน ตัวอย่างการสร้างโรงเรือนได้แก่ โรงเรือนแบบ Dutch-Vento type ในประเทศแถบยุโรป เช่น ประเทศเนเธอร์แลนด์ นิยมใช้ปลูกมะเขือเทศ

- Saran-Covered Houses เป็นโรงเรือนที่ใช้ตาข่ายพลาสติกสำหรับพรางแสงอาทิตย์ที่เรียกว่า Saran ทำจากสิ่งทอโพลีโพรพิลีน (Polypropylene fabric) มีน้ำหนักเบา สามารถใช้ลวดเส้นใหญ่ตรึงไว้กับเสา นิยมใช้ในโรงเรือนที่ปลูกไม้ดอกที่ไม่ต้องการแสงอาทิตย์มาก หรือใช้ในกรณีที่ต้องการลดความเข้มของแสงที่สูงเกินความต้องการของพืช สามารถป้องกัน แมลงบางชนิด และลดแรงปะทะของฝนได้

- Lath Houses โรงไม้ระแนงใช้ในการพรางแสงไม่ให้พืชได้รับความเข้มแสงมาก เกินไป และลดอุณหภูมิให้ต่ำลง ทำให้พืชต้องการน้ำน้อยลง ใช้กันมากในการปลูกพืชไม้ดอก หรือ โรงเรือนเพาะพืช ขยายพันธุ์พืช โครงสร้างของโรงเรือนทำจากไม้ระแนงโดยตีด้านบนและ ด้านข้างของโรงเรือน ปริมาณแสงอาทิตย์ที่ส่องผ่านเข้าสู่โรงเรือนถูกกำหนดโดยความถี่ของไม้ ระแนงประมาณ 1/2-1/3 เท่า

- Lean- to Houses หลังคาเพิงแหงน (Lean-to Roof) หรือที่นิยมเรียกกันว่า หลังคาเพิงหมาแหงน เป็นหลังคาที่มีลักษณะเป็นพื้นเดียวต่อเนื่อง ลาดเอียงไปทางด้านเดียว นับเป็นรูปทรงหลังคาที่

เรียบง่าย สามารถก่อสร้างได้ง่าย วัสดุถุงหลังคามักมีขนาดแผ่นยาว ทำให้มีแนวซ้อนทับน้อย หรือเป็นแผ่นยาวตลอดตามระยะของโรงเรือน ลาดเอียงของหลังคา

### 2.1.9.2 โครงสร้างโรงเรือนเพาะปลูกพืช

- โรงเรือนโพลีเอทิลีนกับโรงเรือนหลังคาโค้งโพลี

โรงเรือนโพลีเอทิลีน (PE) ที่เป็นนวัตกรรมของเราเป็นโครงสร้างโรงเรือนเพาะปลูกที่มีความแข็งแรงและทนทาน มีโครงสร้างโรงเรือนโพลีเอทิลีนหลากหลายแบบครบถ้วน และเลือกโซลูชันที่ดีที่สุดและคุ้มค่าที่สุดให้เหมาะสมกับสภาพอากาศในพื้นที่ที่จะปลูกพืช

โรงเรือนโพลีเอทิลีนกับโรงเรือนหลังคาโค้งโพลีเป็นโครงสร้างโรงเรือนเพาะปลูกที่ติดตั้งได้รวดเร็วและไม่ยุ่งยาก อีกทั้งออกแบบมาให้ทนต่อแรงลมสูงและการปลูกพืชอย่างต่อเนื่อง โรงเรือนโพลีสามารถครอบคลุมพื้นที่ตั้งแต่ 0.5 เฮกตาร์ถึง 30 เฮกตาร์ ดังภาพที่ 15



ภาพที่ 15 โรงเรือนโพลีเอทิลีนกับโรงเรือนหลังคาโค้งโพลี (<http://www.m-group.in.th/article/>)

- โรงเรือนมุ้งตาข่าย

โรงเรือนมุ้งตาข่ายเป็นโครงสร้างโรงเรือนเพาะปลูกที่เหมาะสมกับการเพาะปลูกพืชหลายชนิด รวมถึงผัก สวนผลไม้ และการอนุบาลต้นกล้า โรงเรือนมุ้งตาข่ายเพิ่มประสิทธิภาพและคุณภาพของการผลิตด้วยการเพิ่มความปลอดภัยให้กับพืชและลดการใช้น้ำกับยาฆ่าแมลง เป็นโครงสร้างโรงเรือนเพาะปลูกที่คุ้มทุนสำหรับพื้นที่ขนาดใหญ่และสามารถสร้างมูลค่าและผลตอบแทนได้มากยิ่งขึ้น ดังภาพที่ 16



ภาพที่ 16 โรงเรือนมุ้งตาข่าย (<http://www.m-group.in.th/article/>)

- โรงเรือนกระจก

โครงสร้างโรงเรือนกระจกปล่อยให้แสงและรังสีเข้าจำนวนมาก เป็นโครงสร้างที่ทนทาน มีการบำรุงรักษาน้อยและออกแบบมาสำหรับรับการใช้งานที่หนักและการผลิตที่ดีที่สุด นอกจากนี้โรงเรือนกระจกยังมีตัวเลือกการระบายอากาศตามธรรมชาติหลายแบบ ดังภาพที่ 17



ภาพที่ 17 โรงเรือนกระจก (<http://www.m-group.in.th/article/>)

### 2.1.10 ปัจจัยในการเจริญเติบโตของพืชในโรงเรือนเพาะปลูก (สุลักษณา, 2021)

#### 1. อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญและมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของพืช สิ่งมีชีวิตทุกชนิดในโลก ประกอบขึ้นด้วยอะตอม อัตราการเคลื่อนไหวของอะตอมขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ นอกจากนี้ อุณหภูมิจะมี

อิทธิพลต่อขบวนการทางฟิสิกส์และทางเคมีในพืช ซึ่งขบวนการทั้งสองจะควบคุม ปฏิกริยาทางชีวภาพในพืช อุณหภูมิสำหรับการเจริญเติบโตของพืชแบ่งออกได้ดังนี้คือ

- อุณหภูมิต่ำสุด ( Minimum temperature ) ถ้าหากอุณหภูมิต่ำกว่าจุดนี้ พืชจะไม่สามารถเจริญเติบโตได้ ถึงแม้จะมีแสงและความชื้นอย่างเพียงพอ

- อุณหภูมิที่เหมาะสม ( Optimum temperature ) อุณหภูมิที่พืชสามารถเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว

- อุณหภูมิสูงสุด ( Maximum temperature ) ถ้าหากอุณหภูมิสูงกว่าจุดนี้ พืชจะไม่สามารถเจริญเติบโตต่อไปได้ ถึงแม้จะมีแสงและความชื้นอย่างเพียงพอ

## 2. แสงและการเจริญของพืช (Light)

แสงมีอิทธิพลทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อพืช เนื่องจากแสงเป็นแหล่งพลังงานในการสังเคราะห์คาร์บอนไดออกไซด์ให้เป็นอาหารเบื้องต้น ตลอดจนขบวนการต่างๆ ของพืช ในกรณีที่ไม่มีแสง พืชจะใช้อาหารสำรองในต้นจนกระทั่งหมดไป ต่อจากนั้นพืชจะตาย พืชที่เจริญในที่มืดจะมีอาการผิดปกติ ใบสีขาว ลำต้นขนาดเล็ก ยืดตัว บิดงอ ใบไม่เปิดเต็มที่ รากไม่สมบูรณ์ เนื้อเยื่ออวบน้ำ ซ้อยาว ซึ่งเรียกออาการนี้ว่า Etiolation

### - ความเข้มของแสง (Light intensity)

ความต้องการความเข้มของแสงในพืชแต่ละชนิดจะต่างกัน ปกติในสภาพความเข้มของแสงต่ำจะทำให้เซลล์พืชขยายตัวได้มากและรวดเร็ว มีการแบ่งตัวมากแต่เซลล์มีการเปลี่ยนแปลงน้อย มีการแก่ตัวช้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปลูกพืชในสภาพที่มีความเข้มของแสง ต่ำมากๆ ลำต้นจะยาว ใบขาวซีด ไม่มีเม็ดสีเขียวหรือคลอโรฟิลล์ ความเข้มของแสงต่ำกว่า 0.4 แแรงเทียน จะจำกัดการสังเคราะห์แสง อัตราการสังเคราะห์แสงจะขึ้นอยู่กับความเข้มของแสง โดย อัตราการสังเคราะห์จะสูงขึ้นตามความเข้มของแสง จนกระทั่งถึงระดับสูงสุดที่เรียกว่า Light saturated

### - คุณภาพของแสง (Light quality)

คุณภาพของแสงจะขึ้นอยู่กับความยาวของคลื่นแสง โดยแสงใน Spectrum มีเจ็ดสี สีแดงเป็นคลื่นแสงที่ยาวที่สุด สีม่วงสั้นที่สุด แสงที่มีความยาวคลื่นมากจะมีผลต่อการยืดตัวของ ลำต้นน้อย ส่วนแสงที่มีคลื่นสั้นจะมีอิทธิพลต่อการยืดของลำต้นมาก แสงที่มีประโยชน์ต่อการขยายตัวของใบจะให้ผลตรงข้ามกับการยืดตัวของลำต้น การปลูกพืชในที่ ๆ มีแสงอัลตราไวโอเล็ต (สีม่วง) มากพืชจะตายและถ้าหากได้รับแสงอินฟราเรด (สีแดง) ที่มีความเข้มสูงพืชจะเป็นอันตรายได้ อัตราการเจริญของพืชภายใต้แสงสีเขียวจะต่ำกว่าการปลูกพืชภายใต้แสงสีน้ำเงิน-ม่วง หรือ ส้ม-แดง

## 3. ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity)

ในกรณีที่ความชื้นสัมพัทธ์สูงหรือต่ำเกินไปโรคจะเข้าทำลายได้ง่าย ดังนั้นในกรณีที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำควรให้น้ำ ระยะที่พืชเจริญเติบโตและระยะติดตามผลจะต้องการความชื้นสัมพัทธ์



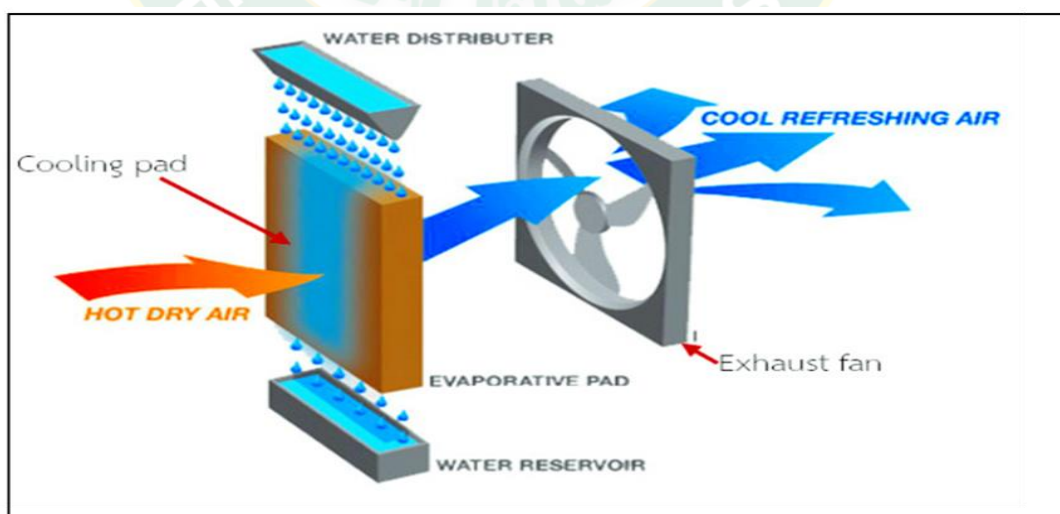
ช่วงกลางวันสูง ความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของพืชผักอยู่ระหว่าง 60-70 %RH

#### 4. การควบคุมสภาวะแวดล้อมในโรงเรือนเพาะปลูก

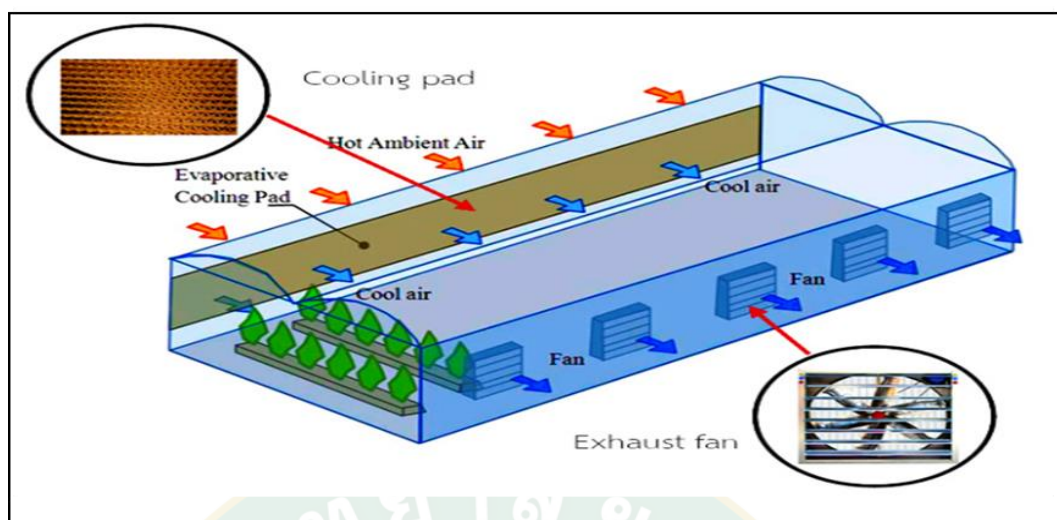
เทคนิคที่ใช้ในการควบคุมสภาวะแวดล้อมในโรงเรือนเพาะปลูกแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม (energy management in the greenhouse, 2019) ดังนี้

- เทคนิคทางความเย็น (cooling technique) ได้แก่ การระบายอากาศ (ventilation) ทั้งแบบธรรมชาติและแบบบังคับ การใช้วัสดุพรางแสงอาทิตย์ (shading material) ระบบการทำความเย็นด้วยการระเหยของน้ำ (evaporative cooling system) และระบบพ่นหมอก (fogging system)
- เทคนิคทางความร้อน (heating technique) ได้แก่ การกักเก็บพลังงานความร้อนทั้งจากแสงอาทิตย์และใต้ดิน (solar collector and ground collector)
- เทคนิคทางธรรมชาติ (passive technique) ได้แก่ เทคนิคต่างๆ ดังนี้ ระบบท่อใต้ดิน (earth tube system) ป้อนความร้อนพลังงานความร้อนใต้พิภพ (geothermal heat pump) เตียงหิน (rock bed) และกำแพงทิศเหนือ (north wall) เป็นต้น

เทคนิคที่ใช้สำหรับควบคุมสภาวะแวดล้อมในโรงเรือนจะถูกกำหนดโดยชนิดของพืชและภูมิประเทศสำหรับประเทศไทยซึ่งอยู่ในพื้นที่เขตร้อน (Harjunowibowo, Cuce, Omer & Riffat, 2016, p. 5) ส่งผลให้ภายในโรงเรือนมีอุณหภูมิสูง จึงต้องใช้เทคนิคทางความเย็นเข้ามาควบคุมสภาวะแวดล้อมในโรงเรือนให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช ส่วนประกอบของระบบควบคุมสภาวะแวดล้อมในโรงเรือนเพาะปลูกด้วยเทคนิคการทำความเย็นแบบระเหย แสดงดังภาพที่ 18



ภาพที่ 18 ระบบทำความเย็นแบบระเหยน้ำ (Zhao et al., 2016)



ภาพที่ 19 การติดตั้งระบบการทำความเย็นด้วยการระเหยของน้ำ (Zhao et al., 2016)

หลักการการทำงานโดยทั่วไปของระบบการทำความเย็นด้วยการระเหยของน้ำ จากภาพที่ 18 และ 19 ระบบจะดึงอากาศจากภายนอกเข้าสู่ภายในโรงเรือนเพาะปลูกโดยใช้พัดลม (exhaust fan) ผ่านตัวกลางเพื่อทำการลดอุณหภูมิลง ตัวกลางนั้นคือแผ่นระเหยน้ำ (cooling pad) ซึ่งมีน้ำไหลผ่านอยู่ภายในทั่วทั้งแผ่นด้วยปั๊มน้ำ เมื่อลมร้อนจากภายนอกโรงเรือนไหลผ่านแผ่นระเหยน้ำ อากาศซึ่งมีอุณหภูมิสูงจะสูญเสียความร้อนให้กับน้ำ ความร้อนนี้ถูกใช้เป็นการระเหยน้ำจากแผ่นระเหยน้ำให้กลายเป็นไอน้ำและไอน้ำนี้จะผสมกับอากาศที่ออกจากแผ่นระเหยน้ำทำให้อากาศที่ได้มีอุณหภูมิต่ำลงและมีความชื้นสูงขึ้น โดยทั่วไปจะสามารถลดอุณหภูมิลงได้ 5-15 องศาเซลเซียส ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของน้ำ และอากาศที่ดึงเข้ามา (Yushi Group, 2016)

#### 2.1.11 การระบายอากาศ (ventilation)

การระบายอากาศนั้นนอกจากจะเป็นการระบายความร้อนออกไปจากโรงเรือนแล้วยังเป็นการแลกเปลี่ยนอากาศใหม่เพื่อรองรับกระบวนการสังเคราะห์แสง นอกจากนี้ยังช่วยลดปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งจะเป็นการช่วยควบคุมโรคระบาดที่อาจเกิดขึ้นจากความชื้นที่สูง โดยการระบายอากาศแบ่งออกเป็น

- การเคลื่อนที่ของอากาศตามธรรมชาติ (natural air movement)

โดยอาศัยหลักการเคลื่อนที่ของลมประจำถิ่นไหลผ่านด้านบนของหลังคาเรือนทำให้เกิดสุญญากาศทำให้อากาศร้อนที่ลอยตัวขึ้นถูกดูดไหลออกไปจากโรงเรือนโดยเกิดจากปัจจัยดังนี้

- การระบายอากาศแบบธรรมชาติที่เกิดจากแรงลม (Wind Force)

การเคลื่อนที่ของลมจากธรรมชาติที่พัดผ่านอาคารสามารถช่วยลดอุณหภูมิในอาคารได้ เมื่อมีความเร็วลมค่าหนึ่งพัดเข้าสู่อาคาร ก็จะสามารถพาความร้อนที่สะสมอยู่ในอาคารออกสู่บรรยากาศ

ภายนอกได้ เมื่อลมมีความเร็วมากเท่าไรก็จะสามารถลดอุณหภูมิอากาศในบริเวณ นั้นได้เร็วการระบายอากาศแบบธรรมชาติที่เกิดจากแรงลอยตัวของอากาศ ( Buoyancy Force )

การสะสมความร้อนเนื่องจากอิทธิพลของรังสีอาทิตย์ภายในอาคารส่งผลให้อากาศภายใน มีอุณหภูมิสูงขึ้น ความร้อนที่ได้รับจะทำให้อากาศขยายตัวบางลงและลอยตัวสูงขึ้นอยู่นิ่ง อากาศที่มีความแน่นหนามากกว่า สุกท้ายอากาศก็จะลอยออกนอกตัวอาคารโดยถูกดูดขึ้น เนื่องจากแรงลอยตัว

#### 2.1.12 พัดลมระบายอากาศ (fan ventilation)

การติดตั้งพัดลมดูดอากาศตามผนังหรือหลังคาของสิ่งก่อสร้างและทำช่องระบายอากาศไว้ด้านตรงข้าม อากาศจะไหลเข้าแล้วพัดลมจะดูดออก ทำให้เกิดการไหลเวียนของอากาศ เพื่อให้เกิดการถ่ายเทอากาศได้ดีต้องออกแบบให้เกิดบริเวณความกดอากาศสูงและความกดอากาศต่ำต่อเนื่องกันไป สำหรับช่องระบายอากาศในโรงเรือนควรมีช่องคิดเป็นเนื้อที่ 1/6 ของพื้นที่ของโรงเรือน ดังภาพที่

20



ภาพที่ 20 พัดลมระบายอากาศ (Zhao et al., 2016)

#### 2.1.13 ลักษณะทั่วไปสตรอว์เบอร์รี่

สตรอว์เบอร์รี่ (Strawberry) เป็นไม้ผลทรงพุ่มขนาดเล็ก มีลักษณะการเจริญเติบโต โดยการแตกกอ มีดอกสีขาว ผลมีสีแดงผิวเป็นมัน มีเมล็ดติดอยู่ที่ผิวด้านนอกของผล เมื่อผลสุกจะมีกลิ่นหอม สตรอว์เบอร์รี่เป็นพืชที่ต้องการอุณหภูมิต่ำในช่วงของการพัฒนาตาดอกและเกิดการติดผล จึงมีพื้นที่หลักอยู่ในภาคเหนือตอนบน เช่น เชียงใหม่ เชียงราย เป็นต้น

### 1. ลักษณะของการผลิตต้นไหลสตรอว์เบอร์รี่ในสภาพแปลง

เริ่มจากเกษตรกรผู้ผลิตไหลจะนำต้นแม่พันธุ์มาปลูกในแปลงในช่วงเดือนมีนาคมเมษายน ซึ่งอาจมีระยะห่างระหว่างแปลงประมาณ 60-70 cm ระยะห่างระหว่างต้นประมาณ 80-90 cm ในช่วงแรกจะบำรุงต้นพันธุ์ให้แข็งแรง และให้แตกกอเพื่อให้มีต้นต่อกอประมาณ 4-5 ต้น ตัดต้นไหลที่ออกในช่วงแรกออกให้หมด เพื่อส่งเสริมการแตกกอของต้นแม่ ในช่วงปลายเดือนกรกฎาคม เริ่มปล่อยให้ต้นแม่พันธุ์แตกต้นไหลได้ตามปกติ หลังจากที่ดินไหลโตและเริ่มมีตุ่มรากเกิดขึ้นจะนำถุงพลาสติกที่ใส่วัสดุปลูกที่เป็นดินหรือดินผสมมารองรับคืบต้นต้นไหลโดยใช้ไม้ไผ่หักกลางเสียบให้ต้นไหลติดอยู่กับถุงพลาสติก รอนต้นไหล สร้างรากและแข็งแรงดีจึงตัดออกจากต้นแม่ ดังภาพที่ 21



ภาพที่ 21 ลักษณะทั่วไปสตรอว์เบอร์รี่ และสภาพแปลง

([https://www.sentangedtee.com/farming-trendy/article\\_26658](https://www.sentangedtee.com/farming-trendy/article_26658))

การผลิตต้นไหลอีกวิธีหนึ่ง คือ เกษตรกรจะไม่รองต้นไหลในช่วงแรก แต่จะปล่อยให้ ต้นแม่แตกต้นไหลไปเรื่อย ๆ และใช้วิธีตัดต้นไหลขึ้นแปลงเพื่อชะลอการที่รากจะยึดเกาะกับ ดินในแปลง รอนจนถึงช่วงกลางเดือนสิงหาคมจึงเริ่มรองต้นไหลในสภาพการผลิตปัจจุบัน เกษตรกรจะสามารถผลิตต้นไหลได้ประมาณ 40-70 ต้นไหลต่อกอ

#### 2.1.14 ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์พลังงาน (สราวุธ, 2021)

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (net present value, NPV) คือ ผลบวกของรายรับทั้งหมด และรายจ่ายทั้งหมดที่ได้จากโครงการ เพื่อชี้ให้เห็นว่าโครงการนั้นเป็นที่น่าสนใจในการลงทุน ซึ่งมูลค่าปัจจุบันสุทธิสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 10

$$NPV = \sum_{n=1}^N \frac{R_n - C_n}{(1+i)^n} - TIC \quad (\text{สมการที่ 10})$$

โดยที่

$R_n$	คือ ผลตอบแทนในปีที่ $n$ (Baht)
$C_n$	คือ ค่าใช้จ่ายในปีที่ $n$ (Baht)
$N$	คือ ระยะเวลาของโครงการ
$i$	คือ อัตราส่วนลด (%)
$TIC$	คือ เงินลงทุนทั้งหมด ณ เวลาปัจจุบัน (Baht)

อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal rate of return, IRR) คือ อัตราผลตอบแทนการลงทุน ซึ่งเป็นอัตราคิดลด (Discount rate) ที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนทั้งหมดมีค่าเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของต้นทุน ซึ่งอัตราผลตอบแทนภายในสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 11

$$\sum_{n=1}^N \frac{R_n - C_n}{(1+i)^n} - TIC = 0 \quad (\text{สมการที่ 11})$$

ระยะเวลาคืนทุนของโครงการ (Payback period; PB) คือ ระยะเวลาที่ผลตอบแทนสุทธิสะสมจากการดำเนินงานมีค่าเท่ากับมูลค่าในการลงทุนทั้งหมด โครงการใดที่มีระยะเวลาลงทุนยิ่งสั้นยิ่งมีความต้องการสูง เนื่องจากสามารถนำเงินที่คืนทุนไปลงทุนในกิจการอื่นๆ ซึ่งระยะเวลาคืนทุนสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 12

$$PB = \frac{Inv}{B} \quad (\text{สมการที่ 12})$$

โดยที่

$Inv$	คือ ค่าใช้จ่ายการลงทุนติดตั้งของโครงการ (Baht)
$B$	คือ มูลค่าผลตอบแทนต่อปี (Baht/year)

## 2.2 วิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (2561) โครงการ การศึกษาการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนแบบกึ่งโปร่งใสเพื่อใช้ร่วมกับอาคารประหยัดพลังงาน ของสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ 2561 งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกรวมซิลิกอนแบบกึ่งโปร่งใสสำหรับการใช้ประโยชน์ทั้งจากพลังงานไฟฟ้าและแสงธรรมชาติภายในอาคาร โดยมีรูปแบบของการเว้นระยะห่างระหว่างเซลล์มีค่าเท่ากับ 12.5 และ 4 cm (แผงที่ 1-3) ตามลำดับ ทำการติดตั้งแผงดังกล่าวบนผนังของอาคารแบบจำลอง ในแนวตั้งฉาก และหันส่วนของผนังด้านที่ ทำการติดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปยังทิศใต้ พบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ หมายเลข 1-3 มีประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 7.27 7.00 และ 6.78% ตามลำดับ และสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 64.6 50.8 และ 43.8 Wh/day ส่วนผล

การทดสอบทางด้านแสงสว่างจากธรรมชาติในอาคารแบบจำลอง พบว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์หมายเลข 3 ที่มีพื้นที่ส่วนโปร่งแสงสูงที่สุดมีค่าความสว่างเฉลี่ยสูงสุด 2,964 lux ในขณะที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์หมายเลข 1 และ 2 ที่มีพื้นที่ส่วนโปร่งแสงน้อยลง มีค่าความสว่างภายในอาคารเพียง 1,049 และ 1,330 lux ตามลำดับ (วิไล, 2019)

Alnaser (2019) ได้ศึกษาระบบ Building Integrated Photovoltaic System (BIPV) ขนาด 8.64 kW สำหรับอาคารในเมือง Awali ได้ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 240 Wp จำนวน 36 แผง โดยนำมาประยุกต์ติดตั้งบนหลังคาที่มุมเอียง 25°C หันหน้าไปทางทิศตะวันตก พบว่าระบบ BIPV สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าในฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อนได้เท่ากับ 11,990 kWh, 13,485.7 kWh และ 14,137 kWh ตามลำดับ ระบบมีประสิทธิภาพเท่ากับ 26.0%, 34.2% และ 37.2% ตามลำดับ ดังแสดงรูปที่ 22 (Gholami et al., 2019)



ภาพที่ 22 การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 240 Wp จำนวน 36 แผง ขนาด 8.64 kW (Gholami et al., 2019)

Alvaro Marucci (2018) ได้ทำการศึกษาการรวมกันของวัตถุประสงค์ทางการเกษตรและพลังงาน: การประเมิน ต้นแบบอุโมงค์เรือนกระจกไฟฟ้าโซลาร์เซลล์ การวิเคราะห์รูปแบบการแรงงาน ได้รับการวิเคราะห์ภายในเรือนกระจกต้นแบบ โดยการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในรูปแบบกระดานหมากรุก แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบยืดหยุ่นโปร่งใส ขนาด 1.116 m × 0.165 m ผลิตขึ้นโดยใช้เซลล์ซิลิกอนโมโนคริสตัลไลน์ที่มีประสิทธิภาพ 18% รวมเข้ากับโพลีเมอร์ที่มีความแข็งแรงสูงความต้านทาน ความแตกต่างและการกระจายของเปอร์เซ็นต์การแรงงานถูกตรวจสอบเกี่ยวกับพื้นที่ผิวที่ได้รับผลกระทบจากหลังคา PV พื้นที่ทั้งหมดและส่วนของเรือนกระจก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง จะสังเกตเห็นความแปรผันของเปอร์เซ็นต์การแรงงานและขนาดของพื้นที่แรงงานในวันที่ 21 ของแต่ละเดือนของเดือนปี ผลการวิจัยพบว่า ความสม่ำเสมอบางอย่างในเปอร์เซ็นต์การแรงงาน โดยหลักแล้วเนื่องจากรูปร่างโค้งของส่วนของเรือนกระจก ตั้งแต่กลางเดือนมีนาคมถึงกลางเดือนกันยายน การแรงงานเกิดขึ้นจริง

และอยู่ภายในอย่างต่อเนื่องเรือนกระจกในเวลากลางวัน ขณะที่บางส่วนอยู่ในและนอกอุโมงค์เรือนกระจกบางส่วนในช่วงเดือนที่เหลือ เปอร์เซ็นต์ของการแรเงาด้วยการจัด PV ที่นำมาใช้ไม่เกิน 40% ในระหว่างปี ดังแสดงรูปที่ 23 (Marucci et al., 2018)



ภาพที่ 23 ต้นแบบอุโมงค์เรือนกระจกไฟฟ้าโซลาร์เซลล์ (Marucci et al., 2018)

บัญชา งามชื่น (2562) ได้ทำการวิเคราะห์ความพร้อมในการผลิตกำลังไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดติดตั้งบนหลังคาขนาดใหญ่ 1 เมกะวัตต์ ด้วยโปรแกรมจำลอง PVsyst และผลการติดตั้งจริงของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 1 เมกะวัตต์ อำเภอแม่กลอง จังหวัดสมุทรสงคราม โดยทำการวิเคราะห์ข้อมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกรวมที่ติดตั้งบนหลังคา เพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลประกอบในการวิเคราะห์สมรรถนะและความพร้อมในการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดติดตั้งบนหลังคา ผลการศึกษาพบว่า ค่ากำลังการผลิตรวมที่ได้จากโปรแกรมจำลอง PVsyst มีค่า 1,452,004 kWh ซึ่งสูงกว่ากำลังการผลิตรวมจริงในปี พ.ศ. 2560 และ 2561 ที่ค่า 1,450,036 kWh และ 1,412,652 kWh โดยมีกำลังการผลิตรวมจริงน้อยกว่า คิดเป็นร้อยละ -0.13 และ -2.7 ซึ่งเป็นผลกระทบทางอ้อมจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิแวดล้อมจากค่าจริงที่ตรวจวัดได้ที่เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 1.61 และ 1.85 ตามลำดับ ทำให้มีค่าอัตราส่วนสมรรถนะที่ลดลงคิดเป็นร้อยละ 0.02 และ 2.08 เป็นผลของการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ตามฤดูกาล ในขณะที่ค่าความพร้อมการผลิตพลังงานไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าในปี พ.ศ. 2560 และ 2561 ที่ร้อยละ 100 และ ร้อยละ 99.97 ซึ่งในเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2561 จะมีค่าต่ำที่ค่าร้อยละ 99.97 ที่ไม่สามารถขายไฟฟ้าได้จากปัญหาอุปกรณ์การเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบกริดของการไฟฟ้าชำรุด ดังนั้นจึงแสดงให้เห็นผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสมรรถนะการผลิตของโรงไฟฟ้ามีความจำเป็นต้องพิจารณาประกอบการออกแบบในอนาคต (ชื่น, 2562)

Phetdavanh Ladthavong (2021) ได้ทำการศึกษาศักยภาพการวิเคราะห์คุณสมบัติทางพลังงาน และแสงสว่างของบานเกล็ดเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสที่ติดตั้งร่วมกับอาคารงานวิจัยนี้ ทำการศึกษาก่อสร้างและใช้บานเกล็ดเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับอาคารทดลอง หน้าต่างบานเกล็ดเซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้นมีจำนวนเซลล์แสงอาทิตย์ 2-4 เซลล์ต่อหนึ่งบานเกล็ด ซึ่งจำนวนเซลล์ที่แตกต่างกันจะส่งผลให้พื้นที่รับแสงและพื้นที่โปร่งแสงของหน้าต่างบานเกล็ดเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าแตกต่างกัน การทดสอบจะทำการปรับมุมบานเกล็ด (วัดเทียบกับพื้นราบ) ที่  $0^\circ$  (เปิดบานเกล็ดทั้งหมด)  $18^\circ$  (เปิดบานเกล็ดบางส่วน) และ  $90^\circ$  (ปิดบานเกล็ดทั้งหมด) จากนั้นทำการศึกษาคูณสมบัติการผลิตพลังงานไฟฟ้าและความสามารถในการระบายอากาศของหน้าต่างบานเกล็ดเซลล์แสงอาทิตย์ รวมทั้งศึกษาปริมาณความสว่างภายในห้องทดสอบ จากการศึกษาพบว่าบานเกล็ดเซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าเท่ากับ 5 -7% โดยบานเกล็ดที่  $3$  สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้ารวมในหนึ่งวันได้สูงสุดเท่ากับ 0.3-0.356 kWh โดยมุมของบานเกล็ดที่  $90^\circ$  เป็นมุมที่ทำให้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้มีค่าสูงสุด เมื่อพิจารณาความร้อนจากการระบายอากาศของห้องทดสอบ พบว่าที่มุม  $0^\circ$  สามารถระบายความร้อนได้ดีที่สุด โดยที่มุม  $90^\circ$  มีค่าความร้อนที่ถ่ายเทผ่านกรอบอาคารและค่าความร้อนภายในห้องต่ำสุด เมื่อพิจารณาผลการส่องสว่างภายในอาคารพบว่ามุมบานเกล็ดทั้งสามมุมจะให้ค่าการส่องสว่างภายในที่สูงกว่าค่ามาตรฐานการส่องสว่างในอาคารสำนักงานที่ 500 Lux ดังแสดงรูปที่ 24 (Ladthavong et al., 2021)

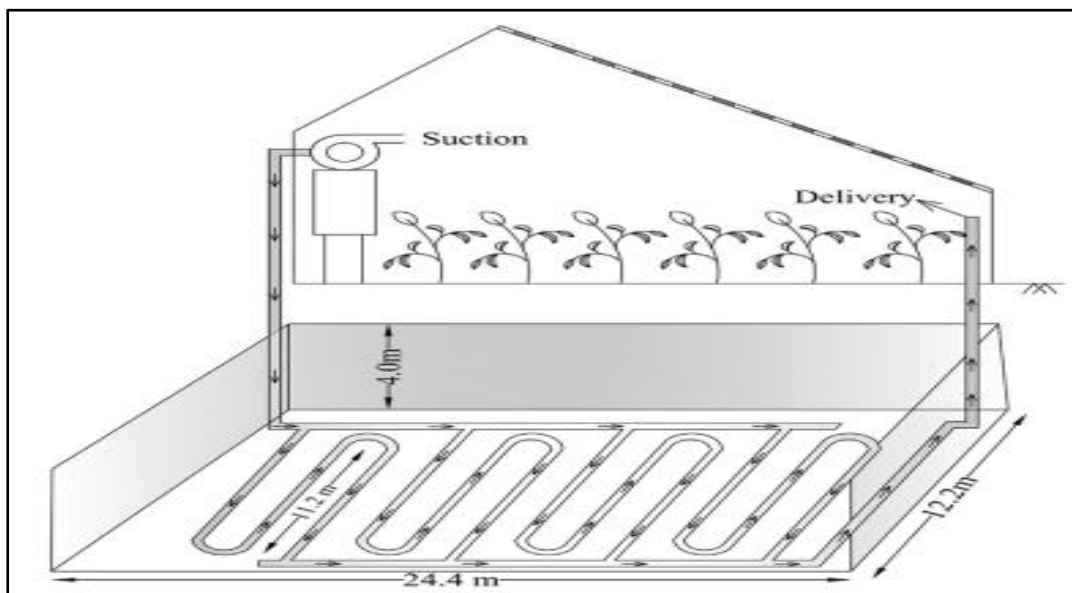


ภาพที่ 24 หน้าต่างบานเกล็ดเซลล์แสงอาทิตย์ (Ladthavong et al., 2021)

Yadav et al. (2022) การวิเคราะห์ระบบระบายความร้อนของโรงเรือนที่ใช้ร่วมกับเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใส (Greenhouse integrated semi-transparent photovoltaic thermal: GiSPVT) โดยเป็นการระบายความร้อนแบบธรรมชาติที่อัตราการไหลของอากาศ  $0.5 \text{ kg/s}$

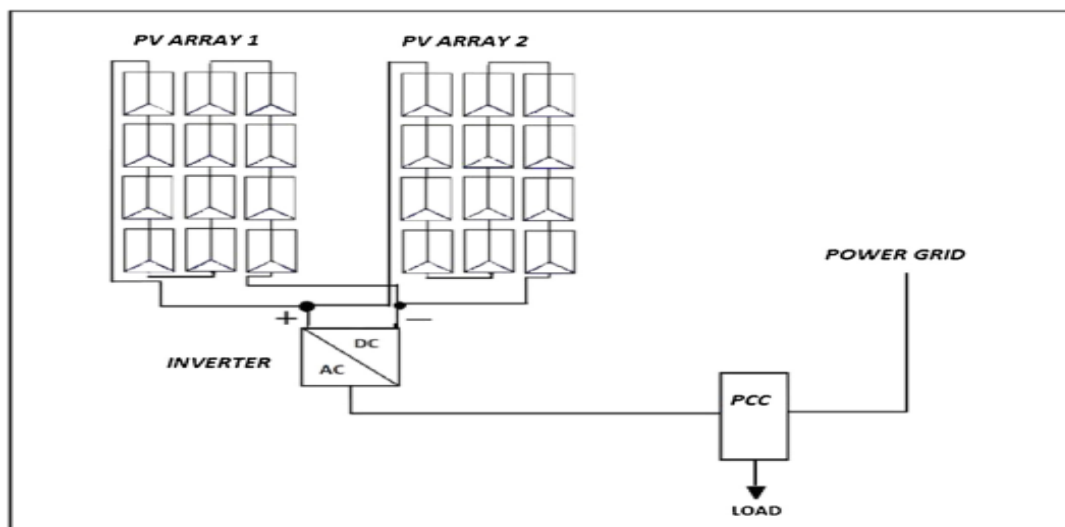


จากการศึกษาพบว่า อุณหภูมิของพืชและอุณหภูมิอากาศในโรงเรือนเพิ่มขึ้น  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$  และ  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ และสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้ 11.74 kW ซึ่งสามารถทำให้ระบบควบคุมความสว่างระบบให้น้ำและปุ๋ยทำงานได้โดยไม่ใช้ไฟฟ้าจากสายส่ง ดังแสดงรูปที่ 25 (Yadav et al., 2022)



ภาพที่ 25 ระบบระบายความร้อนของโรงเรือนที่ใช้ร่วมกับเซลล์แสงอาทิตย์กึ่งโปร่งแสง (Yadav et al., 2022)

Aristizabal and Páez (2017) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของระบบ BIPV ขนาด 6 kW สำหรับอาคารห้องปฏิบัติการ โดยระบบ BIPV ประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกรวมขนาด 250 Wp จำนวน 24 แผงที่เชื่อมต่อกับอินเวอร์เตอร์แบบ on grid ขนาด 5 kW จากการศึกษพบว่า ค่าเฉลี่ยของพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับของระบบเท่ากับ 471 kWh/month ขณะที่ค่าเฉลี่ยรังสีอาทิตย์ 4,048 kWh/m<sup>2</sup>-day ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ย 13.68% และผลผลิตสูงสุดของระบบ (YF) เท่ากับ 88.6 kWh/kWp-yr ดังแสดงรูปที่ 26 (Aristizabal & Páez, 2017)



ภาพที่ 26 ระบบ BIPV ขนาด 6 kW (Aristizábal & Páez, 2017)

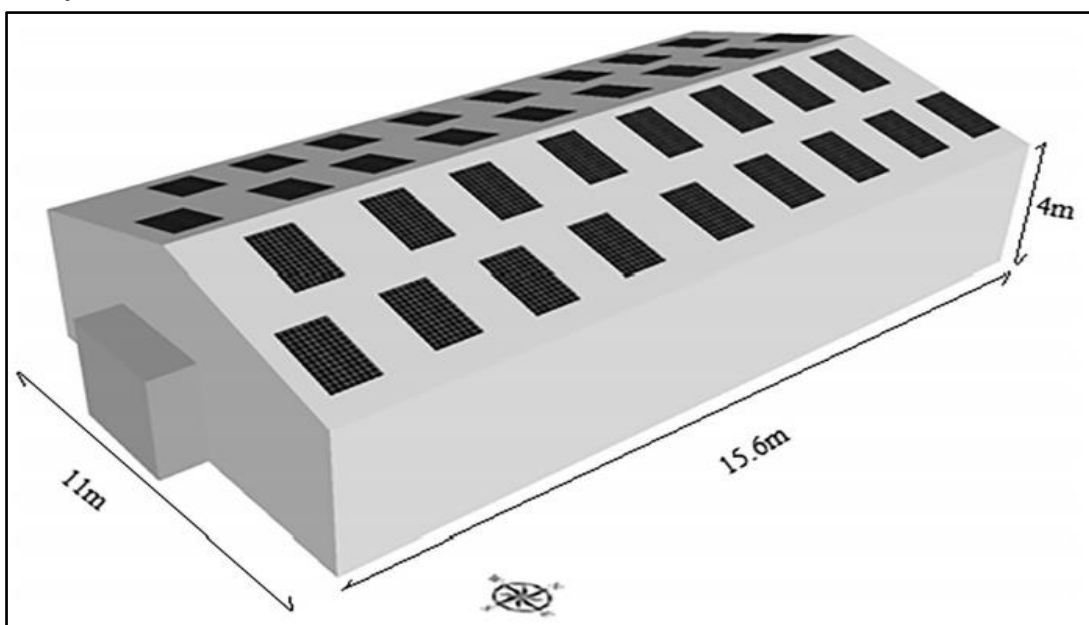
Hassanien et al. (2019) ได้นำแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสขนาด 170 Wp จำนวน 3 แผงติดตั้งบนหลังคาโรงเรียนที่มีความเอียง  $30^{\circ}\text{C}$  ทิศหน้าไปทางทิศใต้ พบว่าสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบ BIPV ได้เท่ากับ 637 kWh/year รังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่าน BIPV ลดลง 35%-40% แต่สามารถลดอุณหภูมิของอากาศในโรงเรียนได้  $1\text{-}3^{\circ}\text{C}$  ในวันที่สภาพอากาศปลอดโปร่ง ดังแสดงรูปที่ 27 (Gholami et al., 2019)



ภาพที่ 27 การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสนบนหลังคา (Gholami et al., 2019)

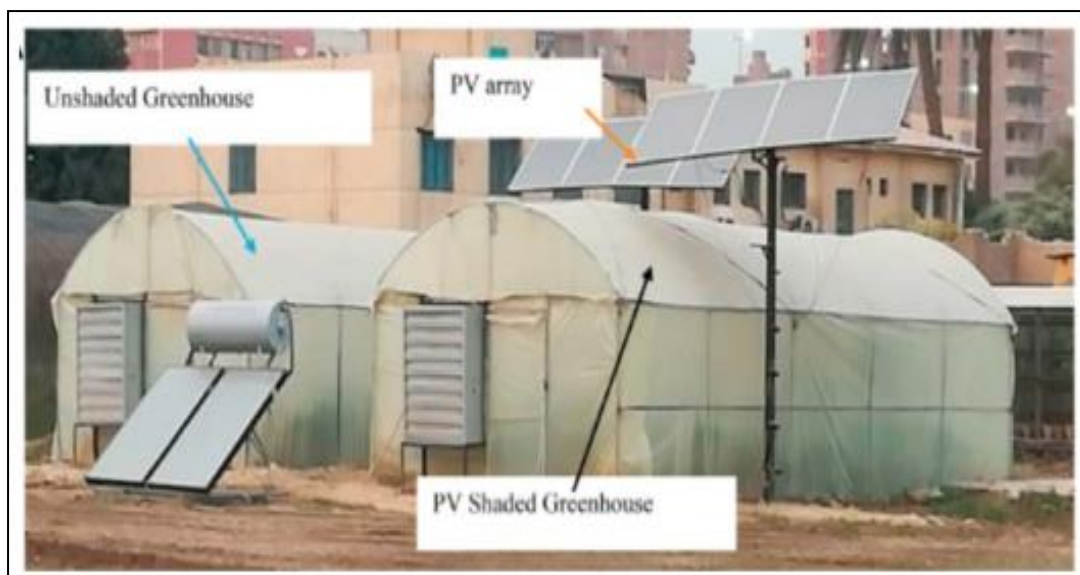
Ezzaeri et al. (2018) ได้นำแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบทึบขนาด 100 Wp จำนวน 132 แผงมาติดตั้งด้านบนหลังคาโรงเรียนวางเป็นแถวแนวอนนการจัดวางในแต่ละแถวและแผงมีการเว้นระยะห่างให้รังสีอาทิตย์ส่องผ่านได้ โรงเรียนที่ใช้ในการศึกษาเป็นแบบคานาเรียนขนาดกว้าง 11 m ยาว 15.6 m และสูง 4 m วางในทิศเหนือ-ใต้ภายในปลุกมะเชื้อเทศ โดยศึกษาผลผลิตของมะเชื้อเทศและสภาพอากาศภายในโรงเรียนนำมาเปรียบเทียบกับโรงเรียนที่ไม่มีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าค่ารังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านเข้ามาภายในโรงเรียนกรณีไม่ติดตั้งและติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่า

ลดลง 49.5% และ 59% ตามลำดับ ในช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อนกรณีติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนต่ำกว่า  $0.75^{\circ}\text{C}$  และ  $3.69^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ มีค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศสูงกว่า 2% และ 7.74% ตามลำดับ สำหรับผลผลิตของมะเขือเทศโรงเรือนที่ติดตั้งโซลาร์เซลล์มีค่าน้อยกว่ากรณีไม่ติดตั้งเท่ากับ 9.3 (tomato/solar radiation/ $\text{m}^2$ ) สำหรับในประเทศไทยได้มีการนำระบบSemi-Transparent PV มาใช้ในภาคเกษตรกรรมโดยการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ดังแสดงรูปที่ 28 (Ezzaeri et al., 2018)



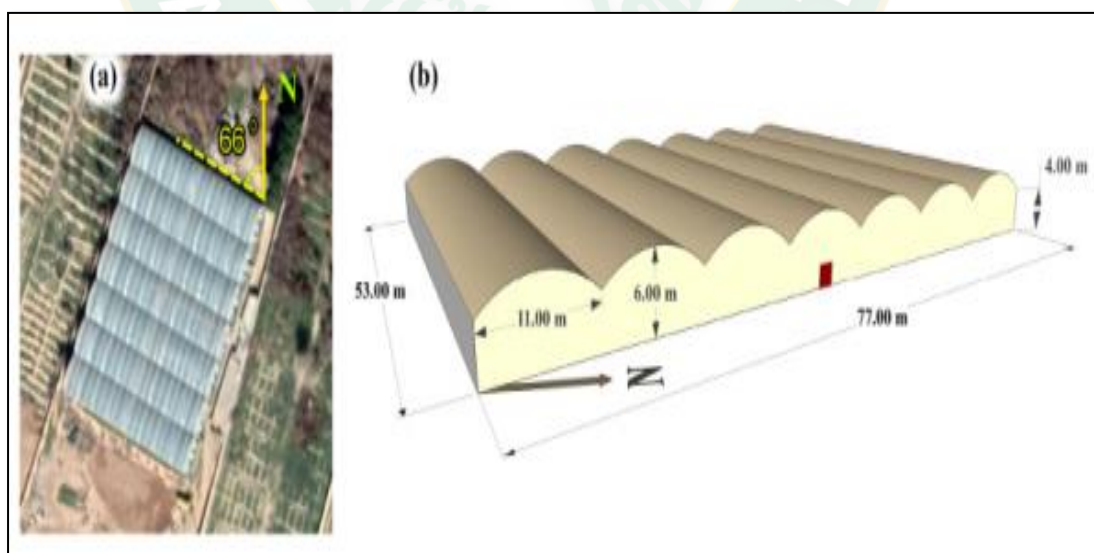
ภาพที่ 28 การนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบที่ติดตั้งด้านบนหลังคาโรงเรือน (Ezzaeri et al., 2018)

Abdelrahman et al., (2022) เป็นการทดลองโดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบที่ติดตั้งบนโรงเรือนโดยสูงจากหลังคาโรงเรือน 1 m เอียง  $25^{\circ}$  หันไปทางทิศใต้ แสดงดังรูปที่ 29 ซึ่งมีผลกระทบต่อค่า PPFD อยู่ที่ 13-26 % ของหลังคาโรงเรือน พบว่าอุณหภูมิอากาศลดลงเล็กน้อย  $1-2^{\circ}\text{C}$  และค่ารังสีอาทิตย์ลดลง 25-40 % แต่ไม่มีผลต่ออุณหภูมิจุดน้ำค้างและความชื้นสัมพัทธ์อากาศ เมื่อเทียบกับโรงเรือนที่ไม่มีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าอยู่ที่  $37.05 \text{ kWh/year}$



ภาพที่ 29 ลักษณะการจัดวางแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของโรงเรือนเพาะปลูก (Poulek et al., 2018)

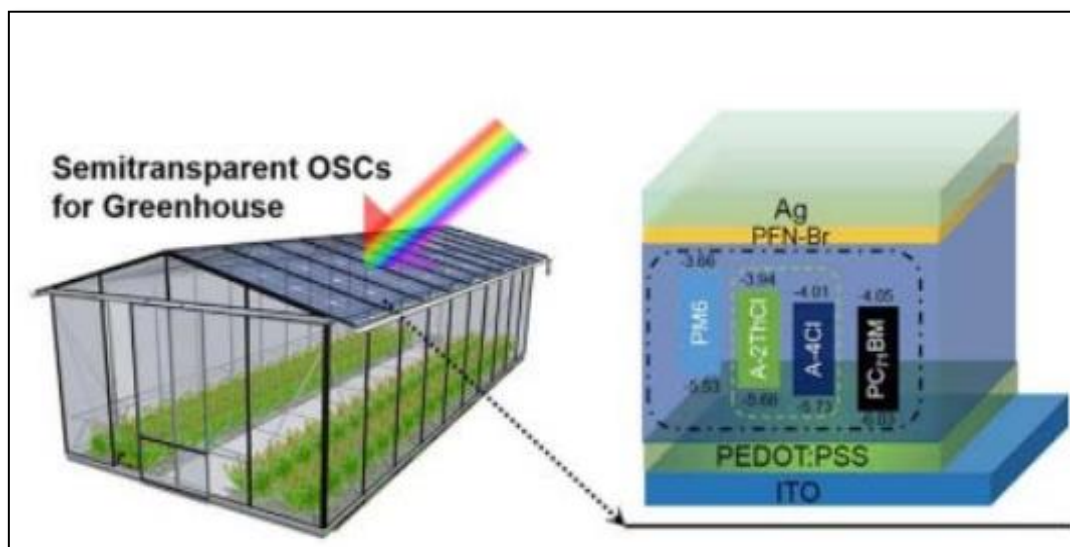
Alinejad et al., (2020) ได้ทำการทดลองการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์กึ่งโปร่งใสที่มีการจัดวางเซลล์ในแบบตารางหมากรูกบนโรงเรือนอุตสาหกรรมที่ชีราซ ประเทศอิหร่าน แสดงดังรูปที่ 30 โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสสูงจากหลังคาโรงเรือน 1 m และทำการวิเคราะห์ผลกระทบต่าง ๆ ที่มีต่อพืช รวมไปถึงปริมาณการใช้ไฟฟ้าและการใช้ก๊าซธรรมชาติพบว่า สามารถลดการใช้ก๊าซธรรมชาติ และพลังงานไฟฟ้าได้ 3.57% และ 45.5% ตามลำดับ ซึ่งหากคิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปีอยู่ที่ประมาณ  $42.7 \text{ kWh/m}^2$  โดยที่ PPFD ในโรงเรือนเพียงพอต่อการเพาะปลูกพืช



ภาพที่ 30 โรงเรือนอุตสาหกรรมที่ชีราซ ประเทศอิหร่าน(Alinejad et al., 2020)

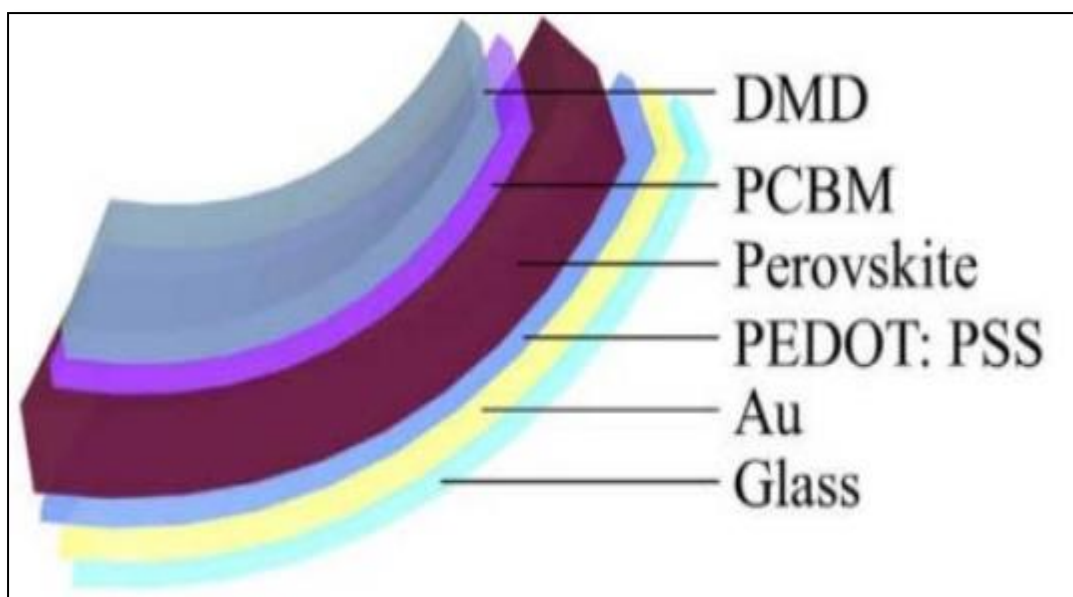
Wang et al (2021) เป็นการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสให้มีประสิทธิภาพสูง ลำหรับการใช้งานในโรงเรือนปลูกพืช ซึ่งพัฒนาออกแบบทางสเปกตรัมเพื่อใช้สำหรับโรงเรือน โดย

เพิ่มควอเตอร์รี และผสม BH จะทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น จะสามารถทำให้พืชมีการเจริญเติบโต 26.3% ประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าอยู่ที่ 17.71% แสดงดังรูปที่ 31



ภาพที่ 31 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสสำหรับโรงเรือนปลูกพืช (Sung et al., 2021)

Xia-li et al (2016) เป็นการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสร่วมกับฟิล์มบางสีแดง โดยชั้นฟิล์มจะประกอบไปด้วย DMD PCBM Perovskite: PSS Au และ Glass โดยทดสอบความแตกต่างความหนาของชั้น Au เพื่อหาเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ร่วมกับฟิล์มบางที่เหมาะสมสำหรับการปลูกพืชดอกที่มีสีแดง และสีเหลือง พบว่าที่ความยาวคลื่น 500-2,000 nm Au ที่ความหนา 3.9 nm แข็งแรงมากที่สุดหากทำการติดตั้งในรัศมีการโค้งที่จะไม่เกิดรอยพับ แต่ประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์อยู่เพียง 15.49 % ในทางกลับกันที่ความหนา 15 nm จะเกิดรอยพับได้ง่าย แต่ประสิทธิภาพพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ที่ 31.61% ซึ่งประสิทธิภาพสูงที่สุด แสดงดังรูปที่ 32



ภาพที่ 32 ชั้นของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสร่วมกับฟิล์มบางสีแดง (Gong et al., 2018)

ตารางที่ 1 สรุปประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัย	ชื่องานวิจัย	ประโยชน์ที่ได้รับ
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (2561)	ศึกษาการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนแบบกึ่งโปร่งใส	แผงเซลล์แสงอาทิตย์หมายเลข 1-3 มีประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 7.27 7.00 และ 6.78% ตามลำดับ และสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 64.6 50.8 และ 43.8 Wh/day
Alnaser (2019)	Building Integrated Photovoltaic System (BIPV) ขนาด 8.64 kW	ระบบ BIPV สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าในฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อนได้เท่ากับ 11,990 kWh, 13,485.7 kWh และ 14,137 kWh ตามลำดับ ระบบมีประสิทธิภาพเท่ากับ 26.0%, 34.2% และ 37.2% ตามลำดับ

ผู้วิจัย	ชื่องานวิจัย	ประโยชน์ที่ได้รับ
Alvaro Marucci (2018)	ศึกษาการรวมกันของ วัตถุประสงค้ทางการเกษตร และพลังงาน	ความสม่ำเสมอเนื่องจากรูปร่าง โค้งของส่วนของเรือนกระจก ตั้งแต่กลางเดือนมีนาคมถึง กลางเดือนกันยายน การแรเงา เกิดขึ้นจริงและอยู่ภายในอย่าง ต่อเนื่องเรือนกระจกในเวลา กลางวัน ขณะที่บางส่วนอยู่ใน และกระจกบางส่วนในช่วง เดือนที่เหลือ เปอร์เซ็นต์ของ การแรเงาด้วยการจัด PV ที่ นำมาใช้ไม่เกิน 40% ใน ระหว่างปี
บัญชา งามชื่น (2562)	การวิเคราะห์ความพร้อมใน การผลิตกำลังไฟฟ้าของ โรงไฟฟ้าพลังงาน	กำลังการผลิตรวมที่ได้จาก โปรแกรมจำลอง PVsyst มีค่า 1,452,004 kWh ซึ่งสูงกว่า กำลังการผลิตรวมจริงในปี พ.ศ. 2560 และ 2561 ที่ค่า 1,450,036 kWh และ 1,412,652 kWh โดยมีกำลัง การผลิตรวมจริงน้อยกว่า คิด เป็นร้อยละ -0.13 และ -2.7
Phetdavanh Ladthavong (2021)	ศึกษาการวิเคราะห์คุณสมบัติ ทางพลังงานและแสงสว่างของ บานเกล็ดเซลล์แสงอาทิตย์ แบบกึ่งโปร่งใส	บานเกล็ดเซลล์แสงอาทิตย์มี ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้า เท่ากับ 5 -7% โดยบานเกล็ดที่ 3 สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้า รวมในหนึ่งวันได้สูงสุดเท่ากับ 0.3-0.356 kWh โดยมุมของ บานเกล็ดที่ 90° เป็นมุมที่ทำให้ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้มี

ผู้วิจัย	ชื่องานวิจัย	ประโยชน์ที่ได้รับ
		ค่าสูงสุด เมื่อพิจารณาความร้อนจากการระบายอากาศของห้องทดสอบ
Yadav et al. (2022)	การวิเคราะห์ระบบระบายความร้อนของโรงเรือนที่ใช้ร่วมกับเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใส	อุณหภูมิของพืช และอุณหภูมิอากาศในโรงเรือนเพิ่มขึ้น 4 °C และ 5 °C ตามลำดับ และสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้ 11.74 kW ซึ่งสามารถทำให้ระบบควบคุมความสว่างระบบให้น้ำให้ ปุ๋ย ทำงานได้โดยไม่ใช้ไฟฟ้าจากระบบสายส่ง
Aristizabaland Paez (2017)	ศึกษาประสิทธิภาพของระบบ BIPV ขนาด 6 kW สำหรับอาคารห้องปฏิบัติการ	ค่าเฉลี่ยของพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับของระบบเท่ากับ 471 kWh/month ขณะ ที่ค่าเฉลี่ยรังสีอาทิตย์ 4,048 kWh/m <sup>2</sup> -day ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ย 13.68% และผลผลิตสุดของระบบ (YF) เท่ากับ 88.6 kWh/kWp-year
Hassanien et al. (2019)	การนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสขนาด 170 Wp จำนวน 3 แผงติดตั้งบนหลังคาโรงเรือนที่มีความเอียง 30°C	สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบ BIPV ได้เท่ากับ 637 kWh/year รังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่าน BIPV ลดลง 35%-40% แต่สามารถลดอุณหภูมิของอากาศในโรงเรือนได้ 1-3°C ในวันที่สภาพอากาศปลอด



ผู้วิจัย	ชื่องานวิจัย	ประโยชน์ที่ได้รับ
Ezzaeri et al. (2018)	การนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบทึบ ขนาด 100 Wp จำนวน 132 แผง มาติดตั้งด้านบนหลังคาโรงเรือน	โปร่ง ค่ารังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านเข้ามาภายในโรงเรือนกรณีไม่ติดตั้งและติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าลดลง 49.5% และ 59% ตามลำดับ ในช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อนกรณีติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนต่ำกว่า $0.75^{\circ}\text{C}$ และ $3.69^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ
Abdelrahman et al (2022)	การทดลองโดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบทึบติดตั้งข้างโรงเรือน	อุณหภูมิอากาศลดลงเล็กน้อย $1-2^{\circ}\text{C}$ และค่ารังสีอาทิตย์ลดลง 25-40 % แต่ไม่มีผลต่ออุณหภูมิจุดน้ำค้างและความชื้นสัมพัทธ์อากาศ เมื่อเทียบกับโรงเรือนที่ไม่มีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าอยู่ที่ 37.05 kWh/year
Alinejad et al (2020)	การทดลองการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์กึ่งโปร่งใสที่มีการจัดวางเซลล์ในแบบตารางหมากรุกบนโรงเรือนอุตสาหกรรม	สามารถลดการใช้ก๊าซธรรมชาติ และพลังงานไฟฟ้าได้ 3.57% และ 45.5% ตามลำดับ ซึ่งหากคิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปีอยู่ที่ประมาณ $42.7 \text{ kWh/m}^2$ โดยที่ PPFD ในโรงเรือนเพียงพอต่อการเพาะปลูกพืช

ผู้วิจัย	ชื่องานวิจัย	ประโยชน์ที่ได้รับ
Wang et al (2021)	การทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสให้มีประสิทธิภาพสูงสำหรับการใช้งานในโรงเรือนปลูกพืช	ทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น จะสามารถทำให้พืชมีการเจริญเติบโต 26.3% ประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าอยู่ที่ 17.71%
Xia-li et al (2016)	การทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสร่วมกับฟิล์มบางสีแดง	พบว่าที่ความยาวคลื่น 500 - 2,000 nm Au ที่ความหนา 3.9 nm แข็งแรงมากที่สุดหากทำการติดตั้งในรัศมีการโค้งที่ไม่เกิดรอยพับ แต่ประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์อยู่เพียง 15.49% ในทางกลับกันที่ความหนา 15 nm จะเกิดรอยพับได้ง่าย โดยประสิทธิภาพพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่า 31.6% ซึ่งเป็นประสิทธิภาพสูงที่สุด

### บทที่ 3

#### อุปกรณ์และวิธีการดำเนินงานวิจัย

การศึกษาสมรรถนะระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดกึ่งโปร่งใสสำหรับโรงเรือนปลูกพืช แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 เป็นการทดลองสีของฟิล์มและรูปแบบการจัดวางเซลล์ในการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์กึ่งโปร่งใสเพื่อให้ได้รูปแบบที่เหมาะสมและสร้างสมการในการทำนายประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใส ส่วนที่ 2 เป็นการนำแผงที่ได้จากส่วนที่ 1 ไปติดตั้งบนโรงเรือนปลูกสตอเบอร์รี่จริงและประเมินความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ ในการดำเนินงานวิจัยมีรายละเอียดอุปกรณ์ และเครื่องมือวัดดังต่อไปนี้

#### 3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

##### 3.1.1 ฟิล์ม

ฟิล์มที่ใช้ติดกระจกเพื่อการทดสอบปริมาณแสงที่ผ่านเข้าไปในโรงเรือนทดสอบซึ่งเป็นฟิล์มสีแดงและฟิล์มสีน้ำเงิน ดังแสดงในรูปภาพที่ 33



ภาพที่ 33 ฟิล์มที่ใช้ในการทดสอบ

### 3.1.2 กระดาษ

เป็นกระดาษแข็งที่ใช้ในการจำลองเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ตัดให้ได้ขนาดพื้นที่  $15.6 \text{ cm}^2$  /เซลล์  
ดังแสดงในรูปภาพที่ 34



ภาพที่ 34 กระดาษแข็งที่ใช้ในการจำลองเป็นเซลล์แสงอาทิตย์

### 3.1.3 กระจกใส

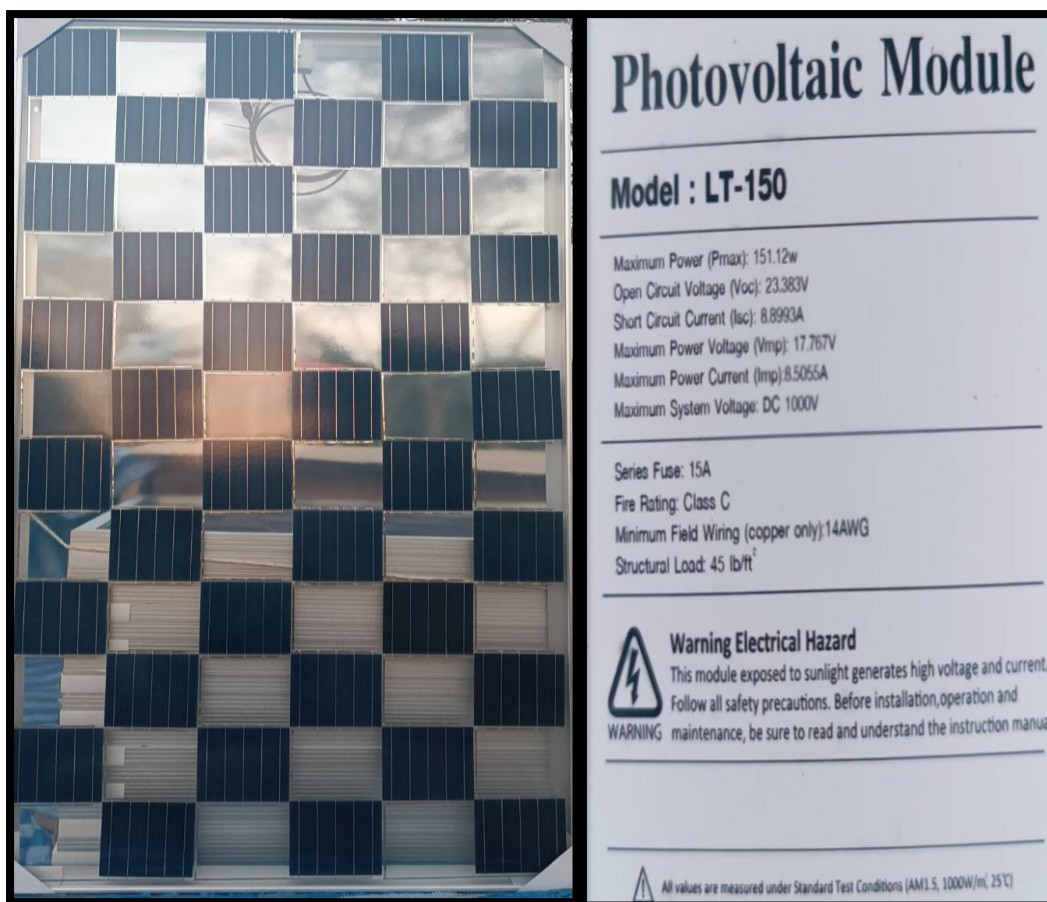
กระจกที่ใช้เป็นกระจกใสใช้ในการจำลองเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด  $2 \text{ m}^2$  เพื่อติดตั้งบน  
โครงเรือนทดสอบ ดังแสดงในรูปภาพที่ 35



ภาพที่ 35 กระจกใสใช้ในการจำลองเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์

#### 3.1.4 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใส

แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสแบบผลึกรวม (Polycrystalline Silicon) โมเดล LT-150 ขนาดกำลังผลิต 151.12 W ดังภาพที่ 36 ใช้สำหรับติดตั้งบนหลังคาโรงเรือนปลูกพืช



ภาพที่ 36 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใส

### 3.1.5 อินเวอร์เตอร์

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดกึ่งโปร่งใสจะผ่านอินเวอร์เตอร์ ยี่ห้อ Sofar Solar รุ่น Sofar 5KTLM-G3 มีกำลังไฟฟ้าขาออกสูงสุด 5 KW เพื่อแปลงจากไฟฟ้ากระแสตรงไปเป็นกระแสสลับแล้วจ่ายให้แก่อุปกรณ์ในโรงเรียนร่วมกับการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าพื้นฐาน อินเวอร์เตอร์แสดงดังภาพที่ 37



ภาพที่ 37 อินเวอร์เตอร์

### 3.1.6 ป้อนสำหรับหมุนเวียนน้ำ

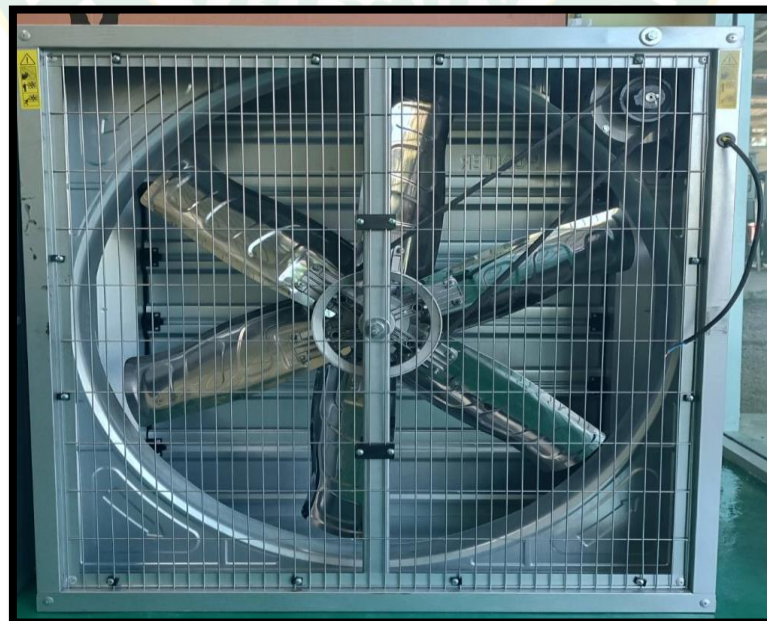
ปั้มน้ำไฟฟ้ากระแสสลับ ยี่ห้อ NASH รุ่น TCP158 กำลังไฟฟ้า 750 W อัตราการไหลสูงสุด 105 L/min สามารถส่งน้ำได้สูงสุด 33 m แสดงดังภาพที่ 38 ใช้สำหรับหมุนเวียนน้ำในโรงเรือนปลูกพืช



ภาพที่ 38 ปืนสำหรับหมุนเวียนน้ำ

### 3.1.7 พัดลมระบายอากาศ

พัดลมระบายอากาศกระแสดับ ขนาด 36 นิ้ว กำลังไฟฟ้า 750 W มีอัตราการระบายอากาศที่ 20,800 m<sup>3</sup>/h ใช้สำหรับระบายความร้อนภายในโรงเรือนปลูกพืช ดังภาพที่ 39



ภาพที่ 39 พัดลมระบายอากาศ

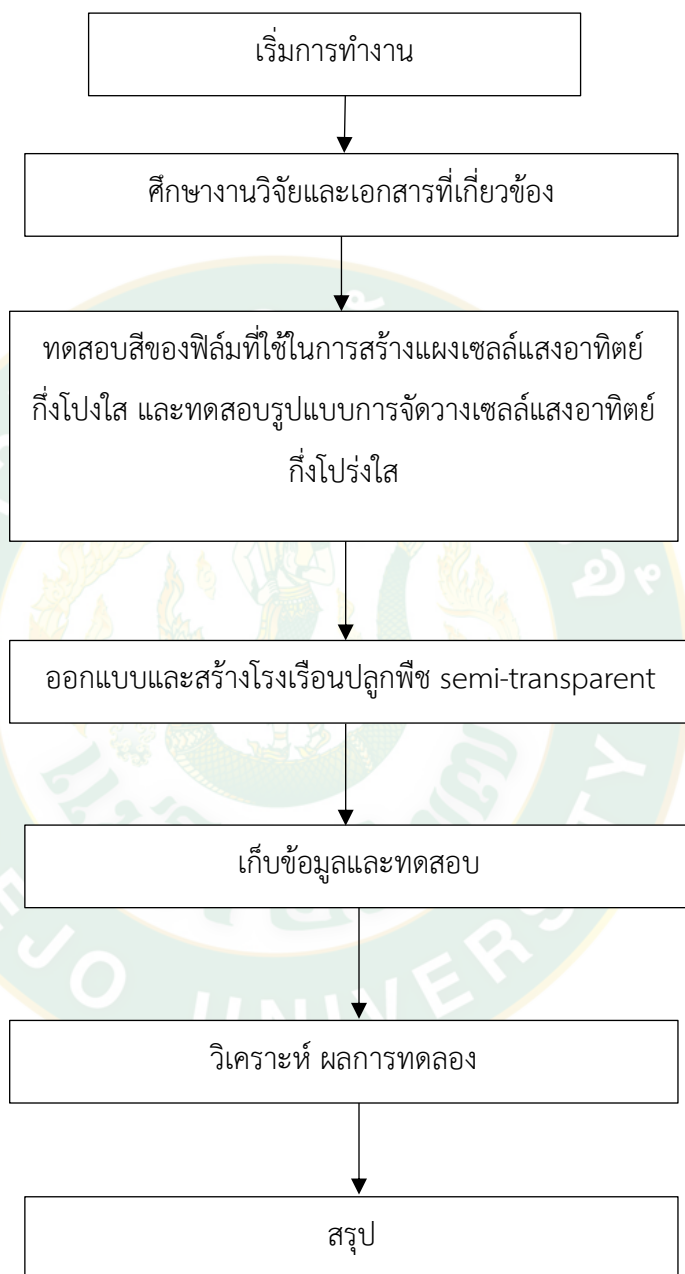


ตารางที่ 2 อุปกรณ์ในการตรวจวัดที่ใช้ในงานวิจัย

อุปกรณ์	คุณสมบัติ	การใช้งาน	รูปภาพตัวอย่าง
Data logger GSP-6 ELITECH	ความแม่นยำในการ ตรวจจับความชื้น 10 % ถึง 99 % ความแม่นยำในการ ตรวจวัดอุณหภูมิ -40 ถึง 85°C	ใช้ตรวจวัด อุณหภูมิและ ความชื้น สัมพัทธ์	
Spectrophotometer PG100N UPRtek	ช่วงความยาวคลื่น 350- 780 nm	ใช้วัดปริมาณ แสงที่พืช ต้องการในการ สังเคราะห์แสง	
GL240 Midi LOGGER GRAPHTEC	Data logger ขนาดเล็ก มีช่อง Input เชื่อมต่อ กับอุปกรณ์ต่างๆ	เก็บข้อมูล ต่างๆ กัน สัญญาณ รบกวน	
Pyranometer apogee instruments	0-1200 W/m <sup>2</sup>	ตรวจวัดความ เข้มเข้มรังสี อาทิตย์	
PV Analyzer ยี่ห้อ PROVA รุ่น 210	DC Voltage Measurement: Range 0-60 V: Accuracy ± 1% DC Current Measurement: Range 0.01-6A :	เครื่อง วิเคราะห์ พลังงาน แสงอาทิตย์ (PV Analyzer)	

### 3.2 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

ในงานวิจัยการศึกษาศักยภาพระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดกึ่งโปร่งใสสำหรับโรงเรือนปลูกพืชมีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยแสดงดังภาพที่ 40 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



ภาพที่ 40 ขั้นตอนวิธีการดำเนินงานวิจัย

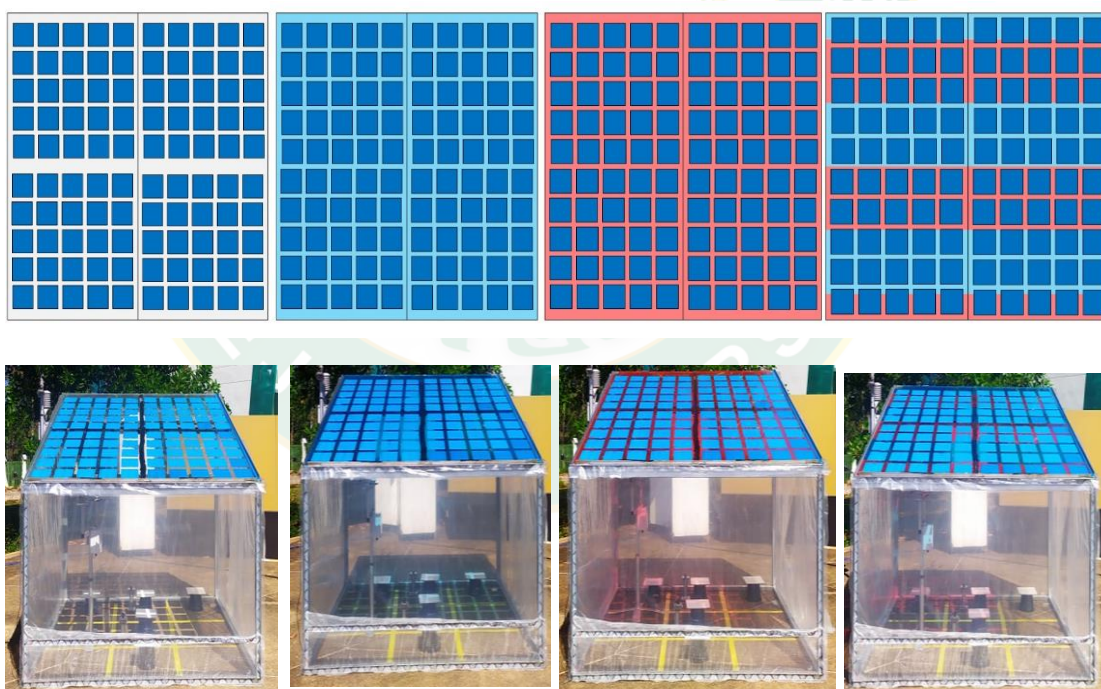
### ขั้นตอนที่ 1 ศึกษางานวิจัยและเอกสารที่เกี่ยวข้อง

ทำการศึกษาบทความวิจัยที่เกี่ยวข้อง และมีความใกล้เคียงกับงานวิจัยที่จะทำการศึกษา และ ทำการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการติดตั้งแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ อาทิเช่น หลักการทำงานของแผง เซลล์แสงอาทิตย์ การสะท้อนและหักเหของแสง คุณภาพของแสง อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ใน โรงเรือน เป็นต้น

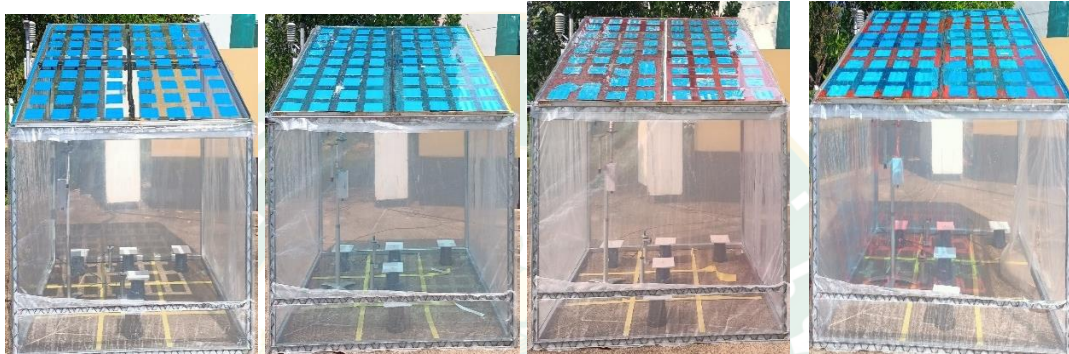
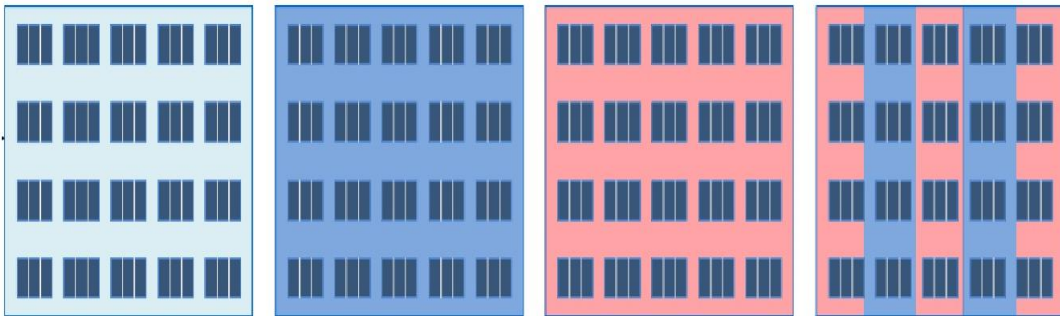
### ขั้นตอนที่ 2 ทดสอบสีของฟิล์มที่ใช้ในการสร้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์กึ่งโปร่งใสและรูปแบบการจัดวาง เซลล์แสงอาทิตย์

#### 1. ศึกษาสีของฟิล์ม

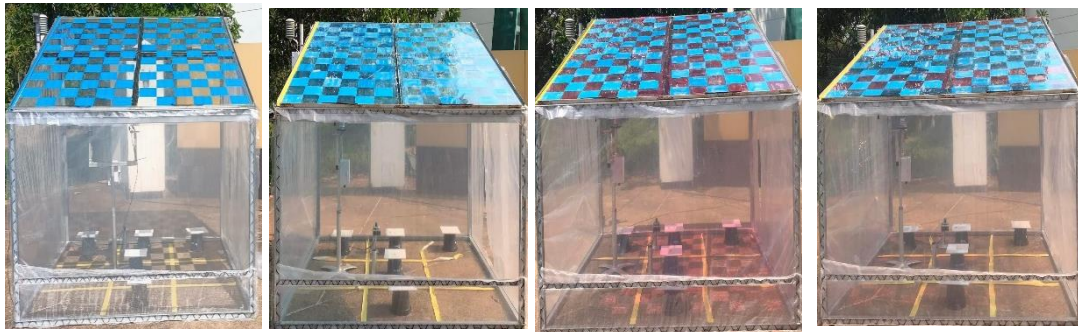
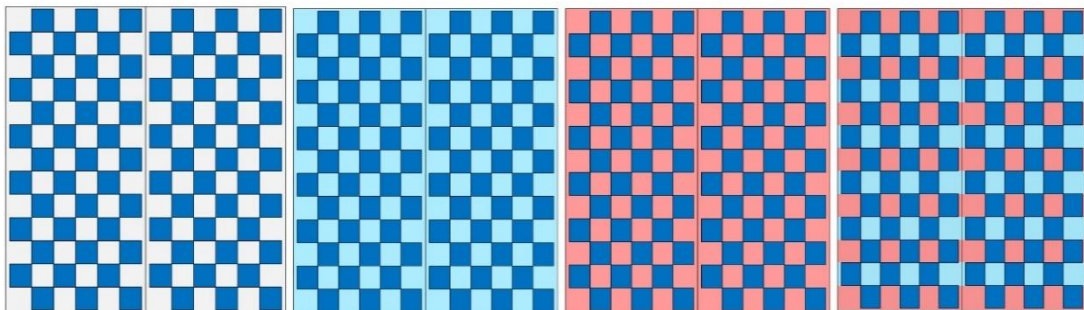
ทำการศึกษาสีของวัสดุโปร่งใสหรือฟิล์มโดยนำมาติดบริเวณกระจกที่อยู่ด้านหลังของ Solar cell การศึกษาฟิล์มแบ่งออกเป็น 4 รูปแบบ ได้แก่ ไม่มีการติดฟิล์ม, ฟิล์มสีน้ำเงิน, ฟิล์มสีแดง และ ฟิล์มสีแดงสลับน้ำเงิน จากนั้นทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 9:00-16:00 น. เพื่อศึกษาสีของฟิล์มที่ใช้ในการสร้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์กึ่งโปร่งใสที่เหมาะสมกับการปลูกสตรอเบอร์รี่ ดังภาพที่ 41



(ก) แบบเว้นระยะห่างแบบที่ 1



(ข) แบบเว้นระยะห่างแบบที่ 2

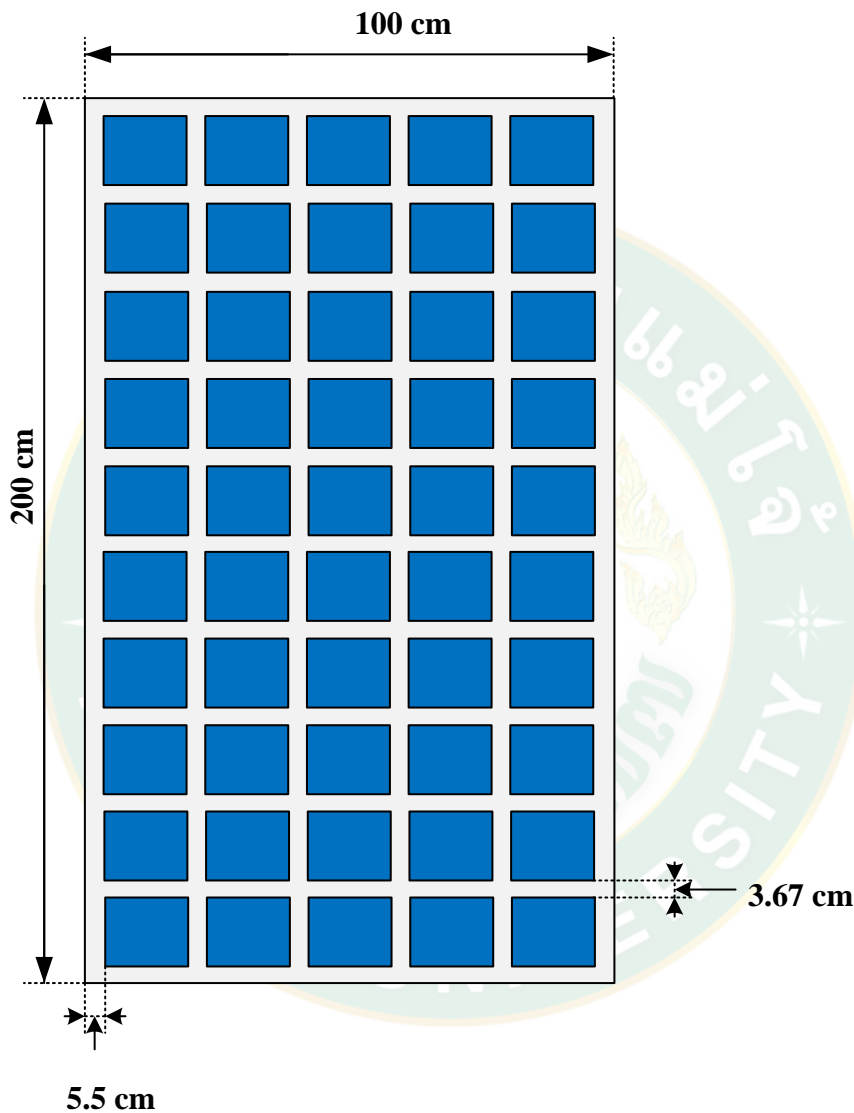


(ค) แบบหมากรุก

ภาพที่ 41 การทดสอบสีของฟิล์มที่ใช้ในการสร้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์กึ่งโปร่งใส

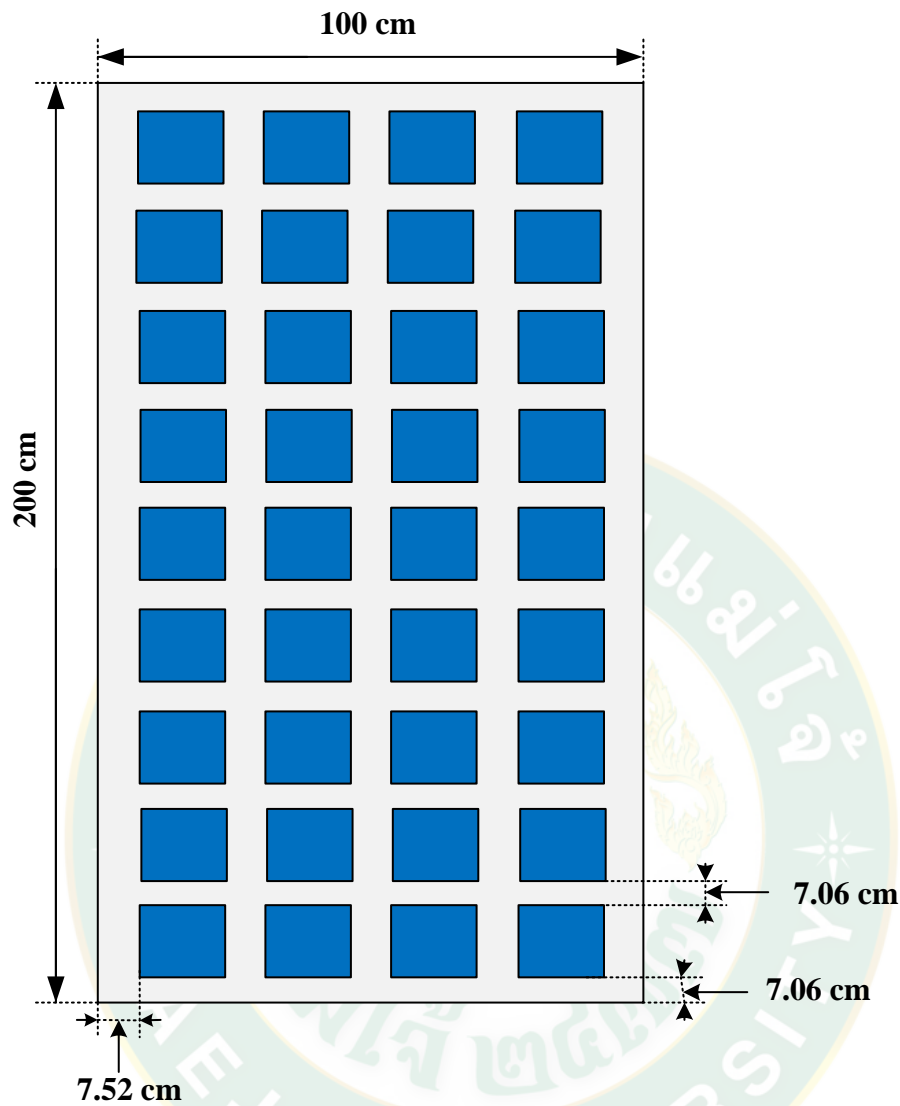
## 2. การจัดวางเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใส

การจัดวางเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสมีทั้งหมด 3 รูปแบบคือ รูปแบบการจัดวางเซลล์แบบเว้นระยะห่างแบบที่ 1 รูปแบบการจัดวางเซลล์แบบเว้นระยะห่างแบบที่ 2 และรูปแบบการจัดวางเซลล์แบบหมากกรุก มีรายละเอียดดังนี้



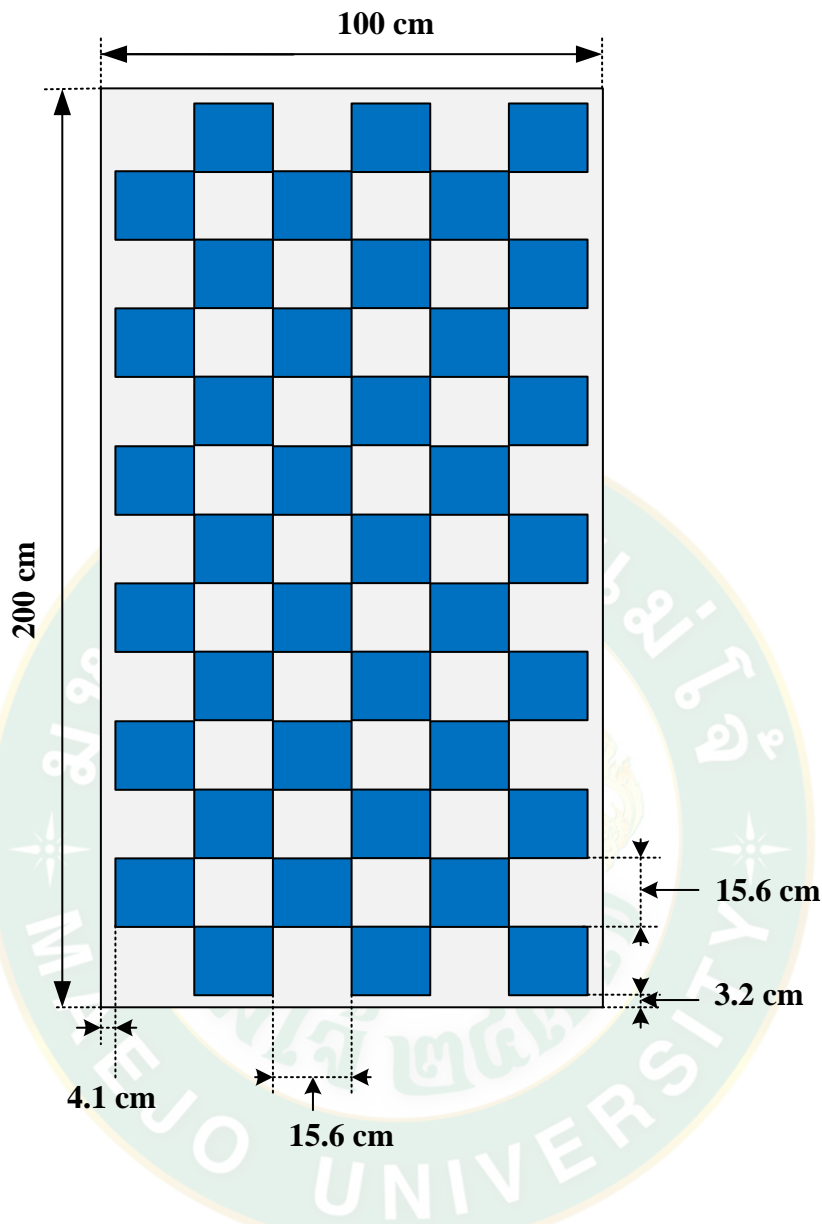
ภาพที่ 42 รูปแบบการจัดวางเซลล์แสงอาทิตย์แบบเว้นระยะห่างแบบที่ 1

จากภาพที่ 42 เป็นการจัดวางเซลล์แสงอาทิตย์แบบเว้นระยะห่างแบบที่ 1 ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใส โดยเรียงเซลล์ให้ชิดกัน 5 แถว และเว้นระยะห่างไว้ประมาณ 5.5 cm แต่ละแถวมีระยะห่างที่ 3.67 cm โดยรูปแบบนี้จะใช้เซลล์ 50 เซลล์ต่อกระจกใส 1 แผ่น มีขนาด 2 m<sup>2</sup>



ภาพที่ 43 รูปแบบการจัดวางเซลล์แสงอาทิตย์แบบเว้นระยะห่างแบบที่ 2

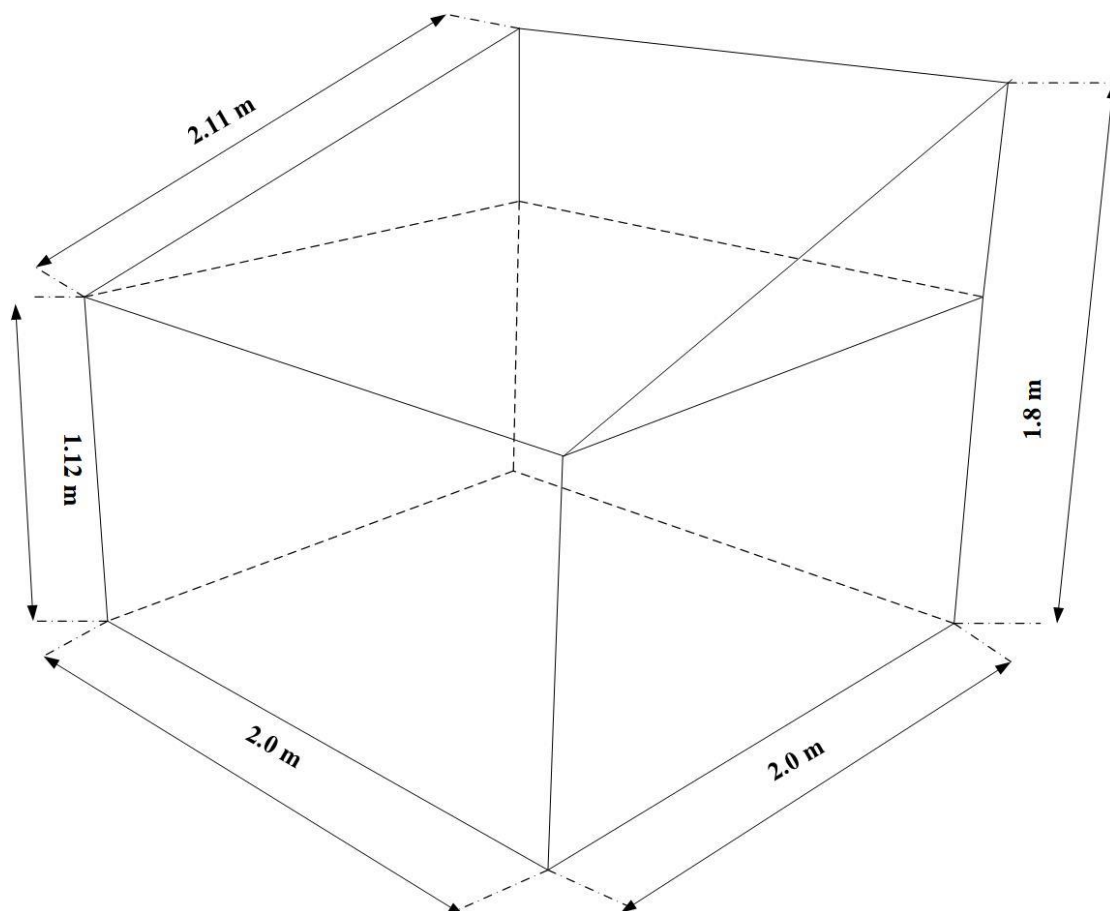
ภาพที่ 43 เป็นการจัดวางเซลล์แสงอาทิตย์แบบเว้นระยะห่างแบบที่ 2 ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกิ่งโปร่งใส โดยเรียงเซลล์ให้ชิดกัน 4 แถว และเว้นระยะห่างไว้ประมาณ 7.06 cm แต่ละแถวมีระยะห่างที่ 7.52 cm โดยรูปแบบนี้จะใช้เซลล์อยู่ที่ 36 เซลล์ต่อกระจกใส 1 แผ่น มีขนาด  $2 \text{ m}^2$



ภาพที่ 44 รูปแบบการจัดวางเซลล์แบบหมากรุก

ภาพที่ 44 รูปแบบการจัดวางเซลล์แบบหมากรุกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใส โดยเรียงเซลล์สลับเว้นไปมา ซึ่งระยะห่างที่ 15.6 cm เท่ากัน โดยรูปแบบนี้จะใช้เซลล์อยู่ที่ 36 เซลล์ ต่อกระจกใส 1 แผ่น มีขนาด  $2 \text{ m}^2$

นำแผงแต่ละรูปแบบไปติดตั้งบนหลังคาโรงเรือนจำลองขนาดกว้าง 2 m ยาว 2 m สูง ด้านหน้า 1.12 m ส่วนด้านหลังสูง 1.8 m หลังคา กว้าง 2 m ยาว 2.1 m โดยหลังคาโรงเรือนเอียง ประมาณ  $18^\circ$  หันหน้าไปทางทิศใต้ดังภาพที่ 45











ภาพที่ 45 โรงเรือนทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์กึ่งโปร่งใส

จากนั้นทำการติดตั้งเครื่องมือวัดค่ารังสีอาทิตย์หรือไพรานอมิเตอร์ (Model: Apogee SP-110) จำนวน 4 จุด แบ่งเป็น บริเวณนอกโรงเรือนทดสอบจำนวน 2 จุด ได้แก่ ทดสอบในระนาบที่  $0^\circ$  และ ตามมุมหลังคาแนวเอียงของโรงเรือน  $18^\circ$  ของโรงเรือน และบริเวณด้านในโรงเรือน 2 จุด ได้แก่ บริเวณกลางโรงเรือน (Point 2) และบริเวณด้านหลังของโรงเรือนซึ่งเป็นบริเวณที่มีเงาจากการศึกษา ระยะของเซลล์ตกกระทบ (Point 4) โดยค่ารังสีอาทิตย์ที่วัดได้จะนำไปวิเคราะห์ปริมาณค่ารังสีอาทิตย์ที่สามารถส่องผ่านเข้าสู่โรงเรือน ทิศทางการเกิดเงาในโรงเรือนเนื่องมาจากการบังเงาของเซลล์ และ ตรวจวัดอุณหภูมิแวดล้อม ความชื้นอากาศในโรงเรือน (Point 2) อุณหภูมิแวดล้อม ความชื้นอากาศ นอกโรงเรือน 1 จุด ด้วยเครื่องมือวัด GSP-6 ELITECH ทำการเก็บข้อมูลทุก ๆ 5 นาที ดังภาพที่ 46

สำหรับพารามิเตอร์วัดคุณภาพแสงประกอบด้วยการวัดค่า Photosynthetic Photon Flux Density (PPFD) และค่าความส่องสว่าง ซึ่งเป็นค่าปริมาณแสงในช่วงที่พืชสามารถใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงได้ โดยใช้เครื่องวัด Spectrophotometer (Model: UPRtek's PG100N) โดยมีจุดวัดทั้งหมด 6 จุด ได้แก่บริเวณด้านนอกและด้านในโรงเรือน 5 จุดคือ จุดที่ 1, 2, 3, 4 และจุดที่ 5 ทำการเก็บข้อมูลทุก ๆ 30 นาที ดังภาพที่ 46





<p style="text-align: center;"><b>3</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>PPFD &amp; Lux</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>4</b></p>   <p style="text-align: center;"><b>PPFD &amp; Lux</b>      <b>IT</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>5</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>PPFD &amp; Lux</b></p>
	   <p style="text-align: center;"><b>PPFD &amp; Lux</b>      <b>IT</b>      <b>Temp &amp; RH</b></p> <p style="text-align: center;"><b>2</b></p>	
	<p style="text-align: center;"><b>1</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>PPFD &amp; Lux</b></p>	

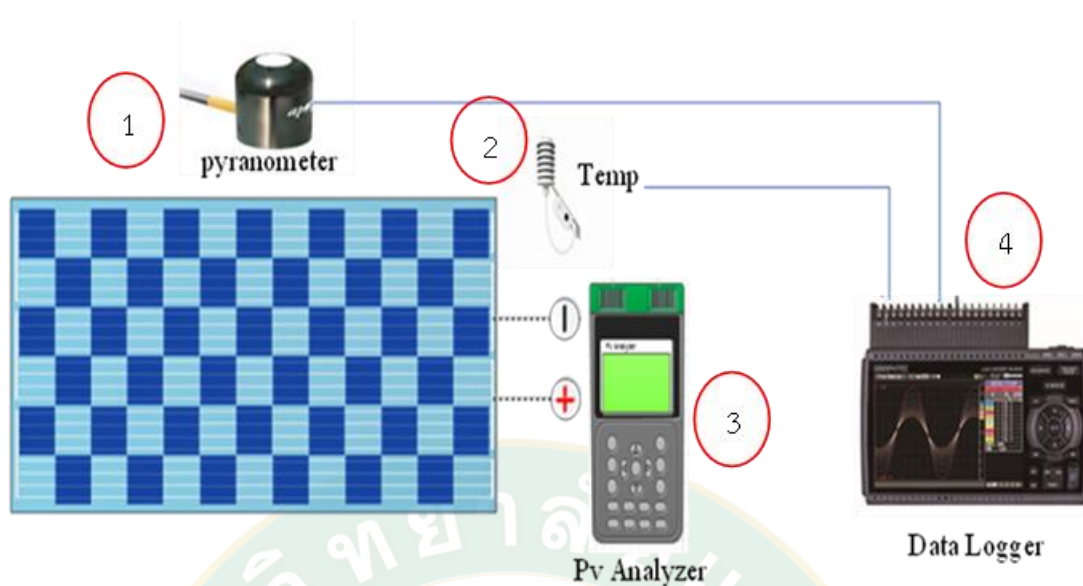
ภาพที่ 46 จุดวัดพารามิเตอร์กรณีศึกษาการจัดวางเซลล์และสีของฟิล์ม

ตารางที่ 3 จุดวัดพารามิเตอร์กรณีศึกษาการจัดวางเซลล์และสีของฟิล์ม

จุดวัด	รายละเอียด
ด้านนอก	ค่ารังสีอาทิตย์ 2 จุดคือ แนวระนาบที่ $0^\circ$ และ ตามมุมหลังคาแนวเอียงของโรงเรือน $18^\circ$
	อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อากาศ 1 จุด
	ค่าปริมาณแสงและค่าความส่องสว่าง 1 จุด
Point 1	จุดวัดปริมาณแสงและค่าความส่องสว่าง ด้านในโรงเรือนจำลองจุดที่ 1
Point 2	จุดวัดปริมาณแสงและค่าความส่องสว่าง ด้านในโรงเรือนจำลองจุดที่ 2
	ค่ารังสีอาทิตย์บริเวณกลางโรงเรือน
	อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อากาศด้านในโรงเรือน
Point 3	จุดวัดปริมาณแสงและค่าความส่องสว่าง ด้านในโรงเรือนจำลองจุดที่ 3
Point 4	จุดวัดปริมาณแสงและค่าความส่องสว่าง ด้านในโรงเรือนจำลองจุดที่ 4
	ค่ารังสีอาทิตย์บริเวณด้านหลังโรงเรือน
Point 5	จุดวัดปริมาณแสงและค่าความส่องสว่าง ด้านในโรงเรือนจำลองจุดที่ 5

### ขั้นตอนที่ 3 สร้างสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ทำนายการผลิตไฟฟ้าที่ผลิตได้

ขั้นตอนการสร้างความสัมพันธ์สมการ เมื่อได้รูปแบบแผงที่เหมาะสมแล้วจากการทดสอบใน ส่วนที่ 2 โดยแผงที่ใช้มีขนาด  $2 \text{ m}^2$  ประกอบด้วยการวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า ได้แก่ ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด และค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด โดยอาศัยเครื่อง PV Analyzer สำหรับบันทึกข้อมูลค่าสมรรถนะทางไฟฟ้าต่างๆ ที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใส นอกจากค่าทางไฟฟ้ายังมีการเก็บค่ารังสีอาทิตย์และค่าอุณหภูมิแวดล้อม ดังภาพที่ 47



ภาพที่ 47 การทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใส

ตารางที่ 4 การแสดงจุดตรวจวัดข้อมูลต่าง ๆ

จุดวัด	รายละเอียด
Point 1	ค่ารังสีอาทิตย์
Point 2	ค่าอุณหภูมิแวดล้อม
Point 3	ค่าทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสแบบหมากรุก
Point 4	เครื่องบันทึกข้อมูล

โดยค่ารังสีอาทิตย์ที่ใช้เป็นตัวแทนของแต่ละเดือนใช้ข้อมูลจากโปรแกรมจำลองทางคณิตศาสตร์การผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ (TDETLab, 2562) ซึ่งข้อมูลค่ารังสีอาทิตย์ที่นำมาทำการทำนายการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสเป็นข้อมูลตัวแทนรายชั่วโมงของแต่ละเดือนในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ข้อมูลตัวแทนค่ารังสีอาทิตย์รายเดือนแต่ละชั่วโมง

Intensity												
Time	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
7.00	179	231	244	237	266	354	387	380	316	191	108	130
8.00	389	455	462	439	403	515	546	546	489	348	285	325
9.00	601	675	678	642	553	649	675	678	630	478	469	527
10.00	775	853	852	809	687	745	764	768	728	580	627	701

Intensity												
Time	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
11.00	879	953	952	910	770	797	807	811	778	662	730	813
12.00	892	957	959	925	784	802	802	802	775	674	757	842
13.00	813	864	870	851	727	759	748	742	721	616	703	781
14.00	655	692	704	703	610	617	650	637	617	516	578	644
15.00	450	473	492	508	456	545	514	492	473	397	407	456
16.00	236	248	272	302	322	388	350	317	297	248	222	252
17.00	47	53	81	119	175	212	168	125	101	80	54	67

อุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการทำนายผู้วิจัยเลือกใช้อุณหภูมีย้อนหลังของกรมอุตุนิยมวิทยาปี 2561 (ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ, 2561) ซึ่งข้อมูลที่นำมาใช้ในการหาอุณหภูมิแวดล้อมที่เป็นตัวแทนรายชั่วโมงของแต่ละเดือนเป็นข้อมูลที่แสดงอุณหภูมิสูงสุด และต่ำสุดของอุณหภูมิแวดล้อมของแต่ละเดือนตลอดทั้งปี ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ตัวแทนอุณหภูมิสูงสุด และต่ำสุด ของเดือนตลอดทั้งปี

Month	$T_{max}(^{\circ}C)$	$T_{min}(^{\circ}C)$
January	30.3	16.9
February	34.5	17.4
March	35.5	20.5
April	38.5	25.4
May	36.5	24.5
June	29.5	24
July	35.2	24.8
August	33	23.8
September	34.8	24
October	35.5	23.5
November	33	23.3

Month	$T_{\max} (^{\circ}\text{C})$	$T_{\min} (^{\circ}\text{C})$
December	29	21.6

ข้อมูลอุณหภูมิแวดล้อมย้อนหลังในปี 2561 ที่เป็นอุณหภูมิสูงสุด และต่ำสุด จะนำเข้ามาคำนวณหาตัวแทนอุณหภูมิแวดล้อมรายชั่วโมงของแต่ละเดือน โดยสมการหาอุณหภูมิแวดล้อมรายชั่วโมง ในสมการที่ 13

$$T_a = \frac{1}{2} \left[ (T_{\max} + T_{\min}) + (T_{\max} - T_{\min}) \sin \left( \frac{2\pi}{24} (t-9) \right) \right] \quad \text{สมการที่ 13}$$

เมื่อ  $T_{\max}$  คือ อุณหภูมิแวดล้อมสูงสุดของเดือนที่ต้องการวิเคราะห์ ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_{\min}$  คือ อุณหภูมิแวดล้อมต่ำสุดของเดือนที่ต้องการวิเคราะห์ ( $^{\circ}\text{C}$ )

$t$  คือ เวลาที่ต้องการพิจารณา (h)

หลังจากนั้นคำนวณตัวแทนอุณหภูมิแวดล้อมรายชั่วโมงแล้ว จะนำผลของการคำนวณไปใช้ในการคำนวณอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใส โดยใช้สมการคำนวณอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในสมการที่ 14

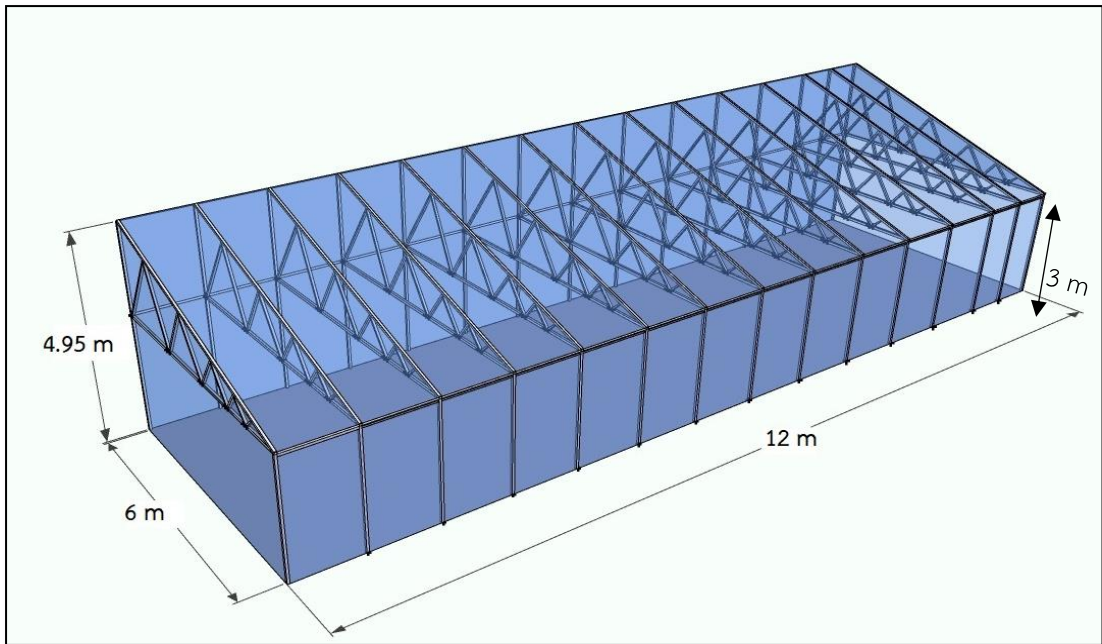
$$T_p = T_a + \left( \frac{\text{NOCT} - 20}{800} \right) \times I_G \quad \text{สมการที่ 14}$$

เมื่อ  $T_p$  คือ อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_a$  คือ อุณหภูมิแวดล้อม ( $^{\circ}\text{C}$ )

#### ขั้นตอนที่ 4 การออกแบบสร้างและทดสอบโรงเรือนปลูกพืชที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์กึ่งโปร่งใส

ในการออกแบบต้นแบบโรงเรือนปลูกสตรอเบอร์รี่ที่ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใส ต้นแบบที่มีหลังคาแบบ Lean to ซึ่งเป็นแบบที่สามารถรับรังสีอาทิตย์ได้ดีโรงเรือนต้นแบบจะมีขนาดกว้างประมาณ 6 m ยาวประมาณ 12 m ส่วนด้านหลังสูงประมาณ 4.95 m และด้านหน้าสูงประมาณ 3 m ดังภาพที่ 48



ภาพที่ 48 ต้นแบบโรงเรือนปลูกสตรอเบอร์รี่

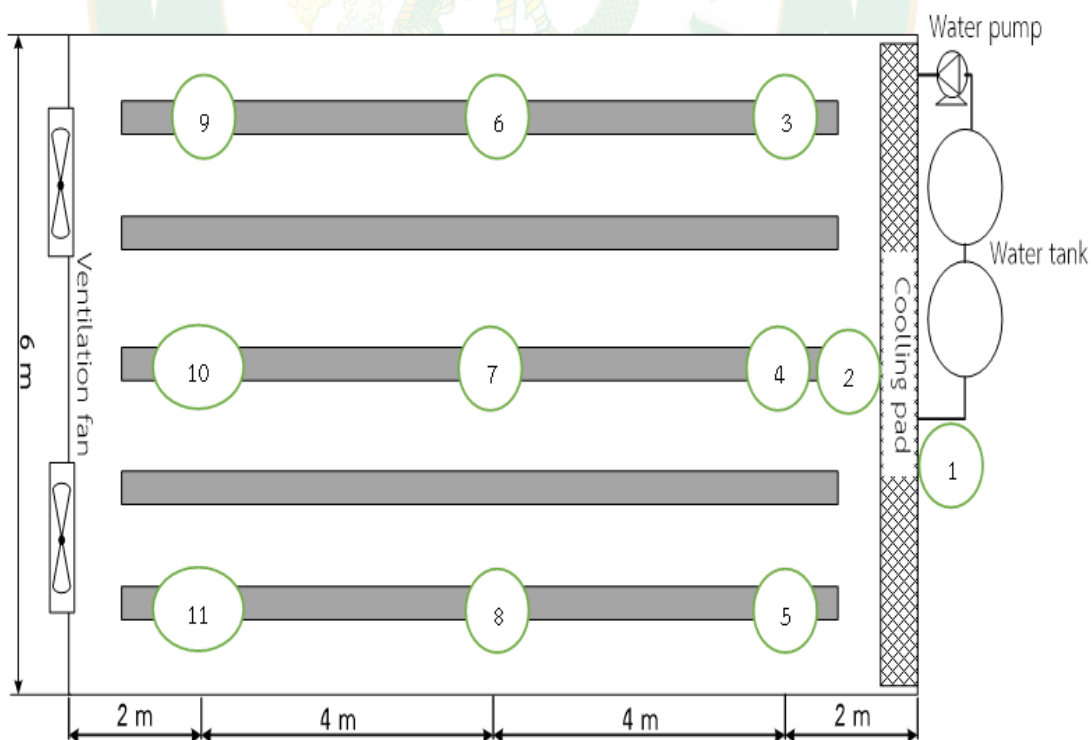
ทำการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดกึ่งโปร่งใสบนหลังคาโรงเรือนโดยรูปแบบแผงจะได้รับการทดสอบในสวนที่ 1 โดยแผ่นที่ใช้ได้มีขนาดอยู่ 2 m<sup>2</sup> ต่ออนุกรม 2 สตริง จะใช้แผงทั้งหมด 36 แผง ดังภาพที่ 49



ภาพที่ 49 การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดกึ่งโปร่งใสบนหลังคาโรงเรือน

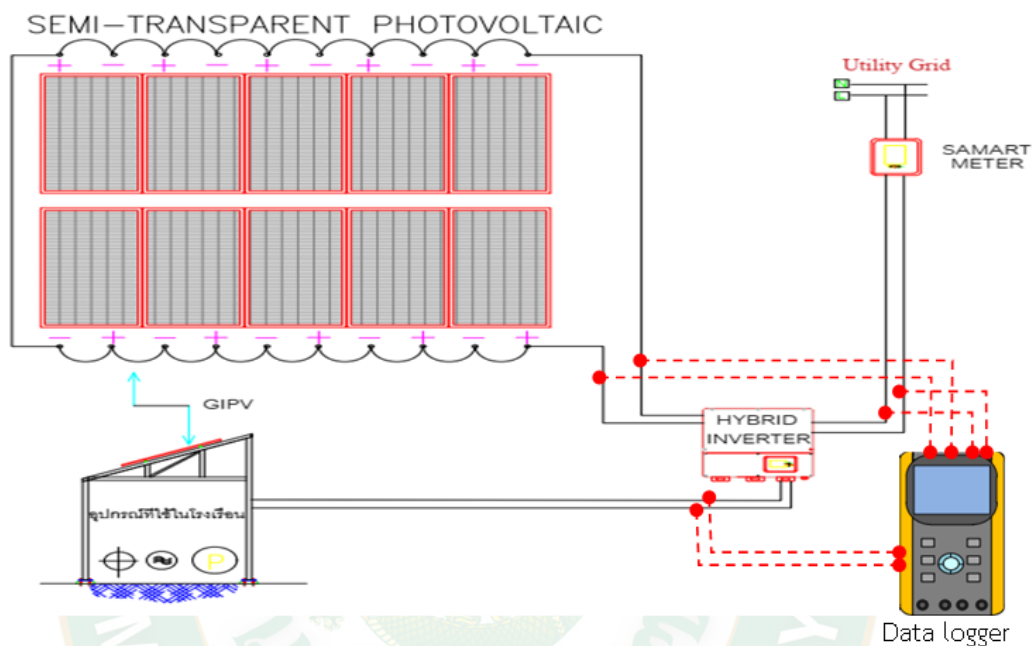
สำหรับการติดตั้งจุดตรวจวัดปริมาณแสงที่ผ่านเข้ามาในโรงเรือนประกอบด้วยการวัดค่า Photosynthetic Photon Flux Density (PPFD) และค่าความส่องสว่าง ซึ่งเป็นค่าปริมาณแสง ในช่วง PAR ที่พืชสามารถใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงได้ โดยใช้เครื่องวัด Spectrophotometer (Model: UPRtek's PG100N) โดยมีจุดวัดทั้งหมด 10 จุด ได้แก่บริเวณด้านนอก 1 จุด และกำหนดจุดที่ 3 6 และ 9 มาเฉลี่ยจะเท่ากับ ค่าปริมาณแสงด้านหน้าโรงเรือน ข้อมูลจุดที่ 4 7 และ 10 มาเฉลี่ยจะเท่ากับ ค่าปริมาณแสงตรงกลางโรงเรือน และข้อมูลจุดที่ 5 8 และ 11 มาเฉลี่ยจะเท่ากับ ค่าปริมาณแสงด้านหลังโรงเรือน ทำการเก็บข้อมูลทุก ๆ 30 นาที ดังภาพที่ 50

จากนั้นทำการติดตั้งจุดตรวจวัดอุณหภูมิแวดล้อมในโรงเรือน อุณหภูมิแวดล้อมนอกโรงเรือน ตามด้วยความชื้นอากาศในโรงเรือน ความชื้นอากาศนอกโรงเรือน ด้วยเครื่องมือวัด TENMARS รุ่น TM-305U โดยมีจุดวัดทั้งหมด 11 จุด ได้แก่บริเวณด้านนอก 1 จุด และด้านในโรงเรือน 10 จุด โดยมีกำหนดให้จุดที่ 2 เป็นจุดตรวจวัดหน้าแผ่นระเหยน้ำ จุดที่ 3 4 และ 5 มาเฉลี่ยจะเท่ากับ ค่าอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์จุดหน้าแผ่นระเหยน้ำ 2m ข้อมูลจุดที่ 6 7 และ 8 มาเฉลี่ยจะเท่ากับ อุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ตรงกลางโรงเรือน และข้อมูลจุดที่ 9 10 และ 11 มาเฉลี่ยจะเท่ากับค่าอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์หน้าพัดลมระบายอากาศ ทำการเก็บข้อมูลทุก ๆ 5 นาที ดังภาพที่ 50



ภาพที่ 50 จุดตรวจวัดปริมาณแสง อุณหภูมิ และความชื้นอากาศ

การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าในโรงเรียนประเมินจากภาระโหลดทางไฟฟ้าที่ใช้กับโรงเรียนต้นแบบ โดยได้เลือกใช้ระบบ Solar hybrid converter มีหลักการทำงานคือพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสจะจ่ายให้โหลดภายในโรงเรียนก่อน แต่ถ้าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ไม่เพียงพอ Inverter จะดึงไฟฟ้าจากสายส่งมาใช้ร่วมโดยถูก Inverter แปลงกระแสและแรงดันไฟฟ้าให้มีค่าที่สามารถเข้ากันได้เพื่อใช้กับโหลดในโรงเรียน ดังภาพที่ 51



ภาพที่ 51 ระบบผลิตไฟฟ้าแบบ (Semi-Transparent Photovoltaic System)

- เก็บข้อมูลทางไฟฟ้าของกระแสตรง (DC) จำนวนกำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ ความเข้มของรังสีอาทิตย์ ( $I_T$ ) เพื่อนำมาวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ( $\eta_{pv}$ ) ดังสมการที่ 1
- เก็บข้อมูลทางไฟฟ้าของกระแสสลับ (AC) จำนวนกำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าที่ออกจากเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter) เพื่อนำมาวิเคราะห์ประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ( $\eta_{inv}$ ) ดังสมการที่ 7
- คำนวณหาสมรรถนะการผลิตไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่เชื่อมต่อกับระบบ ได้แก่ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Array yield  $Y_a$ ) พลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริงที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Final yield  $Y_f$ ) พลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริงที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Reference yield  $Y_r$ ) สมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใส (Performance Ratio PR) ดังสมการที่ 2-5



### ขั้นตอนที่ 5 วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์

การคำนวณความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์โดยการเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบ และค่าใช้จ่ายตลอดอายุโครงการมาคำนวณในการหามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR) และระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB) ดังสมการที่ 10-12



## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

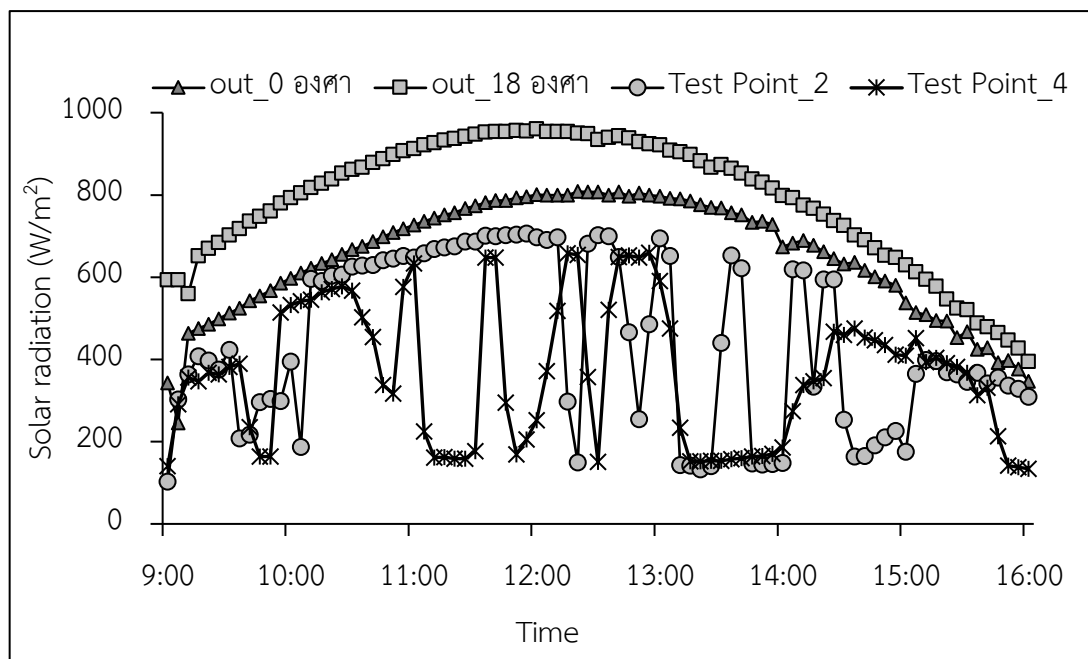
#### 4.1 ผลการศึกษาสีของฟิล์มและรูปแบบการจัดวางเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใส

ส่วนที่ 1 เป็นการศึกษาสีของฟิล์มและรูปแบบการจัดวางเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใส โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์จำลองได้ดำเนินการเก็บข้อมูลในช่วงเดือนเมษายน 2565 เพื่อเก็บข้อมูลค่ารังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านเข้าสู่โรงเรือนทดสอบ ลักษณะเงาในโรงเรือนที่เกิดขึ้นจากการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสจำลอง ค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบด้านในและด้านนอกโรงเรือนทดสอบ ค่า PPFd ค่าความส่องสว่าง ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิอากาศด้านในและด้านนอกโรงเรือนทดสอบ มีดังนี้

##### 4.1.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์กึ่งโปร่งใสกรณีรูปแบบการจัดวางเซลล์แบบเว้นระยะห่างแบบที่ 1

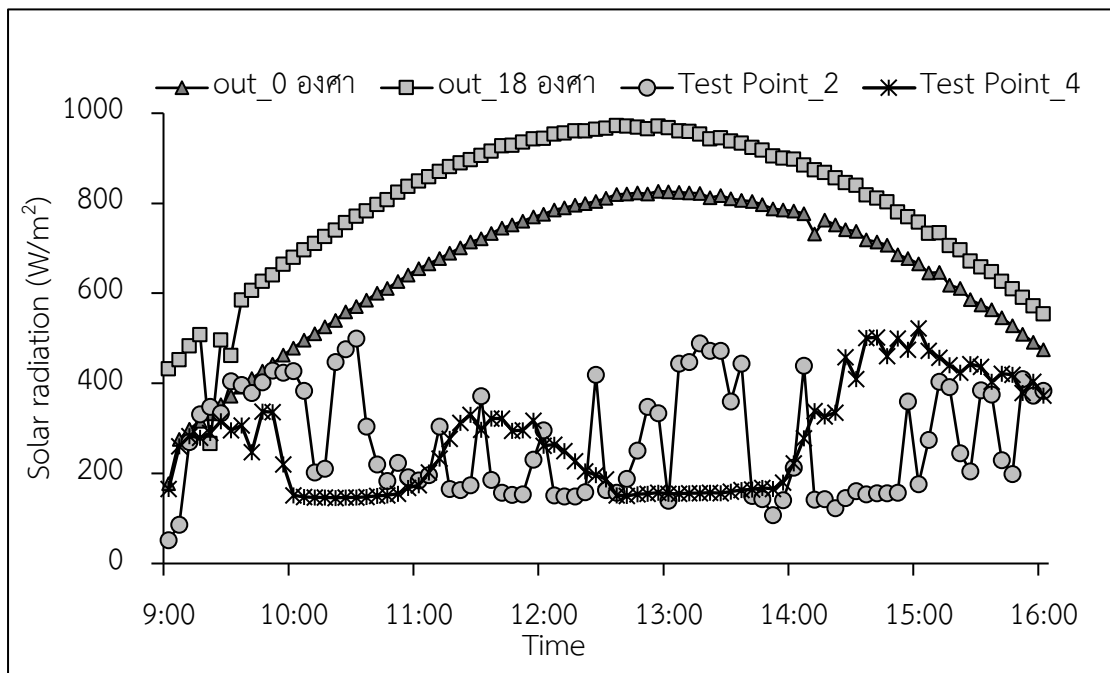
ในการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์กึ่งโปร่งใสในรูปแบบการจัดวางเซลล์แบบเว้นระยะห่างแบบที่ 1 จะใช้ฟิล์ม 3 สี ได้แก่ ฟิล์มสีน้ำเงิน ฟิล์มสีแดง และฟิล์มสีแดงสลับน้ำเงิน เปรียบเทียบกับกรณีแผงไม่ติดฟิล์ม โดยวัดค่ารังสีอาทิตย์ ทั้งหมด 4 จุด ได้แก่ ค่ารังสีอาทิตย์นอกโรงเรือนแนวระนาบที่  $0^\circ$  ค่ารังสีอาทิตย์นอกโรงเรือนแนวเอียงที่  $18^\circ$  ค่ารังสีอาทิตย์ด้านในตรงกลางโรงเรือน (point 2) และค่ารังสีอาทิตย์ด้านหลังโรงเรือน (point 4)

จากภาพที่ 52 แสดงค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบด้านในและด้านนอกโรงเรือนทดสอบแบบไม่ติดฟิล์ม พบว่า ค่ารังสีอาทิตย์นอกโรงเรือนแนวระนาบที่  $0^\circ$  ค่ารังสีอาทิตย์นอกโรงเรือนแนวเอียงที่  $18^\circ$  จะมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่ารังสีอาทิตย์ไปในทิศทางเดียวกัน โดยตลอดทั้งวันจะมีค่าเฉลี่ย  $649.9 \text{ W/m}^2$  และ  $787.3 \text{ W/m}^2$  ตามลำดับ ซึ่งจะสังเกตได้ว่า point 2 และ point 4 จะมีค่ารังสีอาทิตย์น้อย และเปลี่ยนแปลงตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ เป็นเพราะจุดวัดที่ทำการติดตั้งจะวางอยู่ใต้โครงสร้างของโรงเรือนเป็นผลให้ค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบถูกโครงสร้างของโรงเรือนบัง แต่สำหรับ point 4 จะมีค่ารังสีอาทิตย์ที่สูงกว่าแบบติดฟิล์ม แต่ยังมีบางจุดที่มีค่าลดลง เป็นเพราะการวางเซลล์ที่วางชิดติดกัน เป็นผลให้มีค่าบางจุดน้อยกว่าจุดที่ไม่มีเซลล์มาบัง ซึ่งตลอดทั้งวันมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $444.6 \text{ W/m}^2$  และ  $364.4 \text{ W/m}^2$  ตามลำดับ



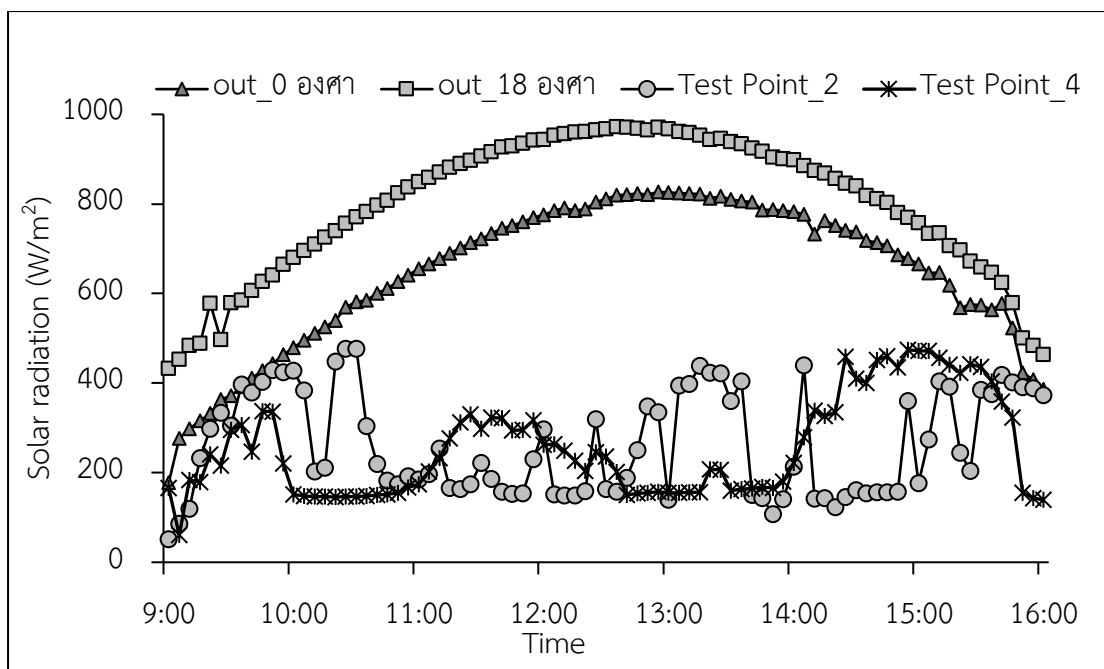
ภาพที่ 52 ค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบด้านในและด้านนอกโรงเรือนทดสอบ  
กรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์กึ่งโปร่งใสแบบไม่ติดฟิล์ม

เช่นเดียวกับค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบด้านในและด้านนอกโรงเรือนของฟิล์มสีแดง ดังแสดงในภาพที่ 53 พบว่า ค่ารังสีอาทิตย์นอกโรงเรือนแนวระนาบที่  $0^\circ$  ค่ารังสีอาทิตย์นอกโรงเรือนแนวเอียงที่  $18^\circ$  จะมีค่ารังสีอาทิตย์ด้านนอกที่มีค่าสูงกว่าในโรงเรือน โดยมีค่ารังสีอาทิตย์สูงสุดเท่ากับ 827 และ 972  $\text{W/m}^2$  ตามลำดับ และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 177 และ 266  $\text{W/m}^2$  ตามลำดับ ส่วนค่าเฉลี่ยทั้งวันของค่ารังสีอาทิตย์ด้านนอกจะมีค่าเท่ากับ 649 และ 795  $\text{W/m}^2$  ตามลำดับ ส่วน point 2 ค่ารังสีอาทิตย์ด้านในตรงกลางโรงเรือนจะมีค่าไม่คงที่ มีค่าอยู่ระหว่าง 52-500  $\text{W/m}^2$  ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่าเมื่อติดฟิล์มบนกระจกจะทำให้แสงที่ส่องผ่านเข้ามาในโรงเรือนมีค่าน้อย เนื่องจากฟิล์มช่วยในการกรองแสงทำให้แสงไม่สามารถเข้ามาในโรงเรือนได้ และ point 4 ค่ารังสีอาทิตย์ด้านหลังโรงเรือนจะมีค่าไม่คงที่เนื่องจากค่ารังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านจะถูกบังด้วยเซลล์ที่ถูกจัดวางเรียงชิดติดกันซึ่งมีระยะห่างระหว่างเซลล์เท่ากับ 5.5 cm ทำให้ค่าที่ได้ไม่สม่ำเสมอซึ่งตลอดทั้งวันมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 273  $\text{W/m}^2$  ซึ่งมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 52  $\text{W/m}^2$  และค่าสูงสุดเท่ากับ 146  $\text{W/m}^2$



ภาพที่ 53 ค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบด้านในและด้านนอกโรงเรียนทดสอบ  
กรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์กึ่งโปร่งใสแบบติดฟิล์มสีแดง

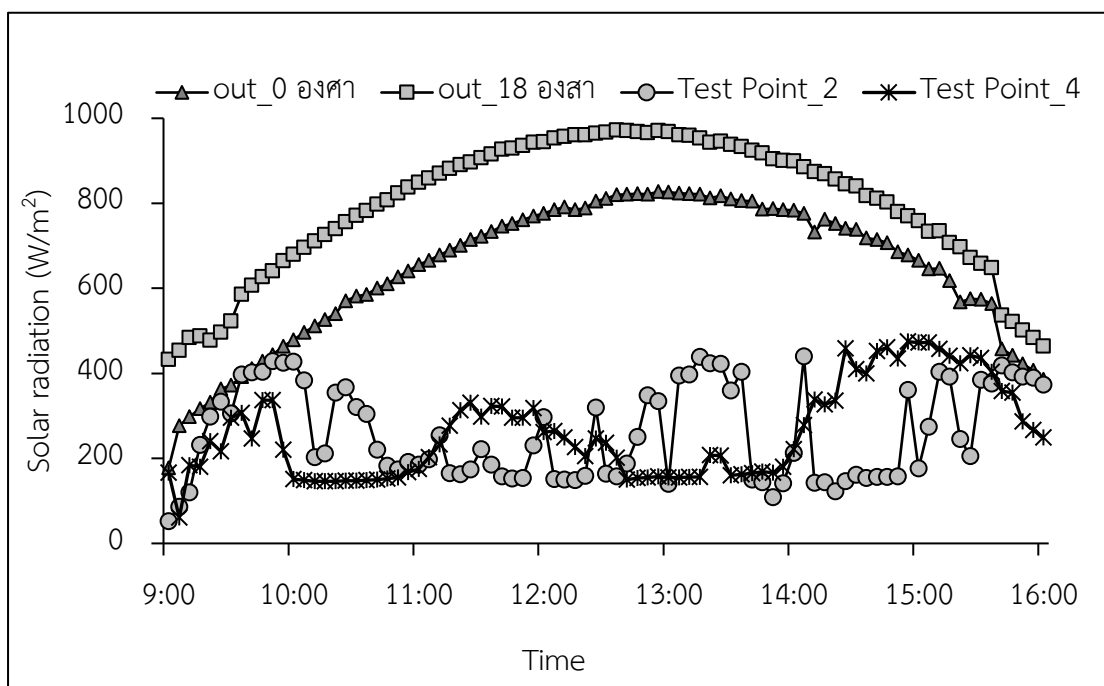
ค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบด้านนอกโรงเรียนของฟิล์มสีน้ำเงิน ที่จุดวัดทั้ง 2 จุด มีค่าแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันซึ่ง ค่ารังสีอาทิตย์นอกโรงเรียนแนวระนาบที่  $0^\circ$  ค่ารังสีอาทิตย์นอกโรงเรียนแนวเอียงที่  $18^\circ$  ก็ยังคงมีค่ารังสีอาทิตย์ที่สูงกว่าด้านในโรงเรียนที่เฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 646 และ  $796 \text{ W/m}^2$  ตามลำดับ ส่วนด้านในโรงเรียน point 2 และ point 4 มีค่าแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับฟิล์มสีแดง ค่ารังสีอาทิตย์ก็จะถูกโครงสร้างของโรงเรียนและเซลล์ที่จัดวางชิดติดกันบดบัง ทำให้ค่ารังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านมายังด้านในโรงเรียนมีค่าน้อยซึ่งเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 263 และ  $256 \text{ W/m}^2$  ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 54



ภาพที่ 54 ค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบด้านในและด้านนอกโรงเรือนทดสอบ

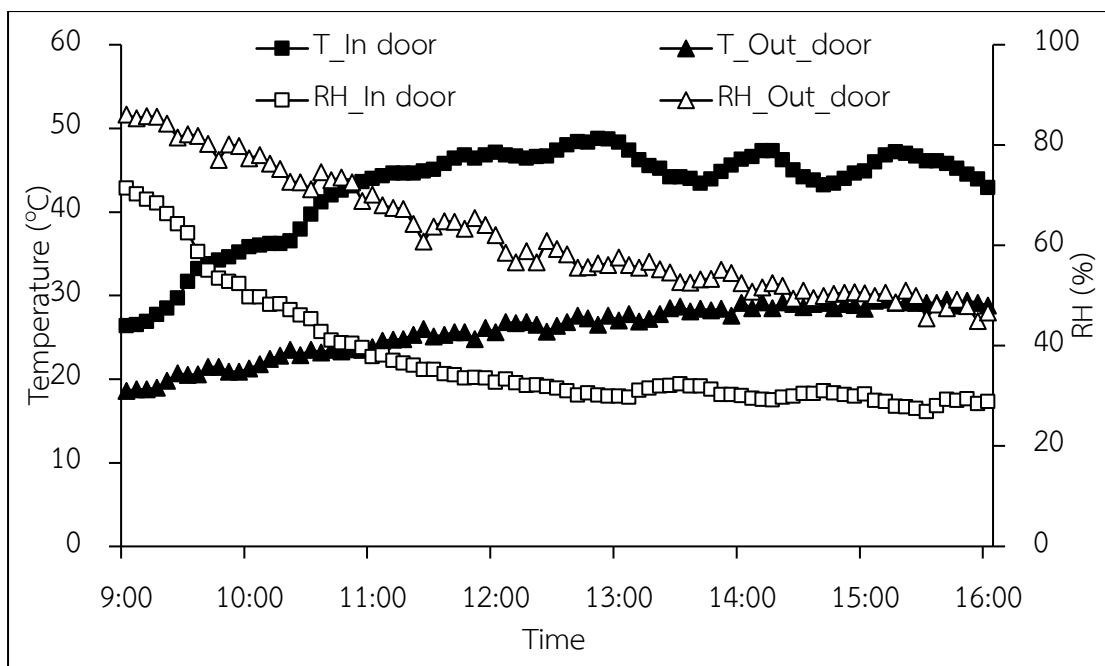
กรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์กึ่งโปร่งใสแบบติดฟิล์มสีน้ำเงิน

เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มสีที่นำมาติดบริเวณกระจกที่อยู่ด้านหลังของ Solar cell ซึ่งการที่เลือกฟิล์มสีแดงและสีน้ำเงินมาศึกษา เนื่องจากแสงที่พืชนำมาใช้ประโยชน์ในการสังเคราะห์แสงเพื่อการเจริญเติบโต สร้างใบ ดอก และผล โดยค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบด้านในและด้านนอกโรงเรือนทดสอบของฟิล์มสีน้ำเงิน จะพบว่า ค่ารังสีอาทิตย์นอกโรงเรือนแนวระนาบที่  $0^\circ$  ค่ารังสีอาทิตย์นอกโรงเรือนแนวเอียงที่  $18^\circ$  มีค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบมีค่าสูงกว่าด้านในโรงเรือน โดยมีค่าเฉลี่ยตลอดทั้งวันเท่ากับ  $644 \text{ W/m}^2$  และ  $789 \text{ W/m}^2$  ตามลำดับ โดยเฉพาะช่วงเวลา 12.35 น. จะมีค่ารังสีอาทิตย์สูงมีค่าเท่ากับ  $827$  และ  $972 \text{ W/m}^2$  ตามลำดับ ส่วน point 2 ค่ารังสีอาทิตย์ตรงกลางด้านในโรงเรือนจะมีค่าคงที่อยู่ที่  $263 \text{ W/m}^2$  แต่ในช่วงเวลา 10.30-12.00 น. จะมีค่าสูงกว่าปกติอยู่ระหว่าง  $163$ - $447 \text{ W/m}^2$  ซึ่งมีแนวโน้มค่ารังสีอาทิตย์เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับฟิล์มสีแดง และ point 4 ค่ารังสีอาทิตย์ด้านหลังโรงเรือนก็จะมีลักษณะของการเปลี่ยนแปลงของค่ารังสีอาทิตย์แบบเดียวกับฟิล์มสีแดง ซึ่งตลอดทั้งวันจะมีค่าเฉลี่ยอยู่เท่ากับ  $474 \text{ W/m}^2$  ดังแสดงในภาพที่ 55



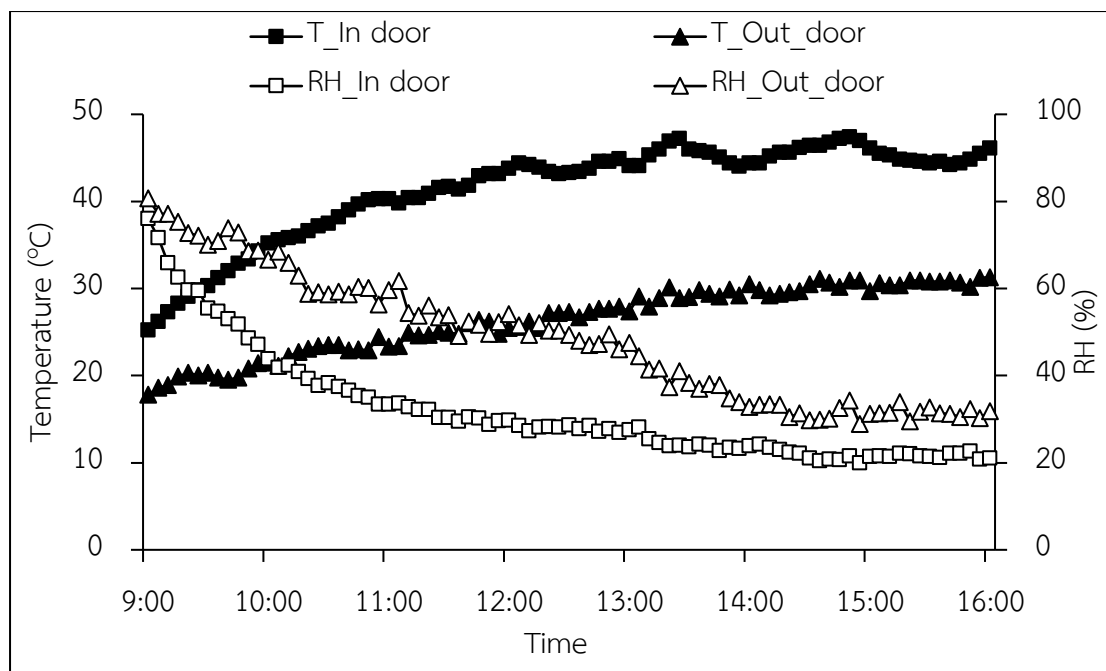
ภาพที่ 55 ค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบด้านในและด้านนอกโรงเรียนทดสอบ  
กรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์กึ่งโปร่งใสแบบติดฟิล์มสีแดงสลัสน้ำเงิน

ผลของอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์อากาศด้านในและด้านนอกโรงเรียนทดสอบ จากการวัดอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์อากาศทั้งหมด 4 จุด ได้แก่ อุณหภูมิอากาศด้านในและด้านนอกโรงเรียน 2 จุด และความชื้นสัมพัทธ์อากาศด้านในและด้านนอกโรงเรียน 2 จุด เริ่มทำการทดสอบเวลา 9.00 น. บันทึกข้อมูลทุก ๆ 5 นาที พบว่า อุณหภูมิอากาศด้านในและด้านนอกโรงเรียนเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงตามค่ารังสีอาทิตย์โดยจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ และค่อย ๆ คงที่โดยที่อุณหภูมิอากาศด้านในและด้านนอกโรงเรียนมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งอุณหภูมิอากาศด้านในโรงเรียนจะมีค่าอยู่ในช่วง 26-48 °C ซึ่งเกิดจากการสะสมความร้อนภายในโรงเรียนที่ ในขณะที่อุณหภูมิอากาศด้านนอกโรงเรียนจะอยู่ในช่วง 18-29 °C เท่านั้น มีผลต่างของอุณหภูมิอากาศอยู่ที่ 20 °C โดยประมาณ ซึ่งโรงเรียนที่ใช้ในการทดสอบยังไม่มีติดตั้งอุปกรณ์ระบายอากาศทำให้อุณหภูมิอากาศด้านในสูงกว่าด้านนอก เป็นผลให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศด้านในโรงเรียนมีค่าต่ำกว่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศด้านนอกโรงเรียน ซึ่งมีค่าเฉลี่ยตลอดทั้งวันเท่ากับ 37% -61 % ความชื้นสัมพัทธ์อากาศด้านในโรงเรียนสูงสุดและต่ำสุด เท่ากับ 71% และ 26% ตามลำดับ ส่วนความชื้นสัมพัทธ์อากาศด้านนอกโรงเรียนค่าเฉลี่ยตลอดทั้งวันเท่ากับ 44% - 86% ดังแสดงในภาพที่ 56



ภาพที่ 56 ค่าสภาพอากาศด้านในและด้านนอกโรงเรือนทดสอบกรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์กึ่งโปร่งใสแบบไม่ติดฟิล์ม

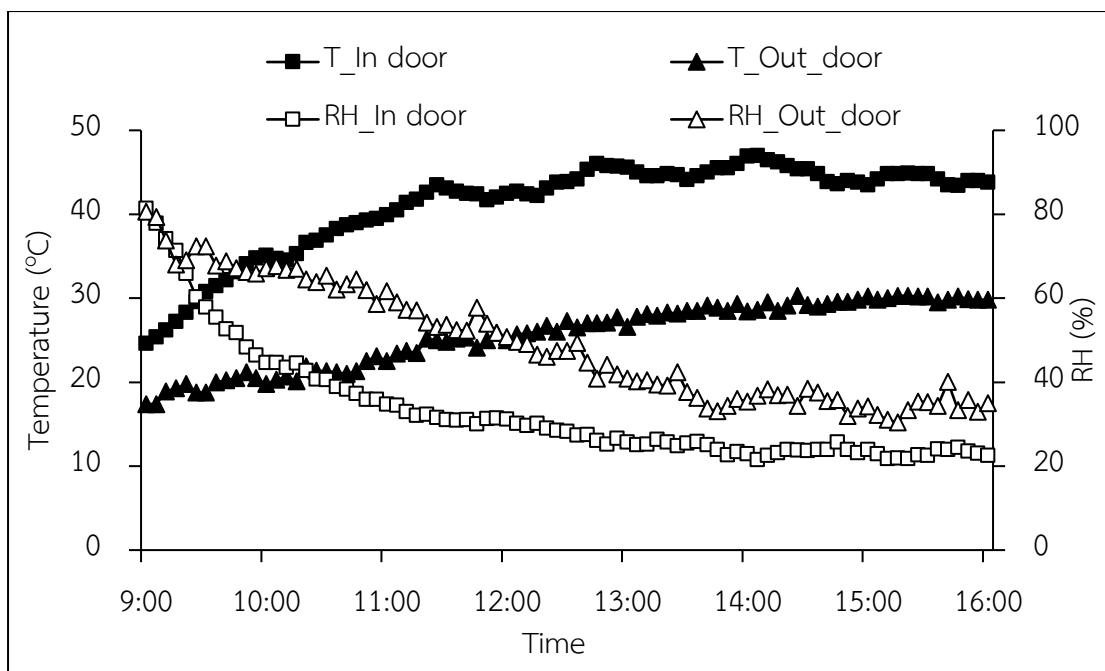
เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์อากาศด้านในและด้านนอกโรงเรือนแบบฟิล์มสีน้ำเงิน ผลการทดสอบพบว่า ค่าอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์อากาศมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับแบบไม่ติดฟิล์ม แต่อุณหภูมิอากาศด้านในและด้านนอกจะสูงกว่า 3-5 °C เนื่องจากวันที่ทำการทดสอบห่างกัน 2-3 วัน ซึ่งสภาพอากาศในแต่ละวันมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลและการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ที่อาจจะมีมุมหรือทิศทางเคลื่อนที่ที่แตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามค่าอุณหภูมิอากาศไม่แตกต่างกันมาก โดยที่อุณหภูมิอากาศด้านในและด้านนอกโรงเรือนจะมีค่าเฉลี่ยทั้งวันอยู่ที่ 41°C และ 26°C ตามลำดับ อุณหภูมิสูงสุดที่ 47 °C และ 31 °C ณ เวลาช่วงเวลา 13.00-15.30 น. และความชื้นสัมพัทธ์อากาศด้านในและด้านนอกโรงเรือนสูงสุด ณ ช่วงเวลา 9.00 น. ที่ 76% และ 80% และต่ำสุดที่เวลา 16.00 น. มีค่าเท่ากับ 28% และ 19% ตามลำดับ เนื่องจากช่วงเช้ามีอากาศเย็นทำให้อุณหภูมิในอากาศควบแน่น เป็นหยดน้ำจึงส่งผลให้ความชื้นสูงในช่วงตอนเช้าและต่ำสุดในช่วงตอนบ่าย เนื่องจากได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์ทำให้ความชื้นลดลง ดังแสดงในภาพที่ 57



ภาพที่ 57 ค่าสภาพอากาศด้านในและด้านนอกโรงเรือนทดสอบกรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์กิ่งโปร่งใส่แบบติดฟิล์มสีน้ำเงิน

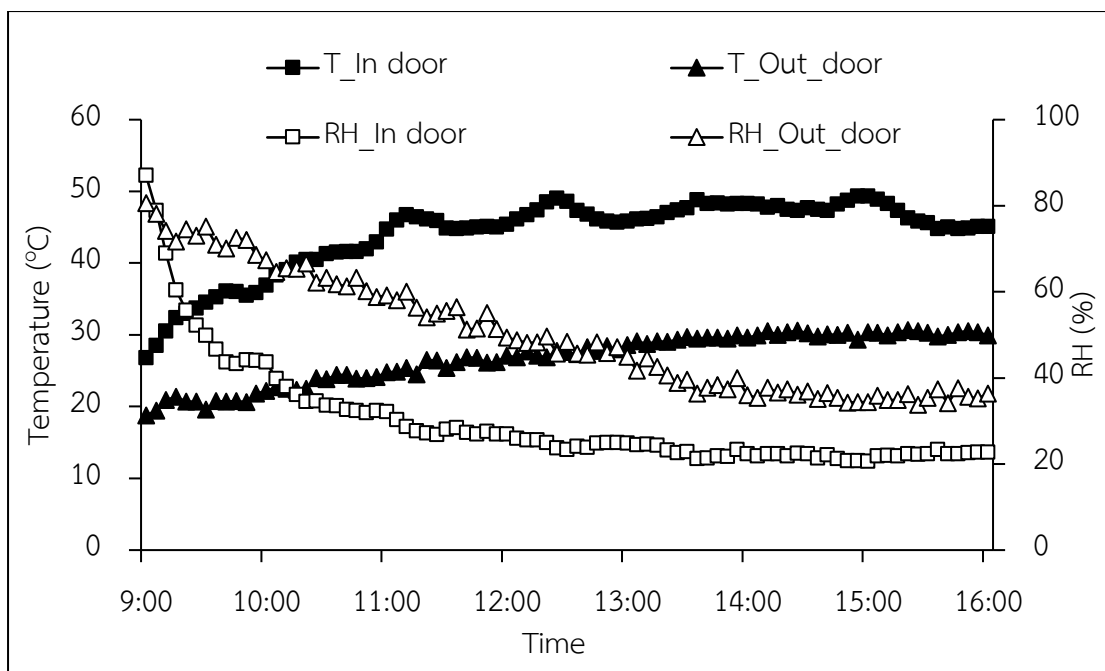
ส่วนภาพที่ 58 แสดงผลการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์อากาศด้านในและด้านนอกโรงเรือนสำหรับฟิล์มสีแดง พบว่า อุณหภูมิอากาศด้านในโรงเรือนมีค่าอุณหภูมิสูงกว่าด้านนอกโรงเรือน ซึ่งอยู่ในช่วง 24-47 °C เนื่องจากภายในโรงเรือนถูกคลุมด้วยพลาสติกไม่มีช่องระบายอากาศเป็นผลให้ภายในโรงเรือนสะสมความร้อน ส่วนด้านนอกโรงเรือนจะมีอุณหภูมิอากาศอยู่ในช่วง 17-30 °C ซึ่งเป็นไปตามสภาพอากาศปกติของภายนอก เนื่องจากวันที่ทดสอบมีสภาพอากาศปลอดโปร่งอยู่ในช่วงฤดูหนาวแดดไม่จัด ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศภายนอกมีความแตกต่างกับอุณหภูมิอากาศด้านในโรงเรือน ส่วนค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศด้านในและด้านนอกโรงเรือนจะมีค่าแปรผันตรงกับอุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิอากาศเพิ่มขึ้นความชื้นสัมพัทธ์อากาศจะลดลง เป็นผลให้ตลอดทั้งวันค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศด้านในโรงเรือนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 33% มีค่าสูงสุดเท่ากับ 81% ค่าต่ำสุดเท่ากับ 21% ส่วนค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศด้านนอกโรงเรือนจะมีค่าสูงกว่าด้านในโรงเรือน โดยมีค่าเฉลี่ยตลอดทั้งวันเท่ากับ 49% และมีค่าสูงสุดเท่ากับ 80% และต่ำสุด 30%





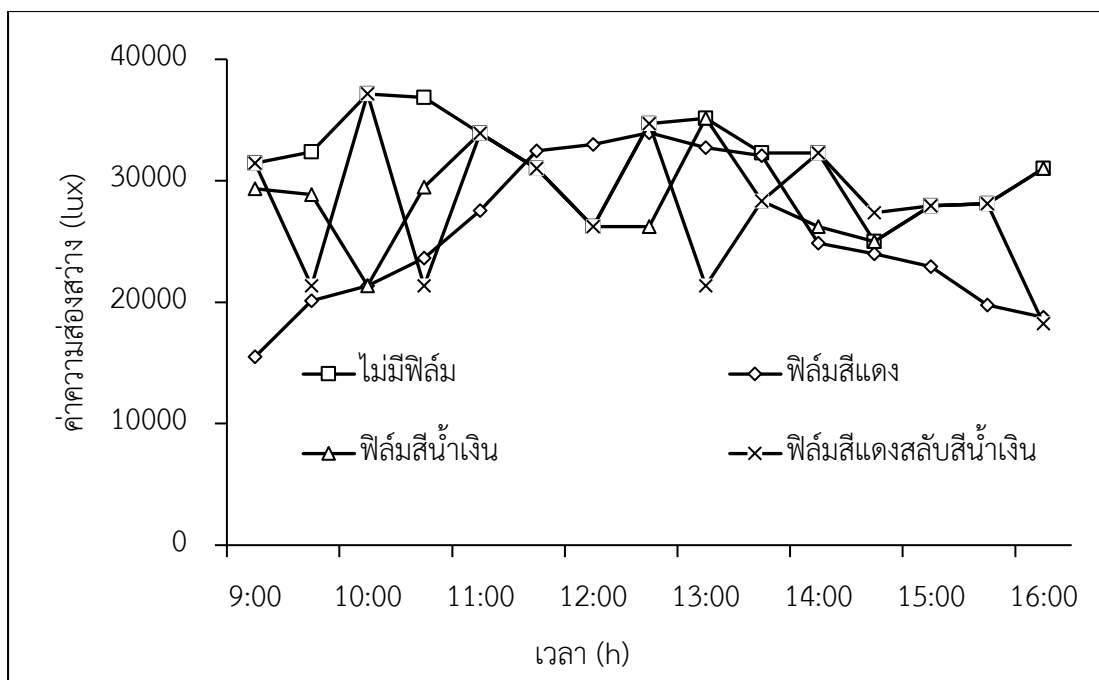
ภาพที่ 58 ค่าสภาพอากาศด้านในและด้านนอกโรงเรียนทดสอบกรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์กิ่งโปร่งใส แบบติดฟิล์มสีแดง

เช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์อากาศด้านในและด้านนอกโรงเรียนสำหรับฟิล์มสีแดงสลับน้ำเงิน ที่มีทิศทางและการเปลี่ยนแปลงเหมือนกับอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์อากาศที่ติดฟิล์มและไม่ติดฟิล์ม โดยที่อุณหภูมิอากาศด้านในและด้านนอกมีค่าสูงสุดเท่ากับ 49 °C และ 30 °C ที่ช่วงเวลา 13.30-15.30 น. และอุณหภูมิอากาศต่ำสุดที่เวลา 9.00 น. มีค่าเท่ากับ 26 °C และ 18 °C ส่วนค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศด้านในและด้านนอกโรงเรียนสูงสุดที่เวลา 9.00 น. มีค่าเท่ากับ 87% และ 80% ตามลำดับ และค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศด้านในและด้านนอกโรงเรียนต่ำสุดที่เวลา 16.00 น. มีค่าเท่ากับ 20% และ 33% ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 59



ภาพที่ 59 ค่าสภาพอากาศด้านในและด้านนอกโรงเรียนทดสอบ กรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์กึ่งโปร่งใสแบบติดฟิล์มสีแดงสลับน้ำเงิน

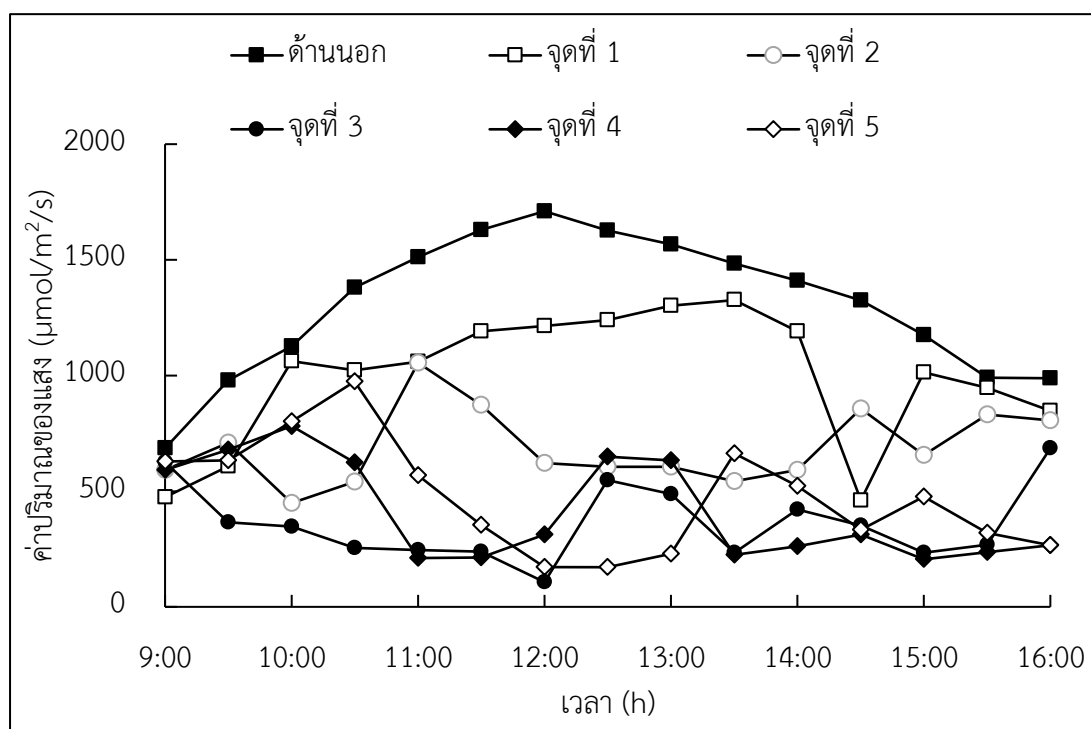
จากภาพที่ 60 แสดงค่าความส่องสว่างที่ผ่านแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสจำลองเข้าสู่ภายในโรงเรียนทดสอบพบว่า แผงเซลล์แบบไม่ติดฟิล์มมีค่าความส่องสว่างของแสงมากที่สุดโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 31,697.68 Lux และค่าความส่องสว่างของการจัดวางเซลล์แบบฟิล์มสีน้ำเงิน ฟิล์มสีแดง และฟิล์มสีแดงสลับน้ำเงิน มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน จะสังเกตได้ว่าเมื่อติดฟิล์มบนกระจกจะทำให้แสงที่ส่องผ่านเข้ามายังโรงเรียนมีค่าน้อย เนื่องจากฟิล์มช่วยในการกรองแสงทำให้แสงไม่สามารถเข้ามาภายในโรงเรียนได้ มีค่าเฉลี่ยค่าความส่องสว่างเท่ากับ 28,543 25,512.26 และ 28,048.81 Lux ตามลำดับ โดยคิดเป็นอัตราส่วนความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับแผงที่ไม่ติดฟิล์มอยู่ที่ 80.4 % 90 % และ 88.48 % ตามลำดับ



ภาพที่ 60 ค่าความส่องสว่างกรณีศึกษาการจัดวางเซลล์ในรูปแบบเว้นระยะห่างแบบที่ 1

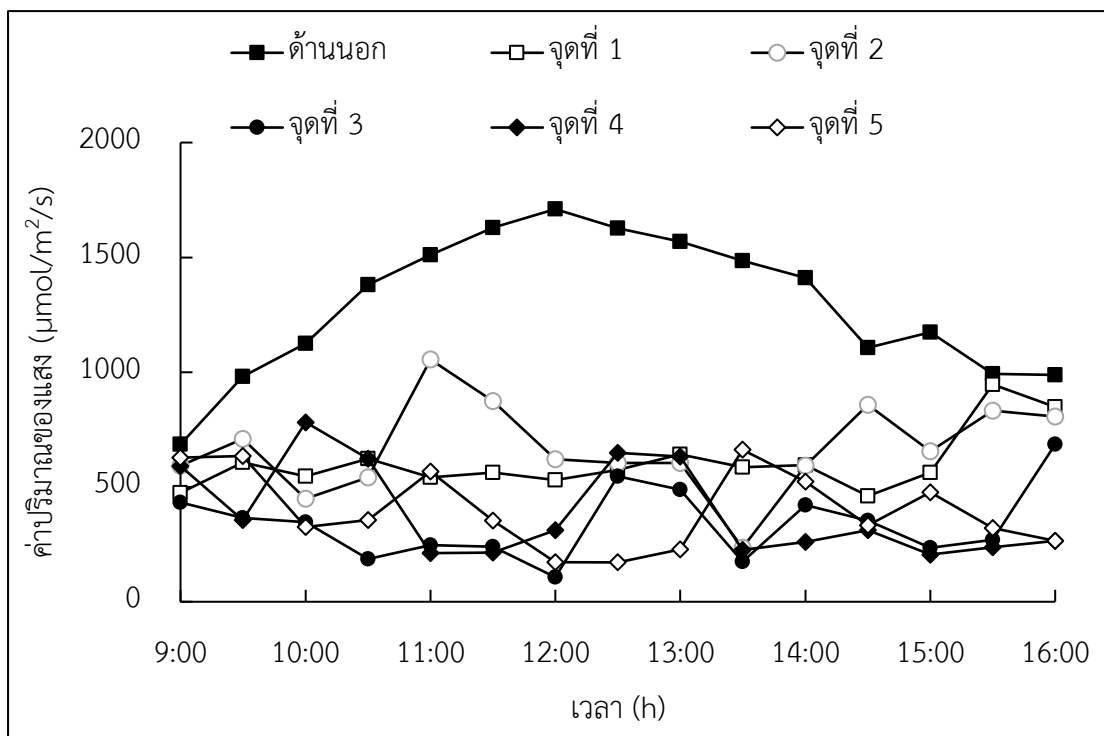
ค่า PPFD ด้านในและด้านนอกโรงเรือนทำการตรวจวัดทั้งหมด 6 จุด ได้แก่บริเวณด้านนอกโรงเรือน 1 จุด และด้านในโรงเรือน 5 จุดทำการทดสอบเวลา 09:00-16:00 นาฬิกา มีบันทึกข้อมูลทุก ๆ 30 นาที จากภาพที่ 61 พบว่า ค่า PPFD ด้านนอกโรงเรือนจะมีปริมาณมากกว่าด้านในโรงเรือน เนื่องจากได้รับแสงโดยตรงจากดวงอาทิตย์โดยไม่มีเงาหรือโครงสร้างบัง เป็นผลให้ค่า PPFD ตลอดทั้งวันมีค่าสูงซึ่งโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ  $1,202 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  ซึ่งมีค่าสูงสุดที่เวลา 13.00 น. เท่ากับ  $1,489 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  และค่าต่ำสุดเท่ากับ  $701 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  ส่วนค่า PPFD ในโรงเรือนจุดที่ 1-5 จะสังเกตได้ว่า จุดที่ 1 จะมีแนวโน้มและลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่า PPFD ใกล้เคียงกับด้านนอกโรงเรือน เนื่องจากมีการวางจุดพารามิเตอร์ใกล้เคียงกัน จึงทำให้ค่า PPFD เป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยที่ตลอดทั้งวันจะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $567 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  ส่วนจุดที่ 2 ค่า PPFD ตรงกลางโรงเรือนจะมีการเปลี่ยนแปลงตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ที่ขึ้นจากทิศตะวันออกไปทางทิศตะวันตก จะพบว่าการเปลี่ยนแปลงช่วงเวลา 9.00-10.00 น. จะคล้ายกับจุดที่ 1 แต่เมื่อถึงเวลา 10.30 น. ค่า PPFD จะต่ำลงและเวลาถัดมาจะมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้ค่า PPFD ที่ได้มีค่าแปรปรวน เนื่องจากถูกโครงสร้างของโรงเรือนและการจัดวางของเซลล์ที่เรียงชิดติดกันทำให้ปริมาณแสงผ่านช่องว่างระหว่างเซลล์กับเซลล์ผ่านเข้ามาโรงเรือนในปริมาณน้อย เป็นผลให้บางเวลาค่า PPFD ต่ำลง และจะเพิ่มขึ้นสูงสุดในช่วงเวลา 12.30-13.00 น. ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $728 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  โดยตลอดทั้งวันที่จุดที่ 2 จะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $514 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  เช่นเดียวกับจุดที่ 3 4 และ 5 ผลการเปลี่ยนแปลงค่า PPFD จะเหมือนกับจุดที่ 2 โดยที่ตลอดทั้งวันของการทดสอบจะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $445 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$ ,  $458 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$

และ  $405 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  ตามลำดับ ซึ่งจะสังเกตได้ว่าค่า PPFD ภายในโรงเรือนทั้ง 5 จุด จะมีค่าสูงกว่า  $400 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  ซึ่งเป็นช่วงแสงที่เหมาะสมกับการปลูกสตรอเบอร์รี่ที่ต้องการแสงจำนวน 8 ชั่วโมงต่อวัน



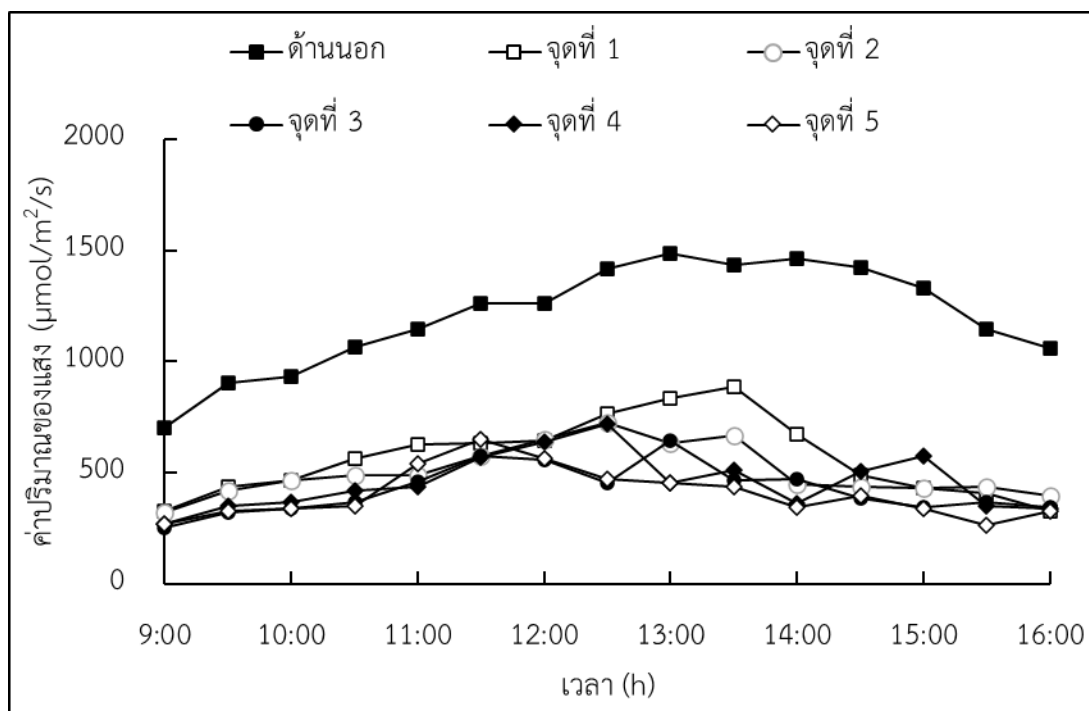
ภาพที่ 61 ค่า PPFD ด้านในและด้านนอกโรงเรือนทดสอบกรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์กึ่งโปร่งใสแบบไม่ติดฟิล์ม

สำหรับการศึกษาค่า PPFD ของการทดสอบฟิล์มสีน้ำเงิน ที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืช พบว่า ค่า PPFD ด้านนอกโรงเรือน มีค่าเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่  $1,291 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  ส่วนจุดที่ 1 2 3 4 และ 5 ด้านในโรงเรือนจะมีค่า PPFD ของฟิล์มสีน้ำเงินจะมีแนวโน้มค่าการเปลี่ยนแปลงเป็นไปในทิศทางเดียวกันอยู่ในช่วง  $330\text{-}806 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  แต่สำหรับจุดที่ 2 และ 4 จะสังเกตเห็นว่ามีค่า PPFD ต่ำและคงที่เป็นเวลามากกว่า 4 ชั่วโมง ซึ่งเป็นค่าที่ไม่เหมาะสมกับความต้องการปริมาณแสงของการปลูกสตรอเบอร์รี่ที่ต้องการมากกว่า  $400 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  อาจจะเป็นเพราะการติดฟิล์มทำให้แสงไม่สามารถส่องผ่านเข้ามายังโรงเรือนได้ในปริมาณที่มากเมื่อเทียบกับแบบไม่ติดฟิล์ม ดังแสดงในภาพที่ 62



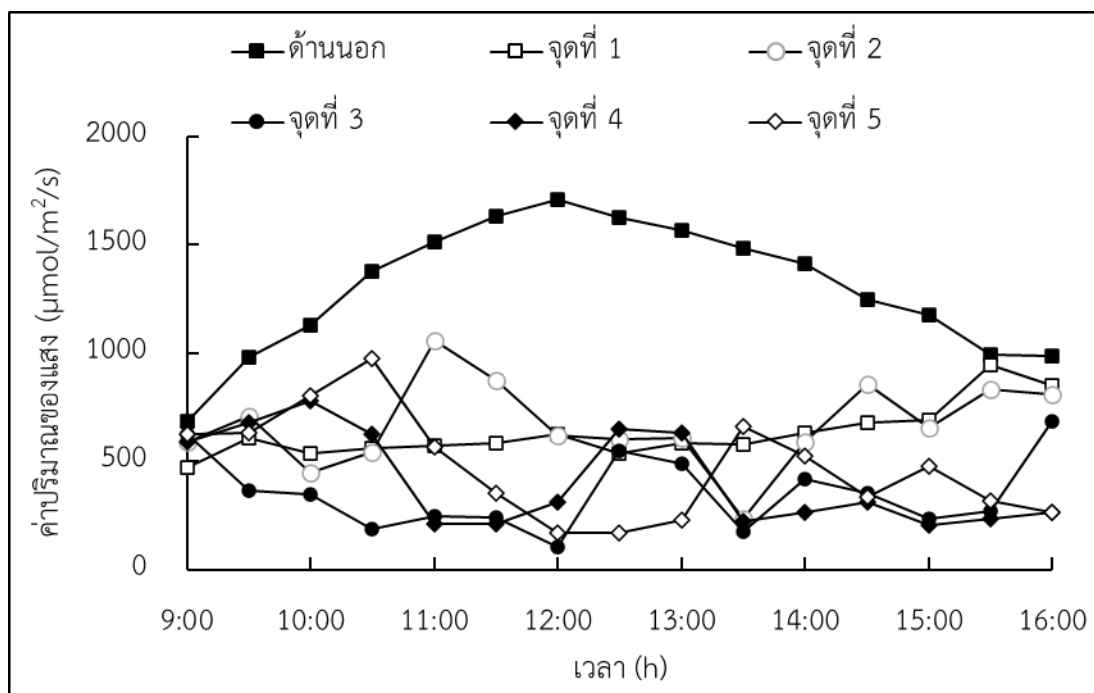
ภาพที่ 62 ค่า PPFD ด้านในและด้านนอกโรงเรือนทดสอบกรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์กึ่งโปร่งใสแบบติดฟิล์มสีน้ำเงิน

เช่นเดียวกับกับในภาพที่ 63 ผลการเปลี่ยนแปลงค่า PPFD ของฟิล์มสีแดง พบว่า ตลอดทั้งวันค่า PPFD ด้านนอกโรงเรือนจะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $1,305 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  ส่วนด้านในโรงเรือนจะมีค่า PPFD อยู่ในช่วง  $340 - 797 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  ซึ่งจะสังเกตได้ว่า จุดที่ 1 จะมีลักษณะแนวโน้มคล้ายกับค่า PPFD ด้านนอกโรงเรือนที่มีค่าเฉลี่ยทั้งวันเท่ากับ  $543 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  ส่วนจุดที่ 2-5 ในช่วงเช้าจะมีค่าอยู่ระหว่าง  $321 - 543 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  แต่หลังจากเวลา 12.00 น. ค่า PPFD จะลดลงมีค่าอยู่ที่  $171 - 435 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  ซึ่งแต่ละจุดมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงแต่จะเพิ่มขึ้นในช่วงกลางวัน ซึ่งมีค่าสูงสุดไม่เกิน  $587 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  ซึ่งเป็นค่าที่ยังคงต่ำกว่าปริมาณแสงที่สตรอเบอร์รี่ต้องการ



ภาพที่ 63 ค่า PPFD ด้านในและด้านนอกโรงเรือนทดสอบกรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์กึ่งโปร่งใสแบบติดฟิล์มสีแดง

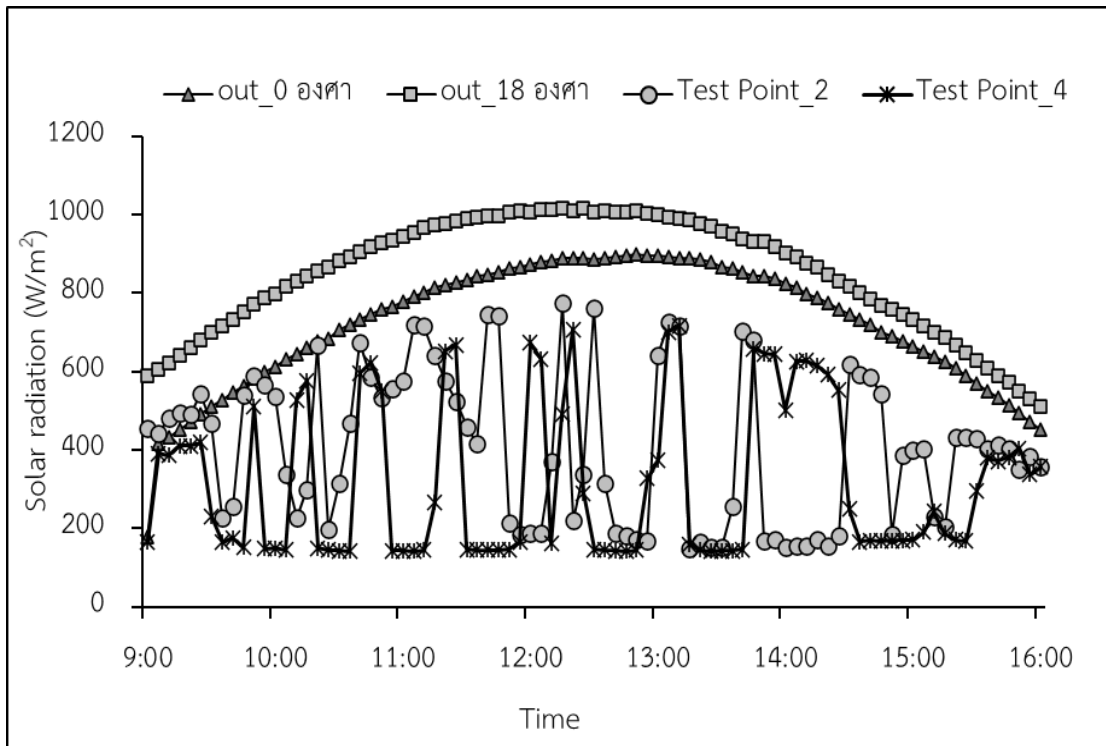
สำหรับผลการเปลี่ยนแปลงค่า PPFD ของฟิล์มสีแดงสลับสีน้ำเงิน แสดงดังภาพที่ 64 พบว่าการติดฟิล์มไม่เหมาะสมกับการนำมาใช้ในการติดตั้งกับโรงเรือนต้นแบบเพราะแสงส่องผ่านโรงเรือนในปริมาณน้อยและไม่เหมาะสมกับความต้องการของสตรอเบอร์รี่ ซึ่งเมื่อเทียบกับแบบไม่ติดฟิล์มจะเห็นได้ชัดว่าปริมาณแสงเข้าสู่โรงเรือนในจำนวนปริมาณมาก ซึ่งตลอดทั้งวันค่า PPFD ด้านนอกโรงเรือนจะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $1,300 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  ส่วนค่า PPFD จุดที่ 1 มีค่าการเปลี่ยนแปลงคล้ายกับค่า PPFD ด้านนอกโรงเรือน ที่มีค่าเฉลี่ยทั้งวันเท่ากับ  $675 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  ส่วนจุดที่ 2-5 จะมีค่า PPFD อยู่ในช่วง  $330\text{-}658 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  และมีค่าเฉลี่ยทั้งวันอยู่ที่  $507 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$



ภาพที่ 64 ค่า PPFD ด้านในและด้านนอกโรงเรือนทดสอบกรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์กึ่งโปร่งใสแบบติดฟิล์มสีแดงสลัสน้ำเงิน

#### 4.1.2 แผงเซลล์แสงอาทิตย์กึ่งโปร่งใสกรณีรูปแบบการจัดวางเซลล์แบบเว้นระยะห่างแบบที่ 2

จากภาพที่ 65 ค่ารังสีอาทิตย์บริเวณด้านนอกโรงเรือนแบบไม่ติดฟิล์ม แนวเอียงที่  $18^\circ$  มีค่ารังสีอาทิตย์ตลอดทั้งวัน ณ เวลาต่างๆ สูงสุดเนื่องจากเป็นมุมที่สามารถรับค่ารังสีอาทิตย์ได้ดี มีค่ารังสีอาทิตย์สูงสุด  $1,017 \text{ W/m}^2$  ต่ำสุด  $511 \text{ W/m}^2$  และมีค่าเฉลี่ย  $850 \text{ W/m}^2$  รองลงมาเป็น บริเวณนอกโรงเรือนแนวระนาบที่  $0^\circ$  โดยค่ารังสีอาทิตย์สูงสุด  $900 \text{ W/m}^2$  ต่ำสุด  $177 \text{ W/m}^2$  และมีค่าเฉลี่ย  $724 \text{ W/m}^2$  สำหรับด้านในโรงเรือนบริเวณตำแหน่งกลางโรงเรือนจำลองหรือจุดที่ 2 และจุดวัดค่ารังสีอาทิตย์จุดที่ 4 บริเวณด้านด้านในของด้านหลังโรงเรือนมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันมีค่ารังสีอาทิตย์ที่ต่ำกว่าด้านนอกเป็นเพราะบริเวณด้านในโรงเรือนค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบจะส่องผ่านวัสดุคลุมโรงเรือนประกอบด้วยผ่านแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสตกกระทบมากที่สุดทำให้ค่ารังสีอาทิตย์รวมมีค่าลดลงมีเงาของเซลล์ของแผงโซลาร์เซลล์แบบกึ่งโปร่งใสตกกระทบมากที่สุดทำให้ค่ารังสีอาทิตย์มีค่าต่ำเมื่อโดยเงาจากแผง แต่เมื่อเวลาดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ผ่านไปตามเวลาค่ารังสีอาทิตย์ได้ส่องผ่านกระจกที่เป็นวัสดุโปร่งใสทำให้บางเวลาค่ารังสีอาทิตย์มีค่าเพิ่มขึ้น โดยมีค่าเฉลี่ย  $408 \text{ W/m}^2$  และ  $320 \text{ W/m}^2$  ตามลำดับ

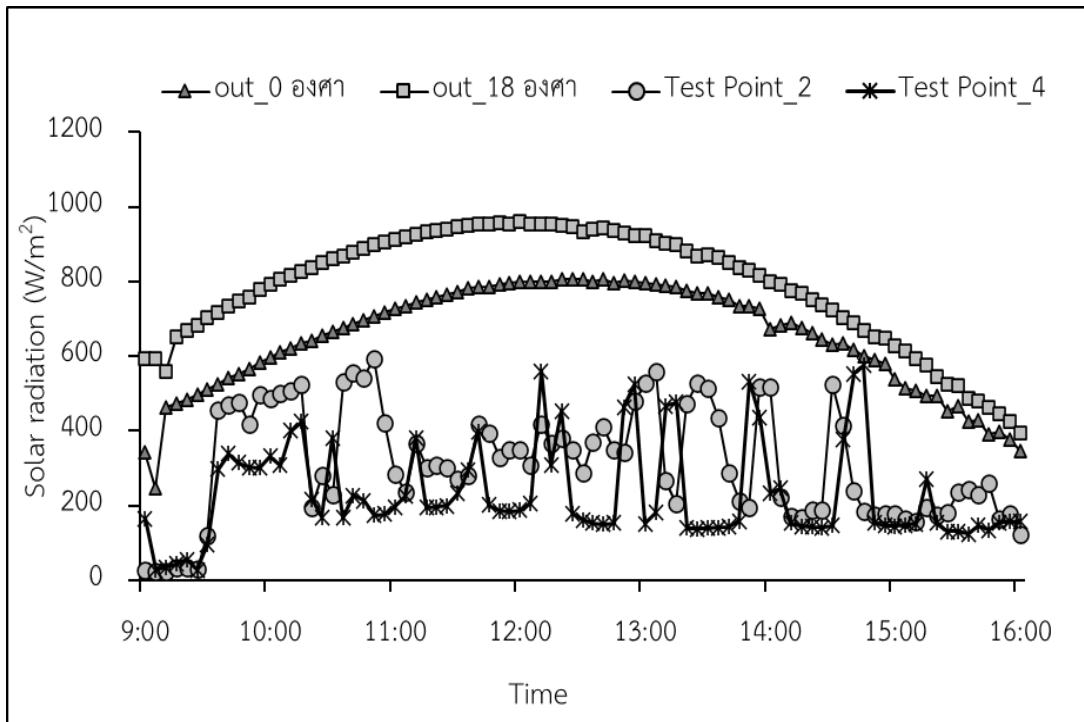


ภาพที่ 65 ค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบด้านในและด้านนอกโรงเรือนทดสอบ

กรณีศึกษา แบบไม่ติดฟิล์ม

ภาพที่ 66 การที่เลือกฟิล์มสีแดงและสีน้ำเงินมาศึกษา เนื่องจากแสงที่พืชนำมาใช้ประโยชน์ ในการสังเคราะห์แสงเพื่อการเจริญเติบโต สร้างใบ ดอก และผล โดยค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบด้าน ในและด้านนอกโรงเรือนทดสอบของฟิล์มสีน้ำเงิน จะพบว่า ค่ารังสีอาทิตย์นอกโรงเรือนแนวระนาบ ที่  $0^\circ$  ค่ารังสีอาทิตย์นอกโรงเรือนแนวเอียงที่  $18^\circ$  มีค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบมีค่าสูงกว่าด้านใน โรงเรือน โดยมีค่าเฉลี่ยตลอดทั้งวันเท่ากับ  $649 \text{ W/m}^2$  และ  $787.3 \text{ W/m}^2$  ตามลำดับ โดยเฉพาะ ช่วงเวลา 13.40 น. จะมีค่ารังสีอาทิตย์สูงมีค่าเท่ากับ 801 และ  $960.5 \text{ W/m}^2$  ตามลำดับ ส่วน point 2 ค่ารังสีอาทิตย์ตรงกลางด้านในโรงเรือนจะมีค่าสูงกว่าปกติอยู่ระหว่าง  $23.5\text{-}594 \text{ W/m}^2$  ซึ่งมี แนวโน้มค่ารังสีอาทิตย์เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับ point 4 ค่ารังสีอาทิตย์ด้านหลังโรงเรือนก็จะมี ลักษณะของการเปลี่ยนแปลงของค่ารังสีอาทิตย์แบบเดียวกับฟิล์มสีแดง ซึ่งตลอดทั้งวันจะมีค่าเฉลี่ย อยู่เท่ากับ  $232.2 \text{ W/m}^2$

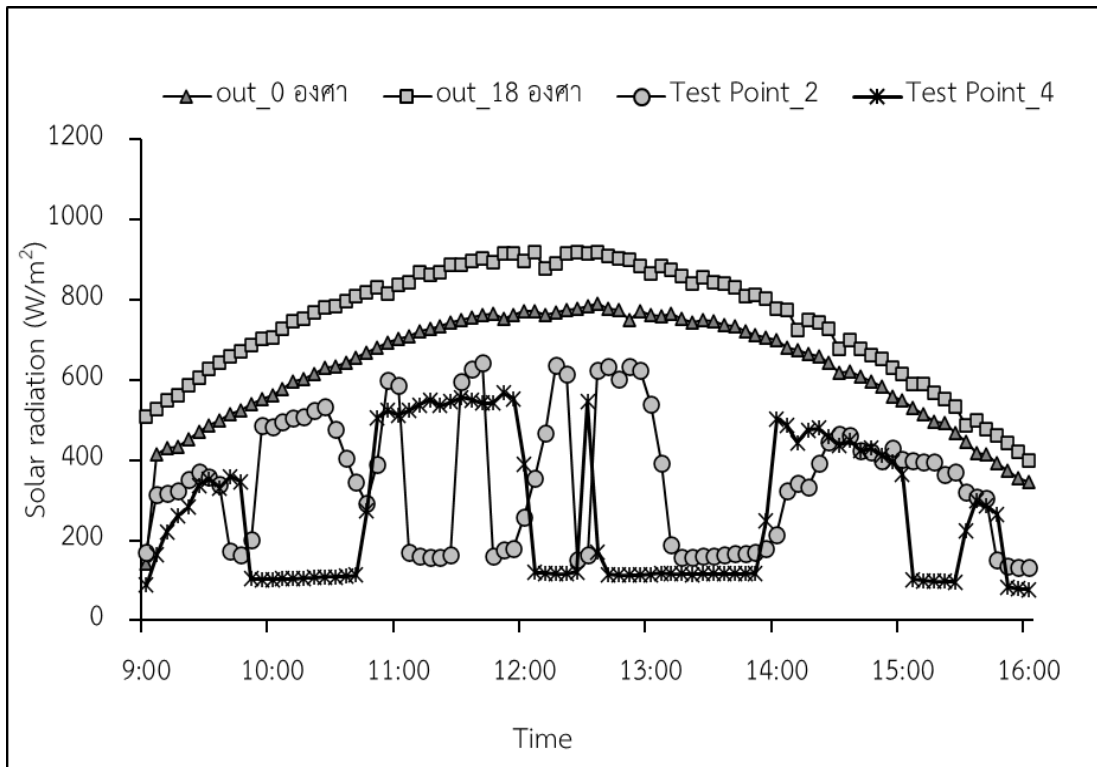




ภาพที่ 66 ค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบ้านในและด้านนอกโรงเรียนทดสอบ

กรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์กึ่งโปร่งใสแบบติดฟิล์มสีแดงสลับน้ำเงิน

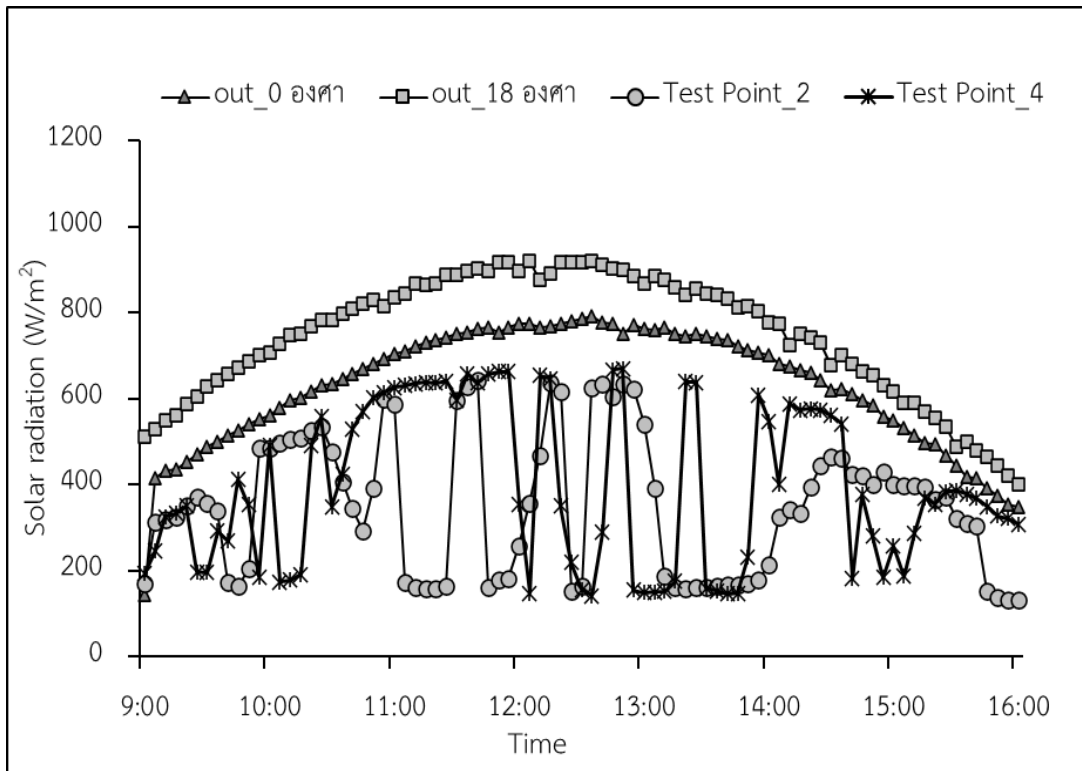
โดยภาพที่ 67 ค่ารังสีอาทิตย์นอกโรงเรียนฟิล์มสีแดงในแนวเอียงที่  $18^\circ$  มีค่ารังสีอาทิตย์ตลอดทั้งวัน ณ เวลาต่างๆ สูงสุดเนื่องจากเป็นมุมที่สามารถรับค่ารังสีอาทิตย์ได้ดี มีค่ารังสีอาทิตย์สูงสุด  $921 \text{ W/m}^2$  ต่ำสุด  $399 \text{ W/m}^2$  และมีค่าเฉลี่ย  $745.9 \text{ W/m}^2$  รองลงมาค่ารังสีอาทิตย์นอกโรงเรียนแนวระนาบที่  $0^\circ$  ค่าเฉลี่ยอยู่เท่ากับ  $629.6 \text{ W/m}^2$  ส่วนค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบ้านในโรงเรียนทดสอบจะพบว่า point 2 และ point 4 จะมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่ารังสีอาทิตย์เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับ ซึ่งตลอดทั้งวันจะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $350.3 \text{ W/m}^2$  และ  $270.6 \text{ W/m}^2$  ตามลำดับ



ภาพที่ 67 ค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบด้านในและด้านนอกโรงเรียนทดสอบ

กรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์กึ่งโปร่งใสแบบติดฟิล์มสีแดง

ค่ารังสีอาทิตย์นอกโรงเรียนฟิล์มสีน้ำเงิน แนวเอียงที่  $18^\circ$  มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับ ค่ารังสีอาทิตย์นอกโรงเรียนแนวระนาบที่  $0^\circ$  มีค่าสูงกว่าตำแหน่งอื่นๆ มีค่าสูงสุดเท่ากับ  $931 \text{ W/m}^2$  ต่ำสุด  $411 \text{ W/m}^2$  และมีค่าเฉลี่ย  $749 \text{ W/m}^2$  มีค่าสูงสุดเท่ากับ  $792 \text{ W/m}^2$  ต่ำสุด  $142 \text{ W/m}^2$  และมีค่าเฉลี่ย  $692.6 \text{ W/m}^2$  ตามลำดับ รองลงมาเป็นค่ารังสีอาทิตย์สำหรับตำแหน่งที่ 2 และตำแหน่งที่ 4 ซึ่งอยู่บริเวณภายในโรงเรียนจำลองพบว่า ค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบผ่านพลาสติกโพลีเอทิลีนที่ใช้คลุมผนังโรงเรียนทำให้มีค่าลดลงโดยมีค่าเฉลี่ย  $350.3 \text{ W/m}^2$  และ  $395.7 \text{ W/m}^2$  ตามลำดับ โดยในเวลาช่วงเช้าค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบมีค่าค่อนข้างสูงไม่มีการสลับเพิ่มขึ้นและลดลง ดังแสดงในภาพที่ 68



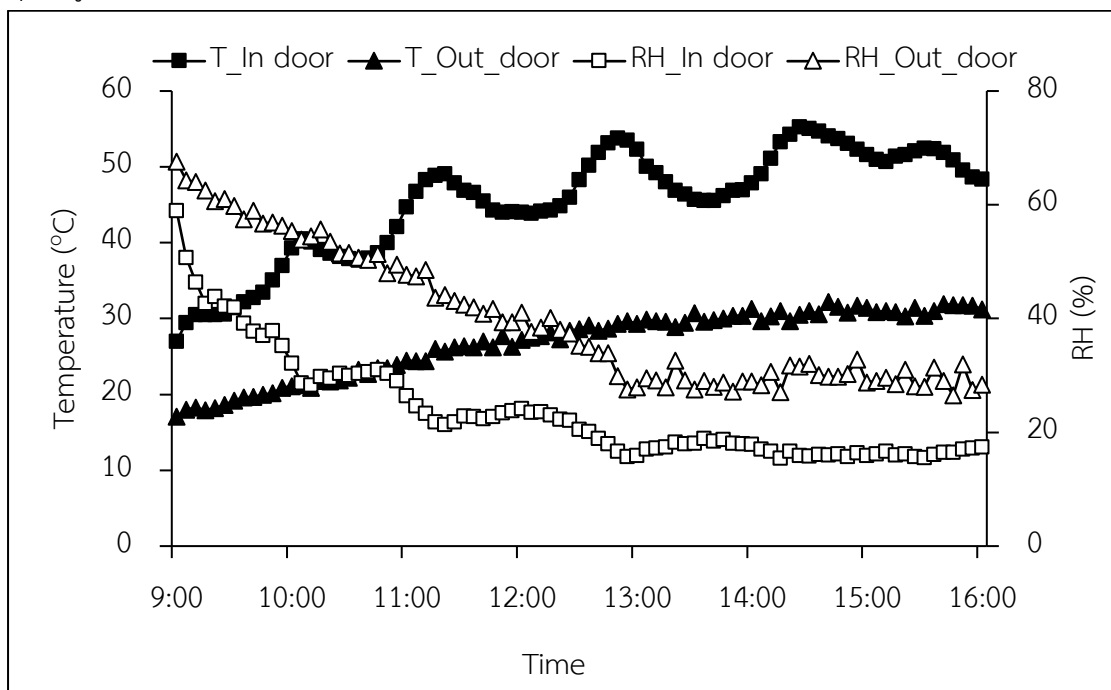
ภาพที่ 68 ค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบด้านในและด้านนอกโรงเรียนทดสอบ

กรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์กึ่งโปร่งใสแบบติดฟิล์มสีน้ำเงิน

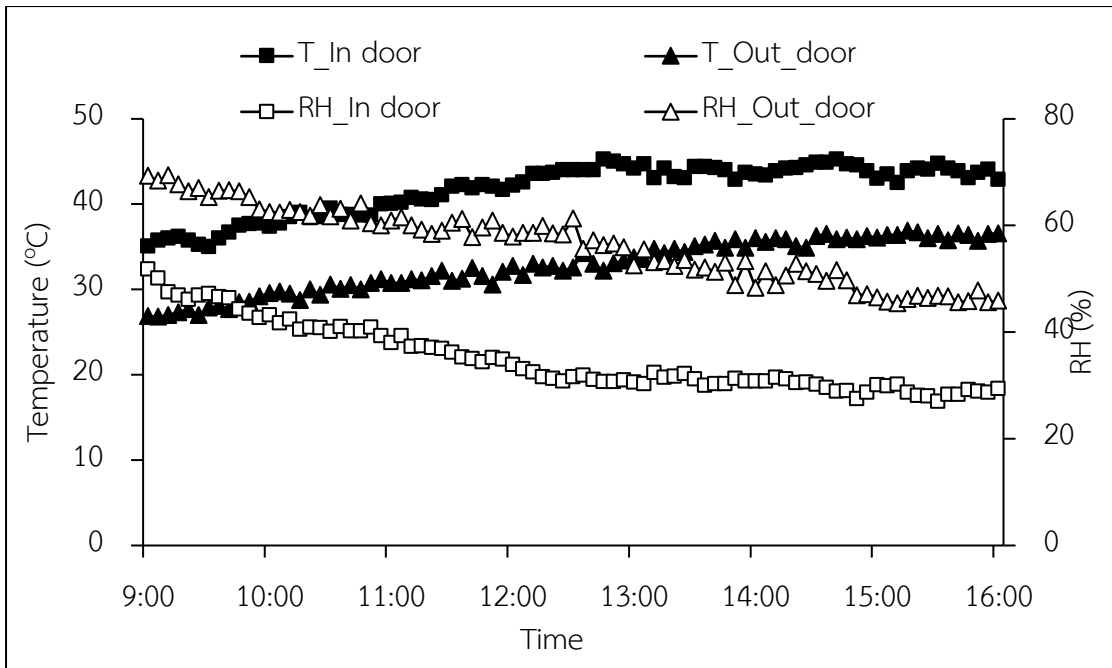
การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์อากาศด้านในและด้านนอกโรงเรียนทดสอบ โดยทดสอบสีของฟิล์ม ได้แก่ แบบไม่ติดฟิล์ม ฟิล์มสีน้ำเงิน ฟิล์มสีแดง และฟิล์มสีแดงสลับน้ำเงิน ได้กำหนดจุดวัดอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์อากาศ ทั้งหมด 4 จุด ได้แก่ อุณหภูมิอากาศด้านในและด้านนอกโรงเรียน 2 จุด และความชื้นสัมพัทธ์อากาศด้านในและด้านนอกโรงเรียน 2 จุด เริ่มทำการทดสอบเวลา 09:00-16:00 น. บันทึกข้อมูลทุก ๆ 5 นาที

จากภาพที่ 69 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์อากาศด้านในและด้านนอกโรงเรียน กรณีศึกษารูปแบบการจัดวางเซลล์ เริ่มทำการทดสอบในช่วงเวลา 9:00-16:00 นาที. ของเดือนเมษายน ซึ่งเป็นช่วงฤดูร้อน ท้องฟ้าปลอดโปร่ง และไม่มีกลุ่มเมฆหนา ผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์อากาศด้านในและด้านนอกโรงเรียนของรูปแบบการจัดวางเซลล์ทั้ง 4 รูปแบบ ได้แก่ แบบไม่ติดฟิล์ม ฟิล์มสีน้ำเงิน ฟิล์มสีแดง และฟิล์มสีแดงสลับน้ำเงิน แสดงดังภาพที่ 69 (ก)-(ง) พบว่า อุณหภูมิด้านในโรงเรียนมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศด้านนอกโรงเรียนเนื่องจากด้านในโรงเรียนมีการสะสมความร้อนจากการแผ่รังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบและส่องผ่านเข้าไปภายในโรงเรียน สำหรับช่องระบายอากาศแบบธรรมชาติสามารถช่วยลดอุณหภูมิภายในโรงเรียนได้ในระดับหนึ่งแต่ช่วยได้น้อยมาก เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่มีกระแสลมพัดผ่านเข้าไปยังภายในโรงเรียน โดยจะนำพาอากาศภายนอกที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าและความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่าเข้าไปยังภายใน

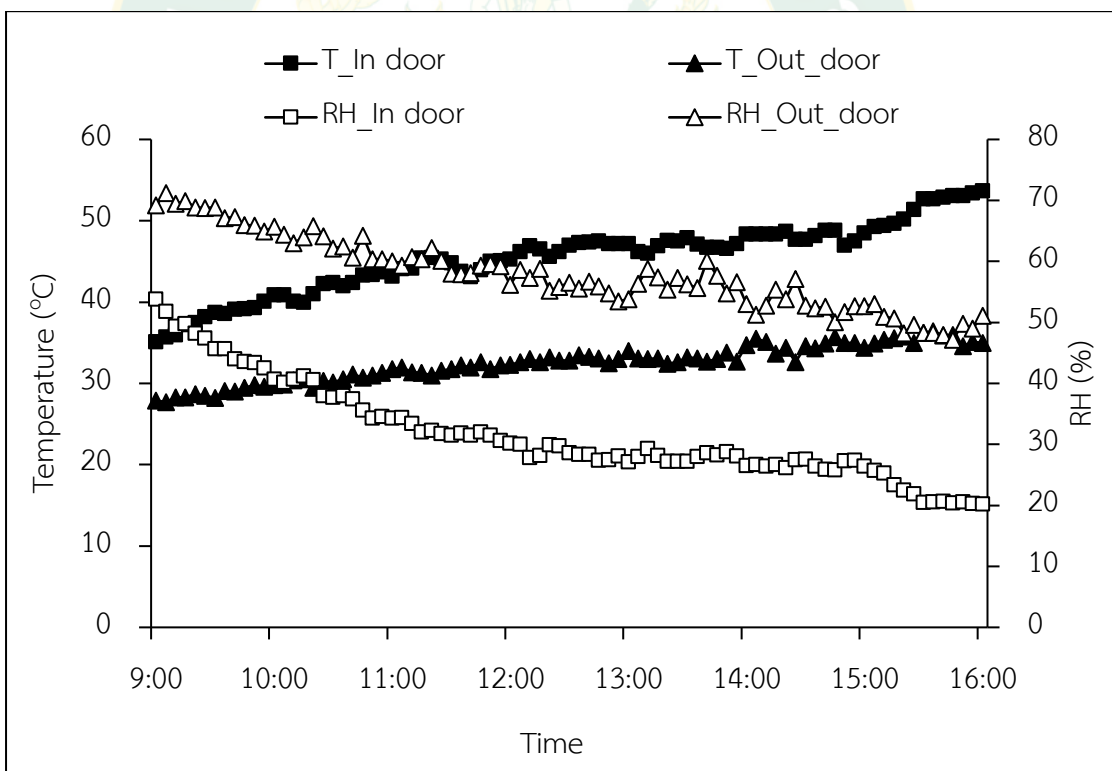
โรงเรือนทำให้เกิดแลกเปลี่ยนอากาศภายในโรงเรือนจำลอง อากาศภายในที่มีอุณหภูมิสูงความหนาแน่นของอากาศต่ำจะลอยตัวออกไปยังช่องระบายอากาศด้านบนสุดของโรงเรือน โดยรูปแบบไม่ติดฟิล์ม มีอุณหภูมิอากาศภายในและภายนอกโรงเรือนแปรผันตั้งแต่ 45.3 °C และ 26.8 °C ตามลำดับ รูปแบบการติดแบบฟิล์มสีน้ำเงินมีอุณหภูมิอากาศภายในและภายนอกโรงเรือนแปรผันตั้งแต่ 41.7 °C และ 32.8 °C ตามลำดับ สำหรับรูปแบบการติดฟิล์มสีแดง มีอุณหภูมิอากาศภายในและภายนอกโรงเรือนแปรผันตั้งแต่ 45.4 °C และ 32.5 °C ตามลำดับ และรูปแบบการติดฟิล์มสีแดงสลับน้ำเงิน มีอุณหภูมิอากาศภายในและภายนอกโรงเรือนแปรผันตั้งแต่ 45.3 °C และ 27.5 °C



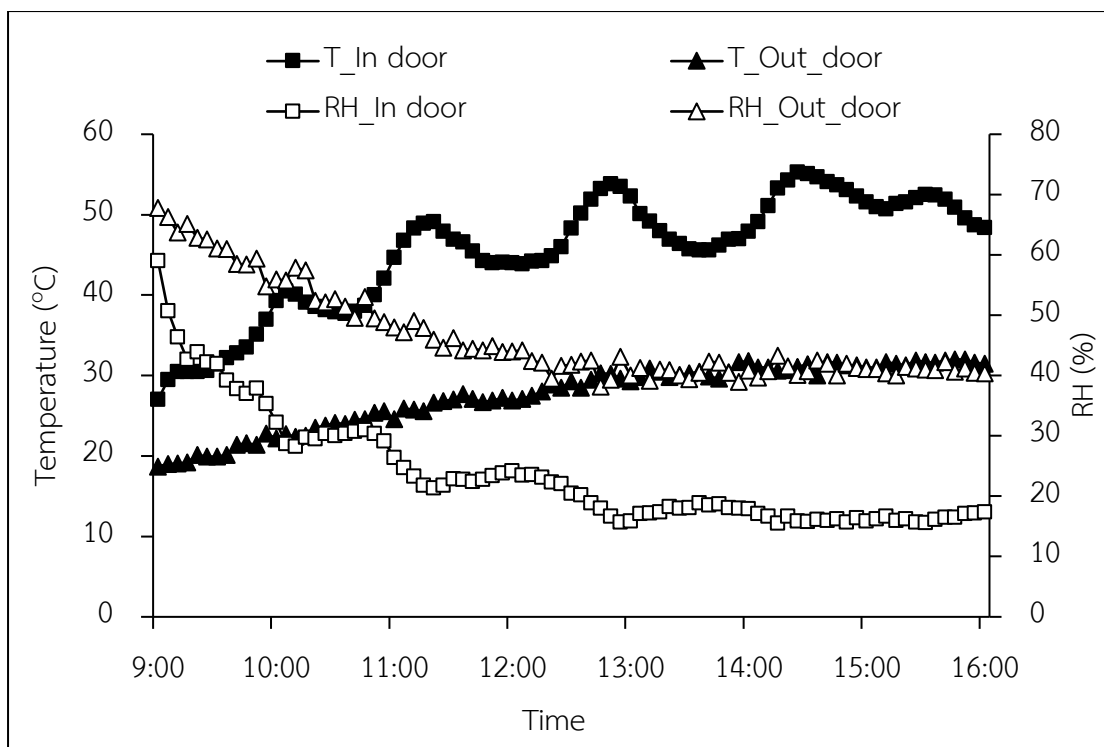
(ก) ไม่ติดฟิล์ม



(ข) फिल्मสีน้ำเงิน



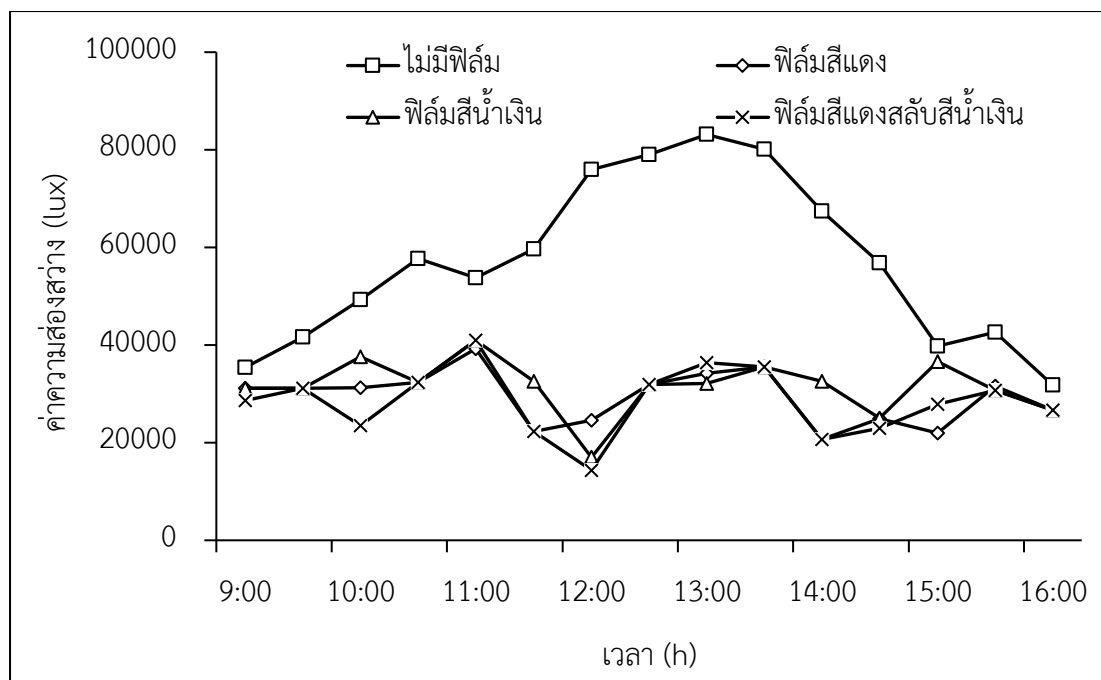
(ค) फिल्मสีแดง



(ง) फिल्मสีแดงสลับน้ำเงิน

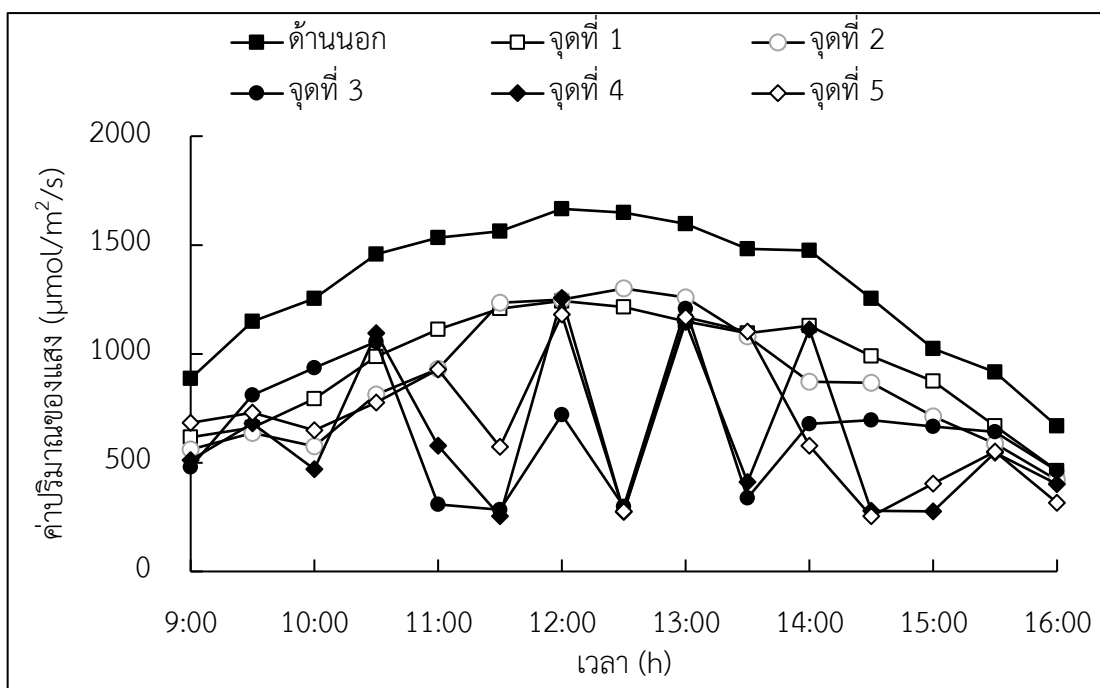
**ภาพที่ 69** สภาพอากาศด้านในและด้านนอกโรงเรียนทดสอบกรณีศึกษาสีของฟิล์มในแผงที่มีการจัดวางแบบเว้นระยะห่างแบบที่ 2

จากภาพที่ 70 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความส่องสว่างที่ผ่านแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสจำลองเข้าสู่ภายในโรงเรียนทดสอบพบว่า การจัดวางเซลล์แบบไม่ติดฟิล์มมีค่าความส่องสว่างของแสงมากที่สุดโดยมีค่าเฉลี่ยค่าความส่องสว่างเท่ากับ 56,943.14 Lux และค่าความส่องสว่างของการศึกษาการติดฟิล์มฟิล์มสีน้ำเงิน ฟิล์มสีแดง และฟิล์มสีแดงสลับน้ำเงินของทั้ง 3 รูปแบบมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงเช้าของวัน เมื่อดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ผ่านไปตามการเวลาค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบตัวโรงเรียนจำลองแสงที่สามารถส่องผ่านได้ ตัวผนังที่ทำมาจากพลาสติกโพลีเอทิลีน และผ่านกระจกของแผงแบบกึ่งโปร่งใสที่อยู่บริเวณระยะห่างของเซลล์กระดาศทำให้เวลานั้นค่ารังสีอาทิตย์มีค่าเพิ่มขึ้นขณะที่ค่ารังสีอาทิตย์ตกกระทบบริเวณที่มีเซลล์กระดาศจะทำให้เกิดเงาทำให้ความเข้มแสง ณ เวลานั้นลดลง สลับกันไปตลอดทั้งวัน โดยมีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยเท่ากับ 29,565.65 29,105.86 และ 29,085.98 Lux ตามลำดับ



ภาพที่ 70 ค่าความส่องสว่างกรณีศึกษาการจัดวางเซลล์ในรูปแบบวันระยะห่างแบบที่ 2

ในภาพที่ 71 กรณีไม่ติดฟิล์มพบว่า ค่า PPFD ตรงด้านนอกโรงเรือนจะมีปริมาณแสงเข้มมาก เพราะได้รับแสงโดยตรงจากดวงอาทิตย์โดยไม่มีเงาหรือโครงสร้างบัง ทำให้ค่า PPFD ตลอดทั้งวันมีค่าสูง ซึ่งมีค่าสูงสุดที่เวลา 12.00 น. เท่ากับ  $1,666 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  ค่าต่ำสุดเท่ากับ  $667.6 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  และเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ  $1,305 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  ขณะที่ค่า PPFD ณ จุดที่ 1-5 ซึ่งอยู่บริเวณด้านในโรงเรือน จำลองพบว่า ค่า PPFD จุดที่ 1 และ 2 มีแนวโน้มและลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่า PPFD ใกล้เคียงกับด้านนอกโรงเรือน เนื่องจากตำแหน่งของจุดที่อยู่บริเวณด้านหน้าของโรงเรือนค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบผนังด้านหน้าโรงเรือนผ่านพลาสติกคลุมเรือนเท่านั้นทำให้ค่า PPFD เป็นไปในทิศทางเดียวกับด้านนอกโรงเรือนแต่มีค่าที่ต่ำกว่า PPFD ตลอดทั้งวันมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $947 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$   $873 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$   $639 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$   $619 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  และ  $687 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $751 \mu\text{mol}/\text{m}^2$

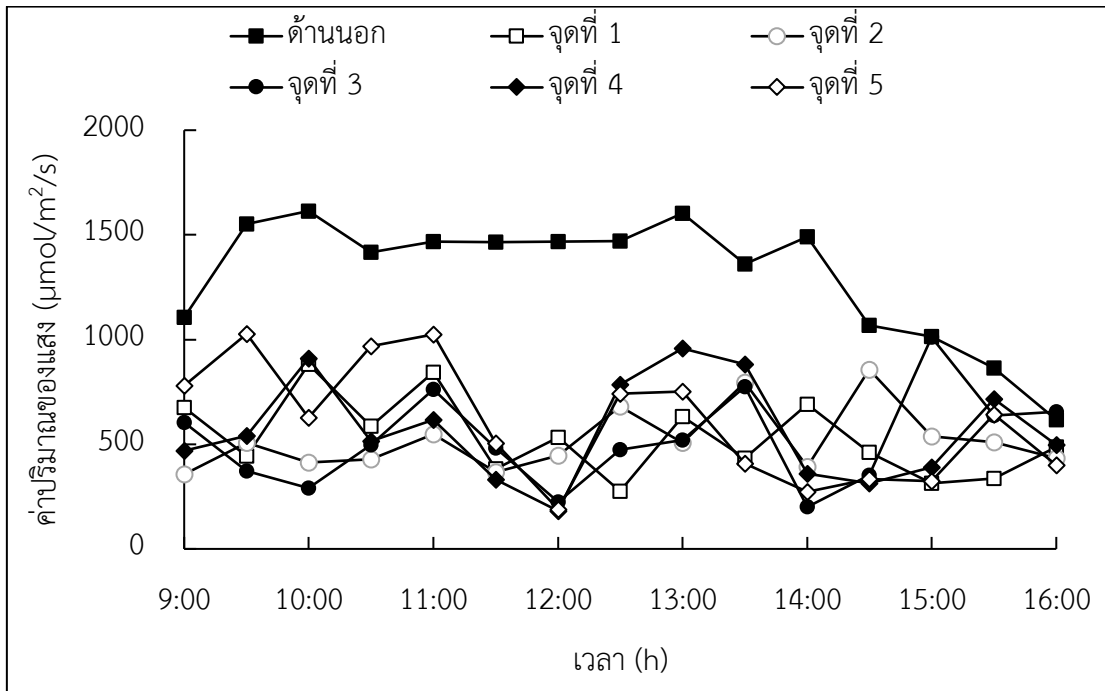


ภาพที่ 71 ค่า PPFD ด้านในและด้านนอกโรงเรียนทดสอบกรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์กึ่งโปร่งใสแบบไม่ติดฟิล์ม

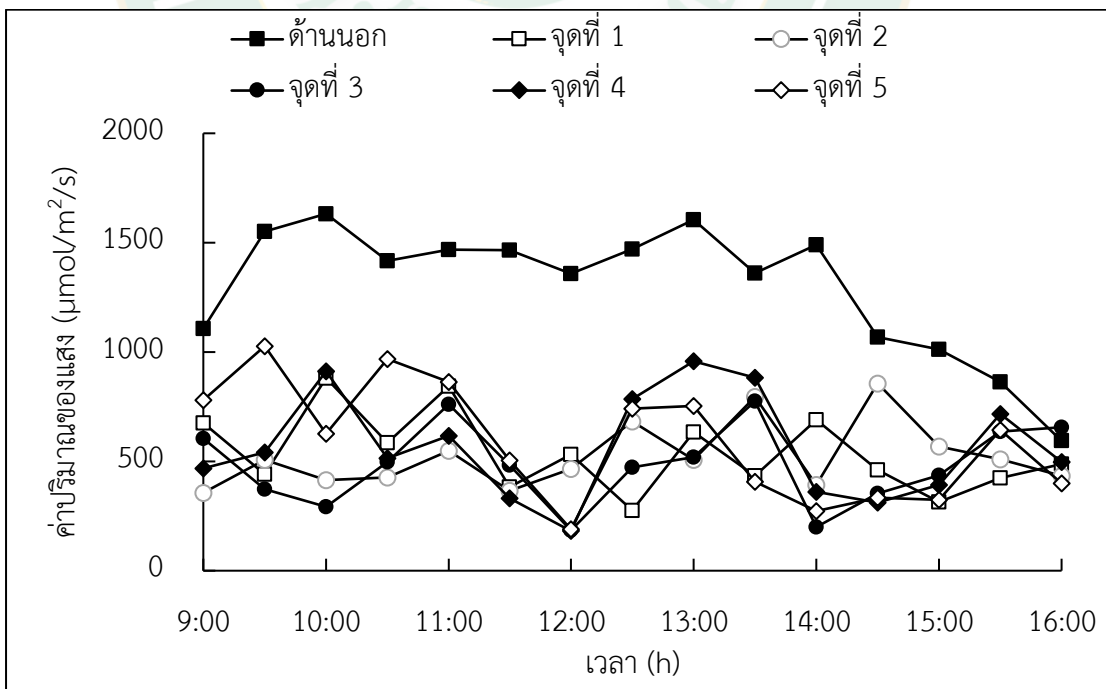
สำหรับการเปลี่ยนแปลงค่า PPFD ของการทดสอบสีของฟิล์มของจุดวัดพารามิเตอร์ทั้ง 6 จุด ในโรงเรียนได้แก่ ฟิล์มสีน้ำเงิน ฟิล์มสีแดง และฟิล์มสีแดงสลับน้ำเงิน แสดงในภาพที่ 72 (ข-ง) ซึ่งค่า PPFD ด้านนอกโรงเรียนจำลองค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $1,305 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$ ,  $1,297 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  และ  $1264 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  ตามลำดับ ขณะที่ในโรงเรียนจุดที่ 1 (In door 1) ของการศึกษาสีของฟิล์มทั้ง 3 รูปแบบ มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันมีการเพิ่มขึ้นและลดลงของค่า PPFD โดยมีค่าเฉลี่ยของการศึกษาฟิล์มสีน้ำเงิน ฟิล์มสีแดง และฟิล์มสีแดงสลับน้ำเงินเท่ากับ  $531.4 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$ ,  $537.3 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  และ  $510.1 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  ตามลำดับ ในจุดที่ 2 (In door 2) ของการศึกษาฟิล์มของทั้ง 3 รูปแบบพบว่า ค่า PPFD มีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ในช่วงเวลาตอนเช้า จากนั้นเพิ่มขึ้นมาช่วงเวลาประมาณ 12:30-13:30 น. เนื่องจากค่ารังสีอาทิตย์ได้ส่องผ่านกระจกที่เป็นระยะห่างระหว่างเซลล์กระดาษตกกระทบ ณ จุดที่ 2 และอีกช่วงเวลาประมาณ 14:00 น. เป็นต้นไปค่า PPFD ค่อยๆ เพิ่มขึ้นเนื่องจากดวงอาทิตย์ได้เคลื่อนไปทางทิศตะวันตกทำให้รังสีอาทิตย์ตกกระทบผนังด้านทิศตะวันตกส่องผ่านเข้ามาจุดที่ 2 ของทั้ง 3 กรณี ประกอบกับผนังด้านทิศตะวันตกไม่มีเงาจากวัตถุอื่นมาบังเช่นเดียวกับกรณีไม่มีการติดฟิล์ม โดยจุดที่ 2 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $524 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$ ,  $528 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  และ  $514 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  ตามลำดับ สำหรับจุดที่ 3-5 (In door) ของการศึกษาสีของฟิล์ม 3 รูปแบบ อยู่บริเวณด้านหลังโรงเรียนจำลอง พบว่า มีค่า PPFD ไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากเงาของแผงแบบกึ่งโปร่งใสจำลองมากกว่า ประกอบกับไม่ได้อยู่บริเวณติดกับผนังด้านทิศตะวันออกหรือผนังด้านทิศตะวันตกโดยฟิล์มสีน้ำเงิน



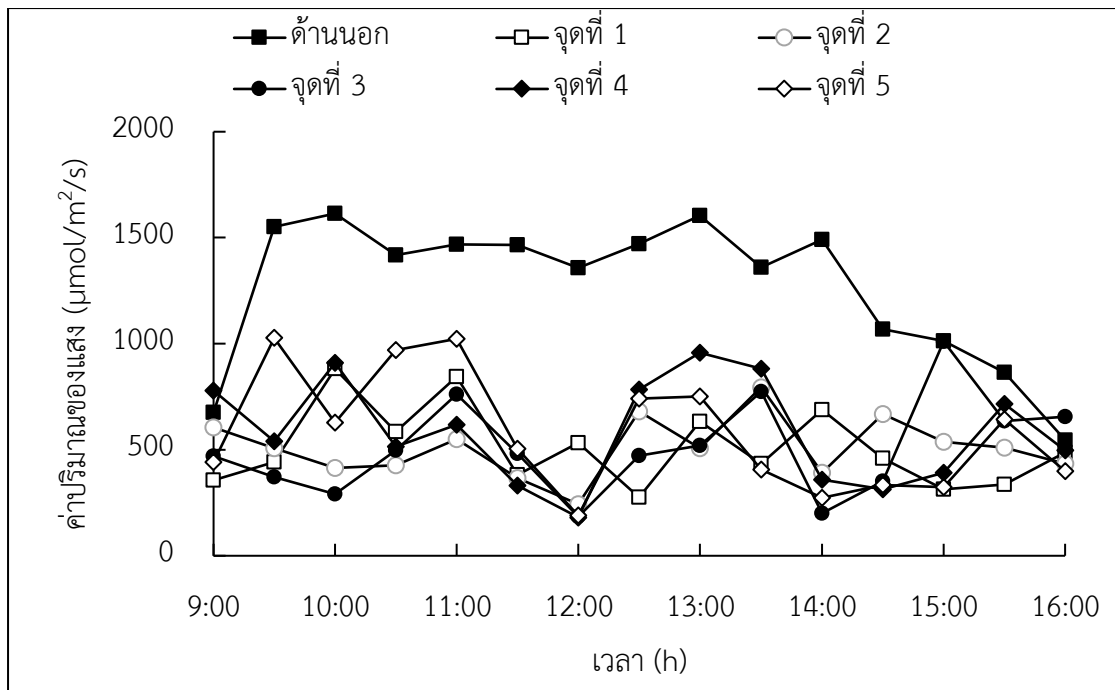
ฟิล์มสีแดง และฟิล์มสีแดงสลับน้ำเงินมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $526 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$   $481 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$   $526.1 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  ตามลำดับ ,  $529 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$   $564 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$   $585 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  และ  $599 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$   $588 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$   $576.9 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  ตามลำดับ



(ข) ฟิล์มสีน้ำเงิน



(ค) ฟิล์มสีแดง

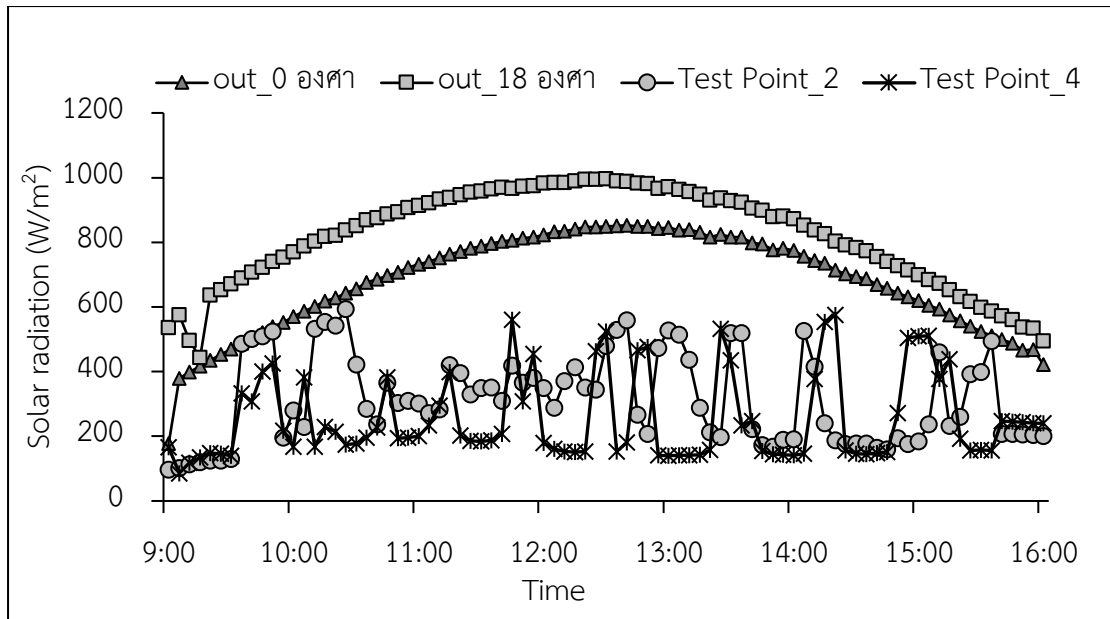


(ง) फिल्मสีแดงสลับน้ำเงิน

ภาพที่ 72 ค่า PPFD ด้านในและด้านนอกโรงเรือนทดสอบกรณีศึกษาสี่ของฟิล์มสีน้ำเงิน ฟิล์มสีแดง และฟิล์มสีแดงสลับน้ำเงิน

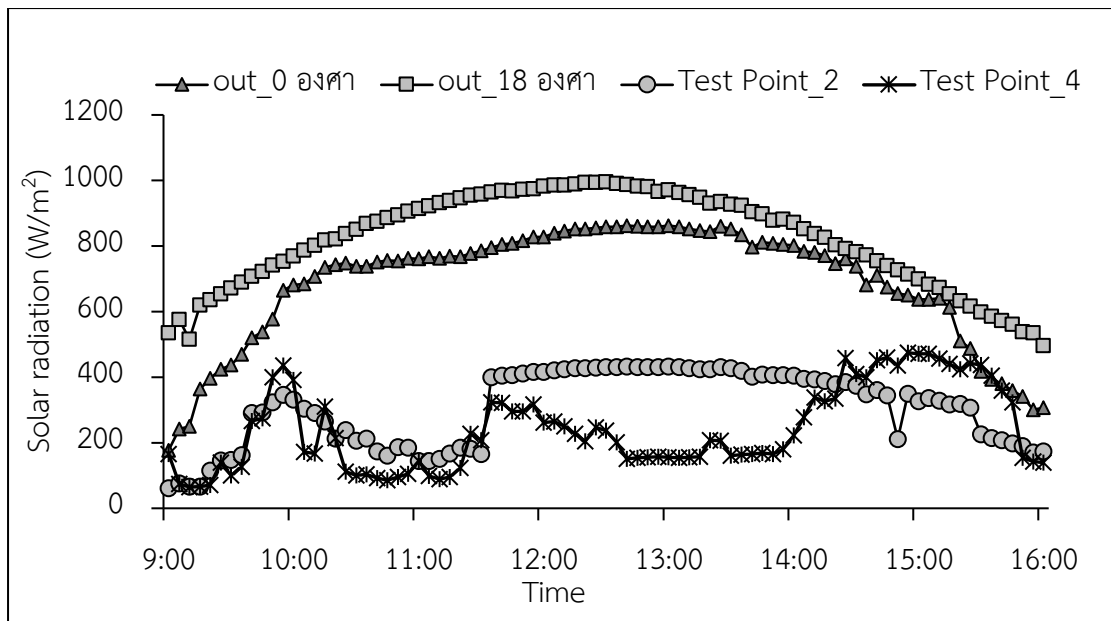
#### 4.1.3 แผงเซลล์แสงอาทิตย์กึ่งโปร่งใสกรณีรูปแบบการจัดวางเซลล์แบบแบบหมากรุก

ค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบด้านในและด้านนอกโรงเรือนทดสอบสำหรับการจัดวางรูปแบบหมากรุกแบบไม่ติดฟิล์ม ติดฟิล์มสีน้ำเงิน ฟิล์มสีแดง และฟิล์มสีแดงสลับน้ำเงิน โดยมีการกำหนดตำแหน่งของเซนเซอร์วัดค่ารังสีอาทิตย์ไว้ทั้งหมด 4 ตำแหน่ง เพื่อนำค่าที่ได้มาทำการเปรียบเทียบค่ารังสีอาทิตย์ในแต่ละตำแหน่ง ได้แก่ ค่ารังสีอาทิตย์นอกโรงเรือนแนวระนาบที่  $0^\circ$  ค่ารังสีอาทิตย์นอกโรงเรือนแนวเอียงที่  $18^\circ$  ค่ารังสีอาทิตย์ด้านในตรงกลางโรงเรือนที่ (Test Point 2) และค่ารังสีอาทิตย์ด้านหลังโรงเรือน (Test Point 4) โดยทดสอบ ณ เวลา 09:00-16:00 นาที บันทึกข้อมูลทุก ๆ 5 นาที



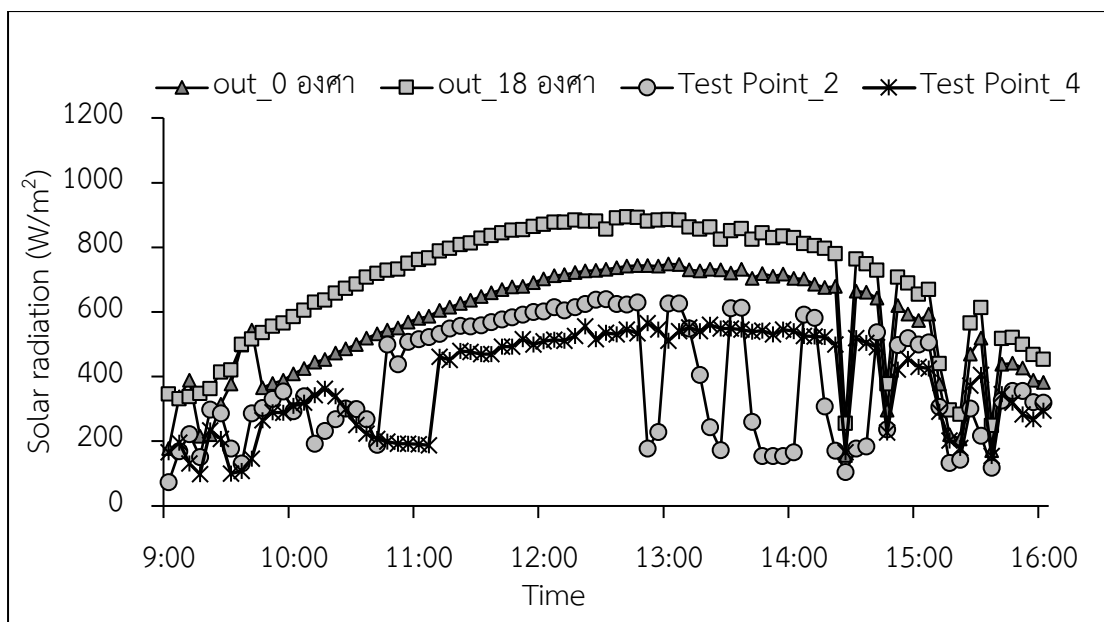
ภาพที่ 73 ค่ารังสีอาทิตย์สำหรับการจัดวางรูปแบบเซลล์แบบไม่ติดฟิล์ม

จากภาพที่ 73 แสดงค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบด้านในและด้านนอกโรงเรือนทดสอบแบบไม่ติดฟิล์ม จะพบว่า ค่ารังสีอาทิตย์นอกโรงเรือนแนวระนาบที่  $0^\circ$  ค่ารังสีอาทิตย์นอกโรงเรือนแนวเอียงที่  $18^\circ$  จะมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่ารังสีอาทิตย์เหมือนกับค่ารังสีอาทิตย์ ซึ่งตลอดทั้งวันจะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $678.4 \text{ W/m}^2$  และ  $816.7 \text{ W/m}^2$  ตามลำดับ ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่า point 2 และ point 4 จะมีค่ารังสีอาทิตย์น้อย และเปลี่ยนแปลงตามเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ เป็นเพราะจุดวัดที่ทำการติดตั้งจะวางอยู่ที่โครงสร้างของโรงเรือนเป็นผลให้ค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบมักจะถูกโครงสร้างของโรงเรือนบังไม่ให้แสงส่องผ่านมาได้ มีค่ารังสีอาทิตย์ที่สูงกว่าแบบติดฟิล์ม แต่ยังมีบางจุดที่มีค่าลดลงเป็นเพราะการวางเซลล์ที่วางชิดติดกัน เป็นผลให้มีค่าบางจุดน้อยกว่าจุดที่ไม่มีเซลล์มาบัง ซึ่งตลอดทั้งวันมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $613.7 \text{ W/m}^2$  และ  $254 \text{ W/m}^2$  ตามลำดับ



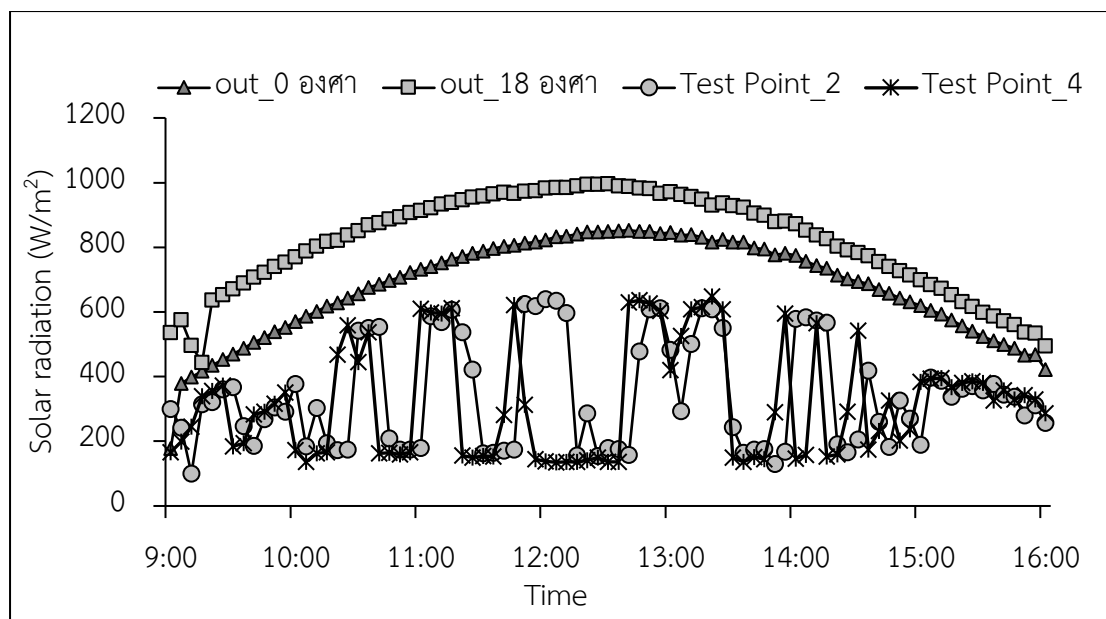
ภาพที่ 74 ค่ารังสีอาทิตย์สำหรับการจัดวางรูปแบบเซลล์แบบฟิล์มสีน้ำเงิน

โดยภาพที่ 74 การติดฟิล์ม ที่นำมาติดบริเวณกระจกที่อยู่ด้านหลังของ Solar cell ซึ่งการที่เลือกสีน้ำเงินมาศึกษา เนื่องจากแสงที่พืชนำมาใช้ประโยชน์ในการสังเคราะห์แสงเพื่อการเจริญเติบโต สร้างใบ ดอก และผล โดยค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบด้านในและด้านนอกโรงเรือนทดสอบของฟิล์มสีน้ำเงิน จะพบว่า ค่ารังสีอาทิตย์นอกโรงเรือนแนวระนาบที่  $0^\circ$  ค่ารังสีอาทิตย์นอกโรงเรือนแนวเอียงที่  $18^\circ$  มีค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบมีค่าสูงกว่าด้านในโรงเรือน โดยมีค่าเฉลี่ยตลอดทั้งวันเท่ากับ  $686.5 \text{ W/m}^2$  และ  $819.1 \text{ W/m}^2$  ตามลำดับ ส่วน point 2 ค่ารังสีอาทิตย์ตรงกลางด้านในโรงเรือนจะมีค่าอยู่ที่  $304.1 \text{ W/m}^2$  และ point 4 ค่ารังสีอาทิตย์ด้านหลังโรงเรือนก็จะมีลักษณะของการเปลี่ยนแปลงของค่ารังสีอาทิตย์ไม่คงที่มีเงาบัง ซึ่งตลอดทั้งวันจะมีค่าเฉลี่ยอยู่เท่ากับ  $204.9 \text{ W/m}^2$



ภาพที่ 75 ค่ารังสีอาทิตย์สำหรับการจัดวางรูปแบบเซลล์แบบฟิล์มสีแดง

ในภาพที่ 75 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่ารังสีอาทิตย์ของกรณีศึกษาแบบฟิล์มสีแดงพบว่าค่ารังสีอาทิตย์จุดวัดที่ ค่ารังสีอาทิตย์นอกโรงเรือนแนวระนาบที่  $0^\circ$  ค่ารังสีอาทิตย์นอกโรงเรือนแนวเอียงที่  $18^\circ$  มีค่าสูงสุดเท่ากับ  $894.7 \text{ W/m}^2$  ต่ำสุด  $248 \text{ W/m}^2$  และมีค่าเฉลี่ย  $687.5 \text{ W/m}^2$  รองลงมาเป็นค่ารังสีอาทิตย์นอกโรงเรือนแนวระนาบที่ตำแหน่ง  $0^\circ$  มีค่าสูงสุดเท่ากับ  $748.6 \text{ W/m}^2$  ต่ำสุด  $155.9 \text{ W/m}^2$  และมีค่าเฉลี่ย  $559.3 \text{ W/m}^2$  สำหรับตำแหน่งที่ 2 และตำแหน่งที่ 4 ซึ่งอยู่บริเวณภายในโรงเรือนจำลองพบว่าตำแหน่งที่ 2 ค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบผ่านพลาสติกโพลีเอทิลีนที่ใช้คลุมผนังโรงเรือนทำให้มีค่าลดลงโดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ  $639 \text{ W/m}^2$  ต่ำสุด  $74 \text{ W/m}^2$  และมีค่าเฉลี่ย  $382.4 \text{ W/m}^2$  ขณะที่ตำแหน่งที่ 4 ในเวลาช่วงเช้าค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบมีค่าค่อนข้างสูงสลับเพิ่มขึ้นและลดลง เมื่อดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ไปตามเวลาเหมือนกับกรณีจัดวางแบบเต็มพื้นที่แผงเนื่องจากระยะห่างระหว่างเซลล์มีระยะที่กว้างกว่า แต่ในเวลาช่วงบ่ายของวันค่ารังสีอาทิตย์จะมีการสลับเพิ่มขึ้นและลดลงเหมือนกับกรณีจัดวางเซลล์เต็มพื้นที่แผงโดยค่าสูงสุดเท่ากับ  $564.5 \text{ W/m}^2$  ต่ำสุด  $98 \text{ W/m}^2$  และมีค่าเฉลี่ย  $387.2 \text{ W/m}^2$



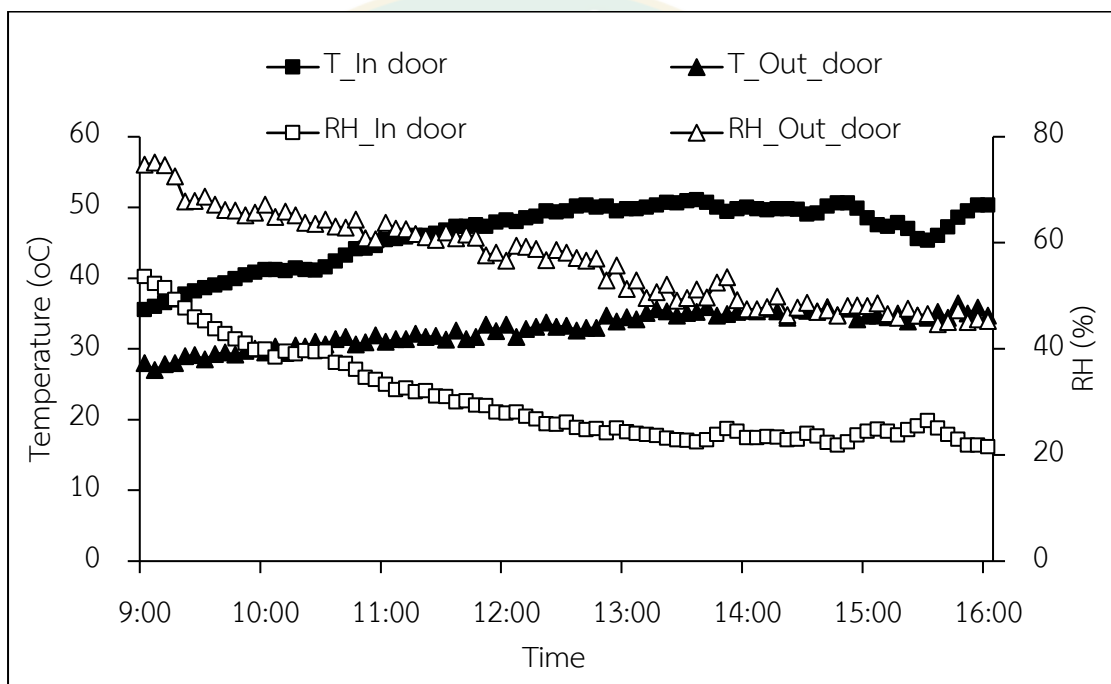
ภาพที่ 76 ค่ารังสีอาทิตย์สำหรับการจัดวางรูปแบบเซลล์แบบฟิล์มสีแดงสลับน้ำเงิน

ค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบด้านในและด้านนอกโรงเรือนของฟิล์มสีแดงสลับน้ำเงินที่จุดวัดทั้ง 4 จุด มีค่าแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันซึ่ง ค่ารังสีอาทิตย์นอกโรงเรือนแนวระนาบที่  $0^\circ$  ค่ารังสีอาทิตย์นอกโรงเรือนแนวเอียงที่  $18^\circ$  ก็ยังคงมีค่ารังสีอาทิตย์ที่สูงกว่าด้านในโรงเรือนที่เฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 678.4 และ 816.7 W/m<sup>2</sup> ตามลำดับ ส่วน point 2 และ point 4 ค่ารังสีอาทิตย์ก็จะถูกโครงสร้างของโรงเรือนและเซลล์ที่จัดวางชิดติดกันบดบัง ทำให้ค่ารังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านมายังด้านในโรงเรือนมีค่าน้อยซึ่งเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 342.8 และ 321.6 W/m<sup>2</sup> ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 76

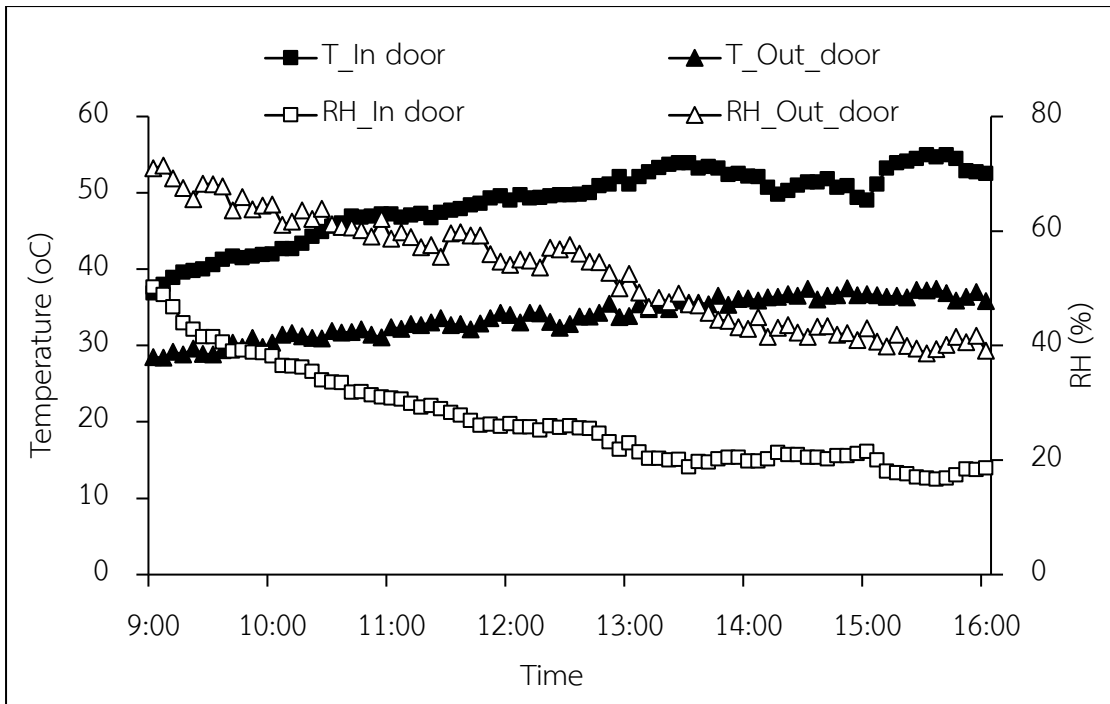
ผลการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์อากาศด้านในและด้านนอกโรงเรือนทดสอบ โดยทดสอบสีของฟิล์ม ได้แก่ แบบไม่ติดฟิล์ม ฟิล์มสีน้ำเงิน ฟิล์มสีแดง และฟิล์มสีแดงสลับน้ำเงิน ได้กำหนดจุดวัดอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์อากาศ ทั้งหมด 4 จุด ได้แก่ อุณหภูมิอากาศด้านในและด้านนอกโรงเรือน 2 จุด และความชื้นสัมพัทธ์อากาศด้านในและด้านนอกโรงเรือน 2 จุด เริ่มทำการทดสอบเวลา 09:00-16:00 นาฬิกา บันทึกข้อมูลทุก ๆ 5 นาที

ดังภาพที่ 77 (ก)-(ง) พบว่า อุณหภูมิด้านในโรงเรือนมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศด้านนอกโรงเรือนเนื่องจากด้านในโรงเรือนมีการสะสมความร้อนจากการแผ่รังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบและส่องผ่านเข้าไปภายในโรงเรือน สำหรับช่องระบายอากาศแบบธรรมชาติสามารถช่วยลดอุณหภูมิภายในโรงเรือนได้ในระดับหนึ่งแต่ช่วยได้น้อยมาก เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่มีกระแสลมพัดผ่านเข้าไปยังในตัวโรงเรือน โดยจะนำพาอากาศภายนอกที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าและความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่าเข้าไปยังภายในโรงเรือนทำให้เกิดแลกเปลี่ยนอากาศภายในโรงเรือนจำลอง อากาศภายในที่มีอุณหภูมิสูงความหนาแน่นของอากาศต่ำจะลอยตัวออกไปยังช่องระบายอากาศด้านบนสุดของโรงเรือน โดยรูปแบบไม่

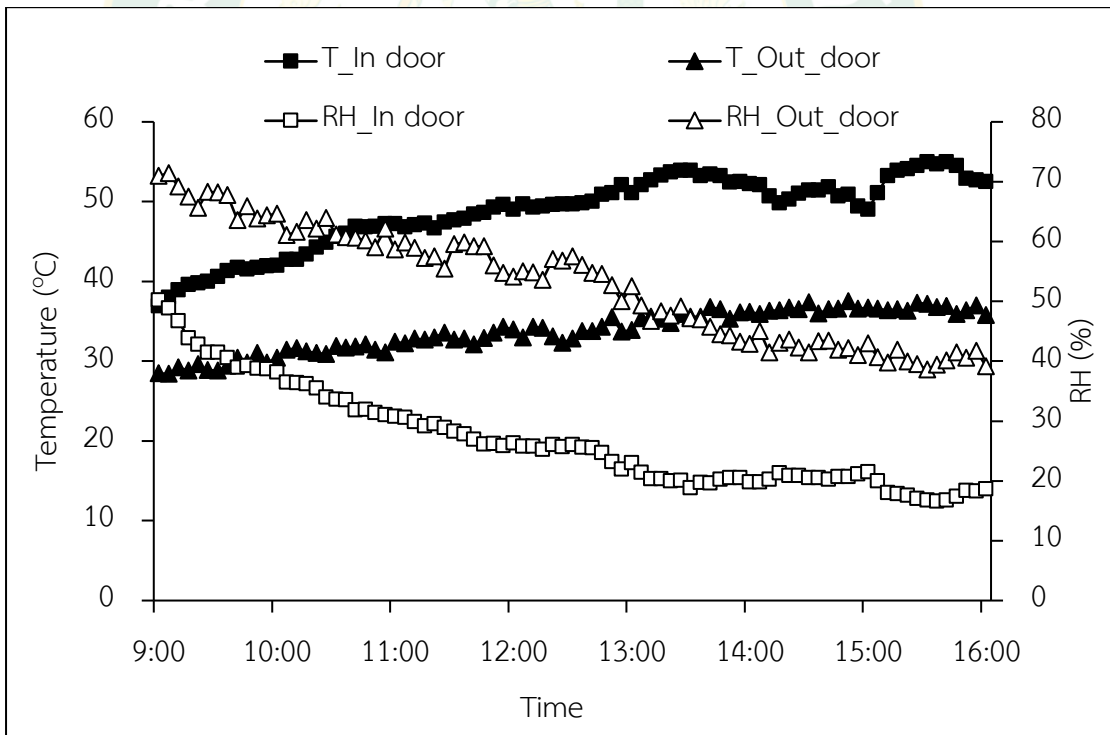
ติดฟิล์ม มีอุณหภูมิอากาศภายในและภายนอกโรงเรือนแปรผันตั้งแต่ 46.3°C และ 32.8 °C ตามลำดับ ขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์อากาศแปรผกผันกันค่าอุณหภูมิอากาศแปรผันตั้งแต่ 30.1%-56.5% ตามลำดับ รูปแบบการติดแบบฟิล์มสีน้ำเงินมีอุณหภูมิอากาศภายในและภายนอกโรงเรือนแปรผันตั้งแต่ 48.7 °C และ 33.7 °C ตามลำดับ สำหรับรูปแบบการติดฟิล์มสีแดง มีอุณหภูมิอากาศภายในและภายนอกโรงเรือนแปรผันตั้งแต่ 48.6 °C และ 33.8 °C ตามลำดับ และรูปแบบการติดฟิล์มสีแดง สลับน้ำเงิน มีอุณหภูมิอากาศภายในและภายนอกโรงเรือนแปรผันตั้งแต่ 44.5 °C และ 33 °C ตามลำดับ



(ก) ไม่ติดฟิล์ม

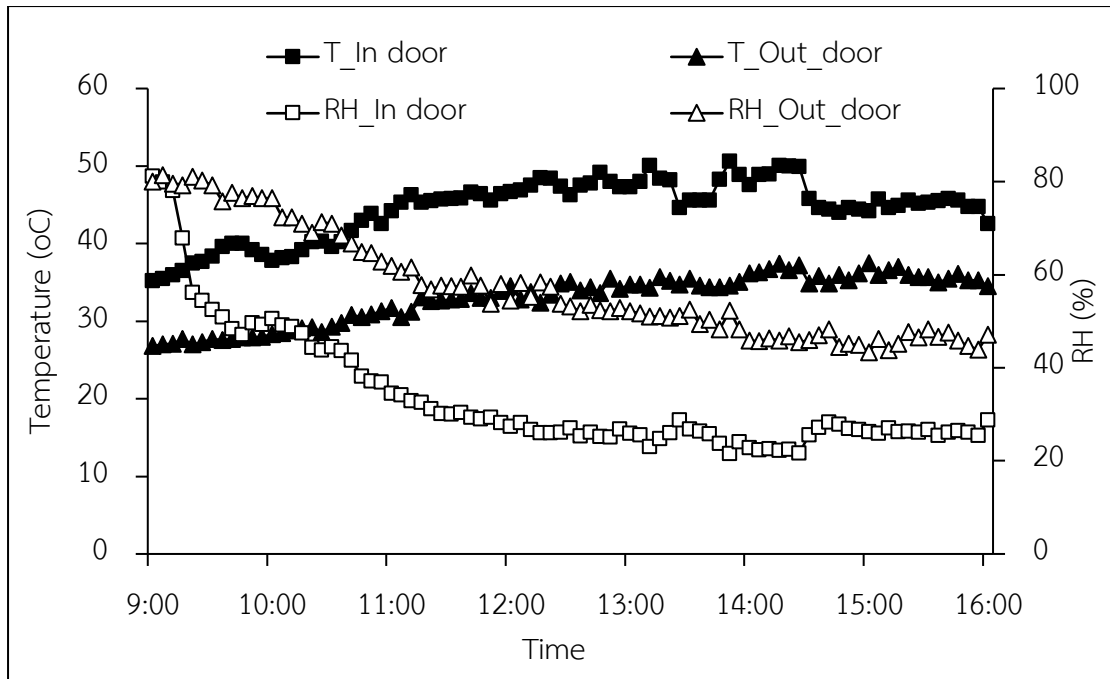


(ข) ฟิล์มสีน้ำเงิน



(ค) ฟิล์มสีแดง

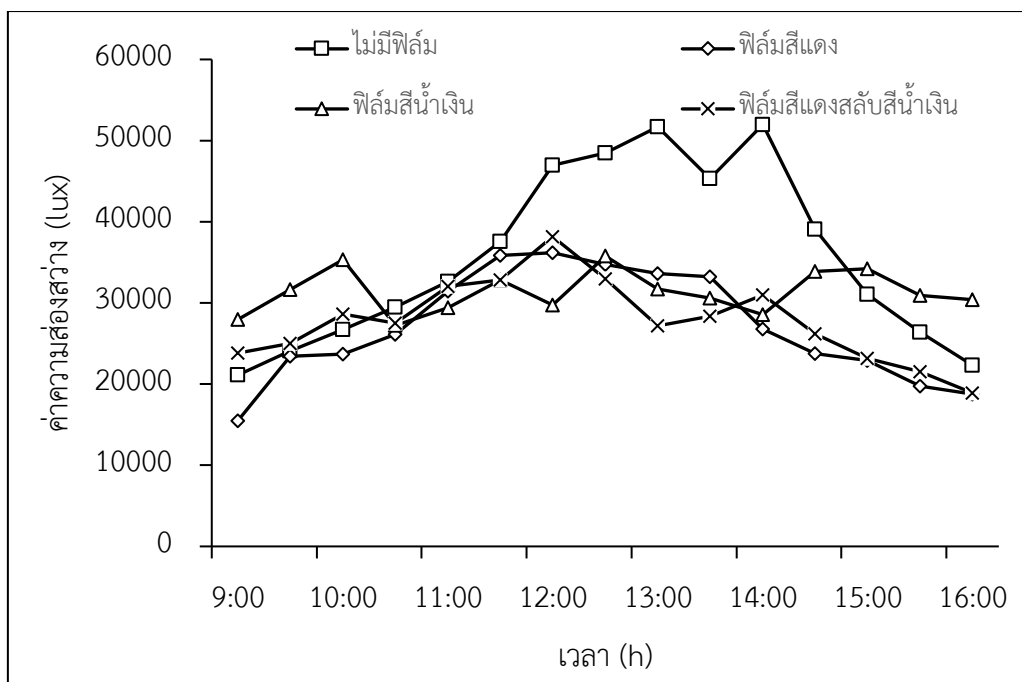




(ง)ฟิล์มสีแดงสลับน้ำเงิน

**ภาพที่ 77** ผลการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์อากาศด้านในและด้านนอก  
โรงเรียนทดสอบการจัดวางแบบหมากรุก

จากภาพที่ 78 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความส่องสว่างของแสงเข้าภายในโรงเรียนของ  
กรณีศึกษาการจัดวางเซลล์ 4 รูปแบบ ได้แก่ แบบไม่ติดฟิล์ม ฟิล์มสีน้ำเงิน ฟิล์มสีแดง และฟิล์มสีแดง  
สลับน้ำเงิน พบว่าค่าการส่องผ่านของแสงมรแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ของการศึกษาแผงจำลอง  
แต่ละการจัดวางของเซลล์ โดยมีค่าการส่องผ่านเฉลี่ยเท่ากับ 35,660.23 31,338.43 27,056.95 และ  
27,822.24 Lux ตามลำดับ สังเกตได้ว่าค่าการส่องผ่านของแผงจำลองแบบไม่ติดฟิล์ม มีค่าการส่อง  
ผ่านเฉลี่ยสูงสุดเนื่องจากในช่วงเช้ามีค่าการส่องผ่านสูง ขณะที่ค่าการส่องผ่านของแสงฟิล์มสีน้ำเงิน  
ฟิล์มสีแดง และฟิล์มสีแดงสลับน้ำเงิน มีค่าส่องผ่านของแสงสูงลดต่ำสลับกันไปตามช่วงเวลา

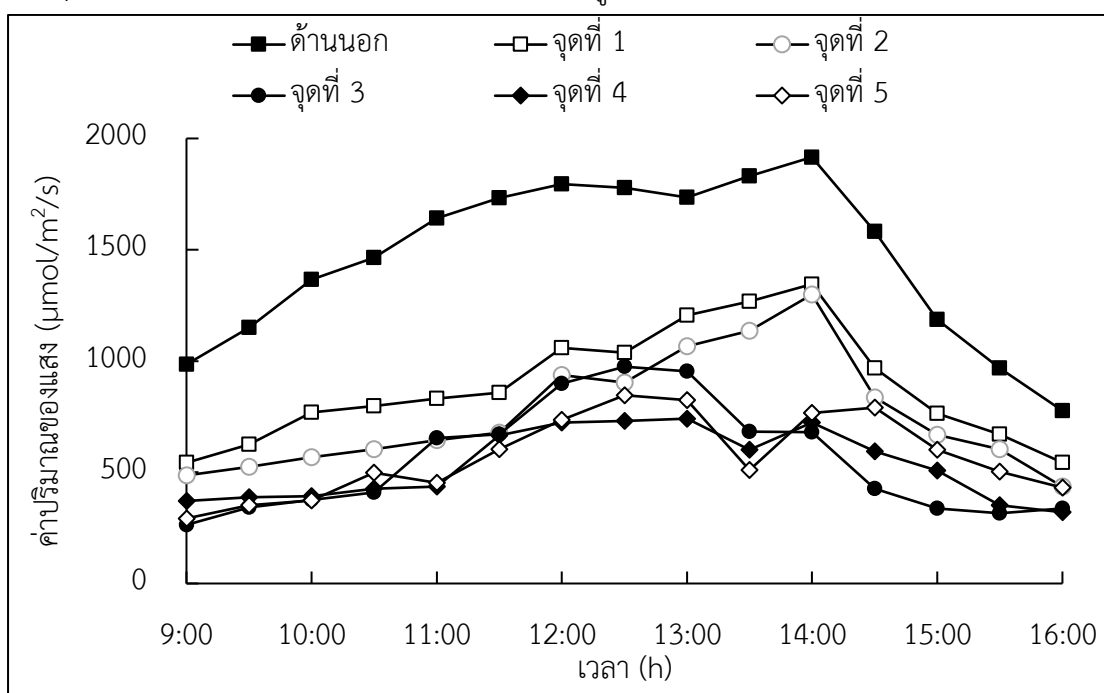


ภาพที่ 78 ค่าความส่องสว่างของแสงกรณีศึกษาการจัดวางเซลล์ในรูปแบบหมากจุก

ผลการเปลี่ยนแปลงค่า PPFD ด้านในและด้านนอกโรงเรือนทดสอบกรณีศึกษาสี่ของฟิล์มทดสอบสี่ของฟิล์ม ได้แก่ แบบไม่ติดฟิล์ม ฟิล์มสีน้ำเงิน ฟิล์มสีแดง และฟิล์มสีแดงสลับน้ำเงิน ได้กำหนดจุดวัดพารามิเตอร์ค่าปริมาณแสงทั้งหมด 6 จุด ได้แก่บริเวณด้านนอก และด้านในโรงเรือน 5 จุดคือ จุดที่ 1,2,3,4 และจุดที่ 5 โดยเริ่มทำการทดสอบเวลา 09:00-16:00 นาฬิกา มีบันทึกข้อมูลทุก ๆ 30 นาที การทดสอบการเปลี่ยนแปลงค่า PPFD ด้านในและด้านนอกโรงเรือนทดสอบกรณีศึกษาสี่ของฟิล์ม มีดังนี้

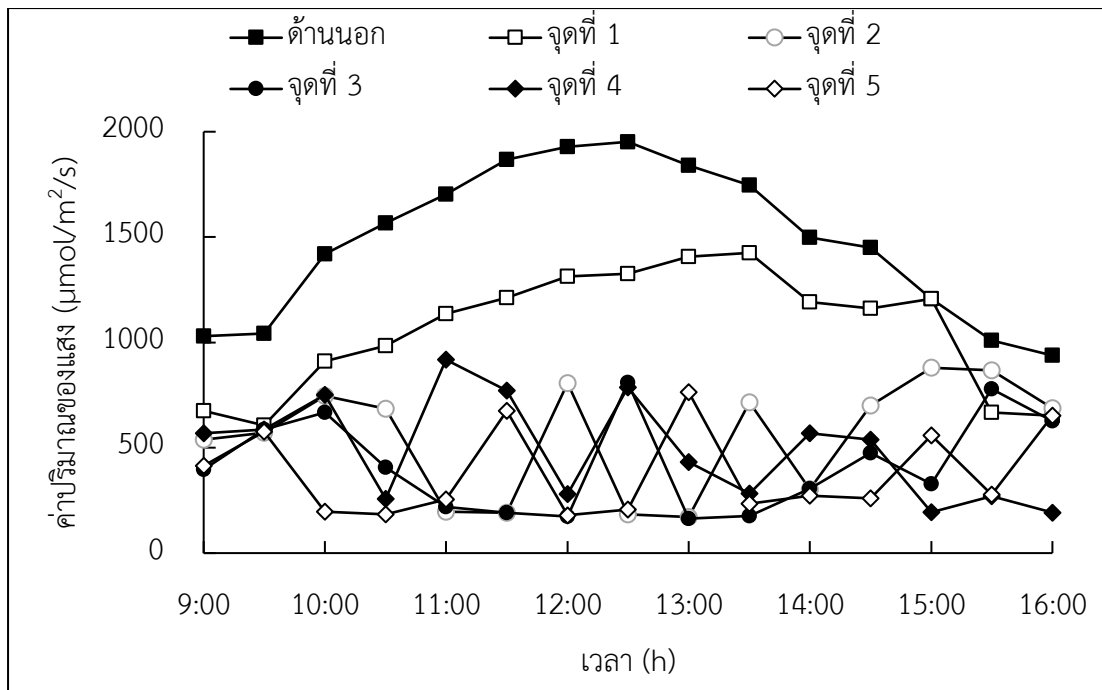
ในการเปลี่ยนแปลงค่า PPFD ด้านในและด้านนอกโรงเรือนทดสอบแบบไม่ติดฟิล์ม พบว่า ค่า PPFD ตรงด้านนอกโรงเรือนจะมีปริมาณแสงเข้มมากเพราะได้รับแสงโดยตรงจากดวงอาทิตย์โดยไม่มีเงาหรือโครงสร้างบัง เป็นผลให้ค่า PPFD ตลอดทั้งวันมีค่าสูงซึ่งโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 1,460.2  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  ซึ่งมีค่าสูงสุดที่เวลา 14.00 น. เท่ากับ 1,916  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  และค่าต่ำสุดเท่ากับ 776.6  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  ส่วนค่า PPFD จุดที่ 1-5 จะเป็นการเปลี่ยนแปลงค่า PPFD ด้านในโรงเรือน ซึ่งจะสังเกตได้ว่า จุดที่ 1 จะมีแนวโน้มและลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่า PPFD ใกล้เคียงกับด้านนอกโรงเรือน เนื่องจากมีการวางจุดพารามิเตอร์ใกล้เคียงกัน จึงทำให้ค่า PPFD เป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยที่ตลอดทั้งวันจะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 885.1  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  ส่วนจุดที่ 2 ค่า PPFD ตรงกลางโรงเรือนจะมีการเปลี่ยนแปลงตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ที่ขึ้นจากทิศตะวันออกไปทางทิศตะวันตก จะพบว่าการเปลี่ยนแปลงช่วงเวลา 10.30-14.00 น. จะคล้ายกับจุดที่ 1 แต่เมื่อถึงเวลา 10.30 น. ค่า PPFD จะต่ำลงและเวลาถัดมาจะมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้ค่า PPFD ที่ได้มีค่าแปรปรวน เนื่องจากถูกโครงสร้างของ

โรงเรือนและการจัดวางของเซลล์ที่เรียงชิดติดกันทำให้ปริมาณแสงผ่านช่องว่างระหว่างเซลล์กับเซลล์ผ่านเข้ามาโรงเรือนในปริมาณน้อย โดยตลอดทั้งวันที่จุดที่ 2 จะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $782.2 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  เช่นเดียวกับจุดที่ 3 4 และ 5 จะมีแนวโน้มผลการเปลี่ยนแปลงค่า PPFD ไปในทิศทางเดียวกัน โดยที่ตลอดทั้งวันของการทดสอบจะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $593.4 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$ ,  $531.2 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  และ  $571.6 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  ตามลำดับ ซึ่งจะสังเกตได้ว่าค่า PPFD ภายในโรงเรือนทั้ง 5 จุด จะมีค่าต่ำกว่าไม่ต่ำกว่า  $400 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  ซึ่งเป็นช่วงแสงที่เหมาะสมกับการปลูกสตรอเบอร์รี่ที่ต้องการ ดังแสดงในภาพที่ 79



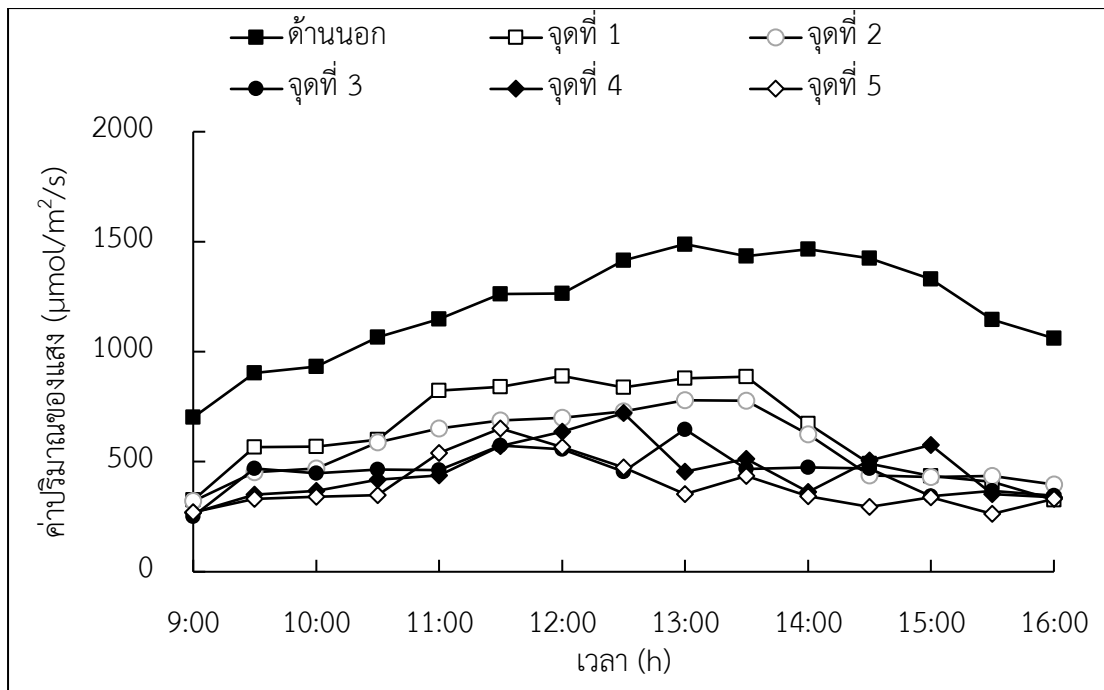
ภาพที่ 79 ผลของการเปลี่ยนแปลงค่า PPFD ด้านในและด้านนอกโรงเรือนทดสอบแบบไม่ติดฟิล์ม

การศึกษาค่า PPFD ของการทดสอบสีฟิล์มของฟิล์มที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืชพบว่า ค่า PPFD ของฟิล์มสีน้ำเงินจะมีแนวโน้มค่าการเปลี่ยนแปลงเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับแบบไม่ติดฟิล์ม ซึ่งค่า PPFD ด้านนอกโรงเรือนและจุดที่ 1 ในโรงเรือน มีค่าใกล้เคียงกับแบบไม่ติดฟิล์ม ที่มีค่าเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่  $1,479.7 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  และ  $1058.2 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  ตามลำดับ ส่วนจุดที่ 2 3 4 และ 5 ด้านในโรงเรือนจะมีค่า PPFD อยู่ในช่วง  $380.6-539.6 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  แต่สำหรับจุดที่ 3 4 และ 5 จะสังเกตเห็นว่ามีค่า PPFD ต่ำและคงที่เป็นเวลามากกว่า 4 ชั่วโมง ซึ่งเป็นค่าที่ไม่เหมาะสมกับความต้องการปริมาณแสงของการปลูกสตรอเบอร์รี่ที่ต้องการมากกว่า  $400 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  อาจจะเป็นเพราะการติดฟิล์มทำให้แสงไม่สามารถส่องผ่านเข้ามาয়โรงเรือนได้ในปริมาณที่มากเมื่อเทียบกับแบบไม่ติดฟิล์ม โดยในโรงเรือนมีค่าเฉลี่ยที่  $580.3 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  ดังแสดงในภาพที่ 80



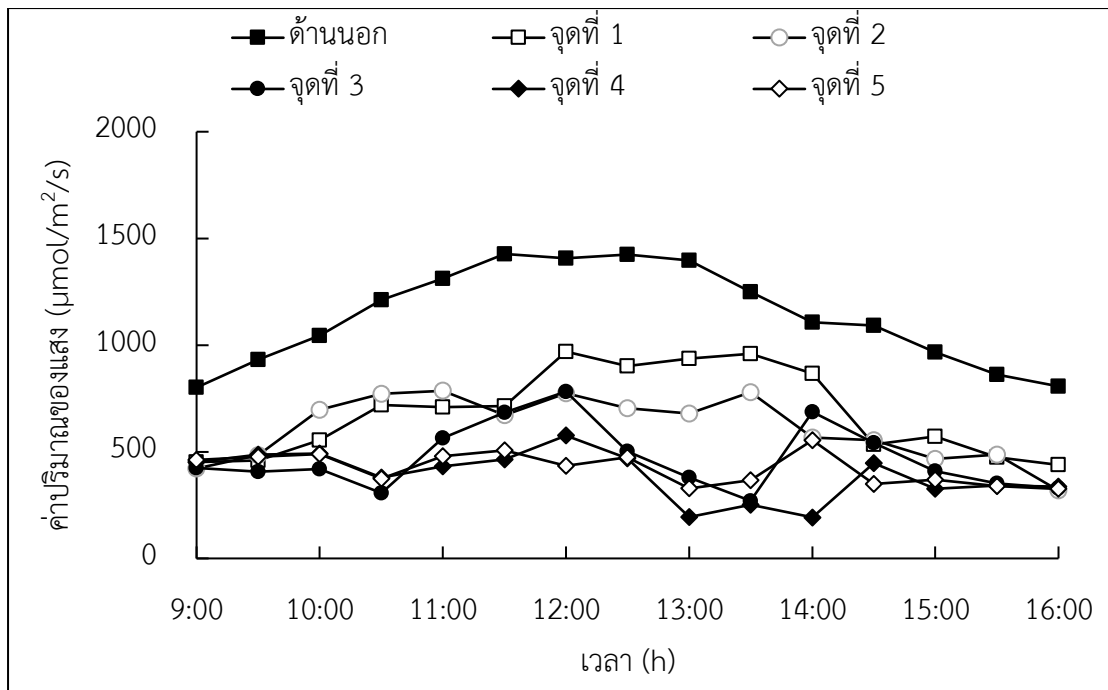
ภาพที่ 80 ผลของการเปลี่ยนแปลงค่า PPFD ด้านในและด้านนอกโรงเรือนทดสอบฟิล์มสีน้ำเงิน

เช่นเดียวกันกับในภาพที่ 81 ผลการเปลี่ยนแปลงค่า PPFD ของฟิล์มสีแดง พบว่า ค่า PPFD ไม่แตกต่างกันเมื่อเทียบกับฟิล์มสีน้ำเงิน โดยที่ตลอดทั้งวันค่า PPFD ด้านนอกโรงเรือนจะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $1,202.7 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  ส่วนด้านในโรงเรือนจะมีค่า PPFD อยู่ในช่วง  $252.2\text{-}889.7 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  ซึ่งจะสังเกตได้ว่า จุดที่ 1 2 3 4 และ 5 ในโรงเรือน จะมีลักษณะแนวโน้มคล้ายกันค่า PPFD ที่มีค่าเฉลี่ยทั้งวันเท่ากับ  $501 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  ส่วนจุดที่ 1-5 ในช่วงเช้าจะมีค่าอยู่ระหว่าง  $252.4\text{-}839.6 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  แต่หลังจากเวลา 12.00 น. ค่า PPFD จะลดลงมีค่าอยู่ที่  $263.1\text{-}886.1 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  ซึ่งแต่ละจุดมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงแต่จะเพิ่มขึ้นในช่วงกลางวัน ซึ่งเป็นค่าที่ยังคงต่ำกว่าปริมาณแสงที่สตรอเบอร์รี่ต้องการ



ภาพที่ 81 ผลของการเปลี่ยนแปลงค่า PPFD ด้านในและด้านนอกโรงเรือนทดสอบฟิล์มสีแดง

สำหรับผลการเปลี่ยนแปลงค่า PPFD ของฟิล์มสีแดงสลับสีน้ำเงิน แสดงดังภาพที่ 82 พบว่าการติดฟิล์มไม่เหมาะสมกับการนำมาใช้ในการติดตั้งกับโรงเรือนต้นแบบเพราะแสงส่องผ่านโรงเรือนในปริมาณน้อยและไม่เหมาะสมกับความต้องการของสตรอเบอร์รี่ ซึ่งเมื่อเทียบกับแบบไม่ติดฟิล์มจะเห็นได้ชัดว่าปริมาณแสงเข้าสู่โรงเรือนในจำนวนปริมาณมากที่สุดต้องการของสตรอเบอร์รี่ ซึ่งตลอดทั้งวันค่า PPFD ด้านนอกโรงเรือนจะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $1,135.9 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  ส่วนค่า PPFD จุดที่ 1 และ 2 ในโรงเรือน มีค่าการเปลี่ยนแปลงคล้ายกับค่า PPFD ด้านนอกโรงเรือน ที่มีค่าเฉลี่ยทั้งวันเท่ากับ  $683.8 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  และ  $631.5 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  ส่วนจุดที่ 3-5 จะมีค่า PPFD อยู่ในช่วง  $193.6\text{-}687.2 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  และมีค่าเฉลี่ยปริมาณแสงในโรงเรือนทั้งวันอยู่ที่  $515.2 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$



ภาพที่ 82 ผลของการเปลี่ยนแปลงค่า PPFD ด้านในและด้านนอกโรงเรือนทดสอบฟิล์มสีแดงสลับสีน้ำเงิน

จากผลที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าค่ารังสีอาทิตย์มีผลต่อการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของค่าปริมาณแสงภายในโรงเรือนทดสอบทั้ง 3 รูปแบบคือ รูปแบบเว้นระยะห่างที่ 1 รูปแบบเว้นระยะห่างที่ 2 และรูปแบบหมากruk ดังแสดงในตารางที่ 7 พบว่ารูปแบบการจัดวางแบบเว้นระยะห่างที่ 1 และทุกรูปแบบที่มีการติดตั้งฟิล์มใสแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดกึ่งโปร่งใส จะมีค่าปริมาณแสงที่เฉลี่ยมากกว่า  $400 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  ก็ตาม แต่มีบางจุดโดยเฉพาะจุดที่ 3 และ 5 ภายในโรงเรือนเมื่อมีการบดบังจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดกึ่งโปร่งใสรวมถึงการติดตั้งฟิล์มจะมีค่าปริมาณแสง ต่ำกว่า  $400 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  ดังนั้นรูปแบบที่กล่าวมาข้างต้นจึงไม่เหมาะสมกับการนำไปติดตั้งบนโรงเรือนจริง จึงเหลือแต่แผงที่ไม่มีการติดฟิล์ม 2 รูปแบบ คือ รูปแบบเว้นระยะห่างแบบที่ 2 และแบบหมากruk จะพบว่ามีปริมาณแสงมีค่าปริมาณแสงที่ใกล้เคียงกันเนื่องจากว่ามีจำนวนเซลล์ห่างกันเพียง 3 เซลล์ แต่เมื่อพิจารณาค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดกึ่งโปร่งใสเห็นว่ารูปแบบการจัดวางเซลล์แบบหมากrukผลิตไฟฟ้าได้มากกว่าฉะนั้นแล้วจึงสรุปได้ว่ารูปแบบการจัดเรียงวางเซลล์แบบหมากrukเหมาะสมที่สุดในการนำไปติดตั้งบนหลังคาโรงเรือนปลูกสตอเบอร์รี่โดยมีค่าปริมาณแสงที่  $660.37 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  เหมาะสมสำหรับการปลูกสตอเบอร์รี่โดย สตอเบอร์รี่ต้องการปริมาณแสงในการเจริญเติบโตอยู่ที่  $400$  ถึง  $1200 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$

ตารางที่ 7 ค่า PPFD เฉลี่ยในโรงเรือนทดสอบ

รูปแบบการจัดวางเซลล์	PPFD $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$				กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อแผง
	ไม่ติดฟิล์ม	ฟิล์มสีน้ำเงิน	ฟิล์มสีแดง	ฟิล์มสีแดงสลับน้ำเงิน	
การจัดวางเซลล์แบบเว้นระยะห่างแบบที่ 1	587	481	472.45	507.84	200 W
รูปแบบการจัดวางเซลล์แบบเว้นระยะห่างแบบที่ 2	751	547	539	538	150 W
รูปแบบการจัดวางเซลล์แบบหมากรุก	660.37	580.34	501.05	515.23	160 W

#### 4.1.4 สร้างสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ทำนายการผลิตไฟฟ้าที่ผลิตได้

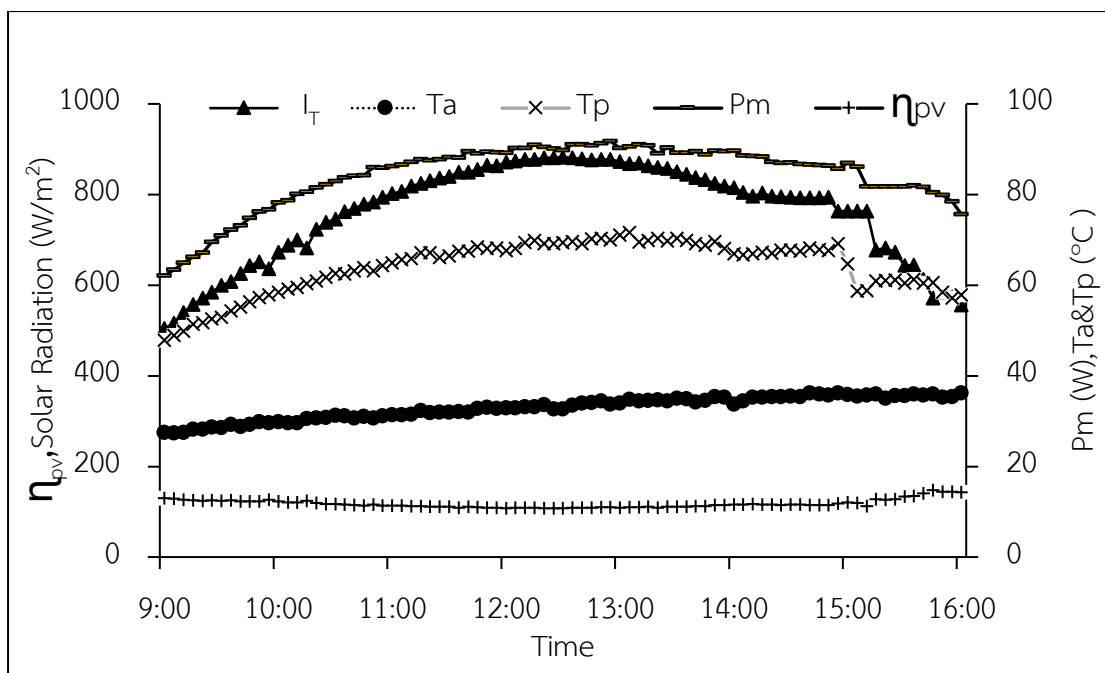
การสร้างความสัมพันธ์สมการเมื่อได้รูปแบบแผงที่เหมาะสมแล้วจากการทดสอบในส่วนที่ 1 นำแผงที่ได้มาทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพ และสร้างสมการทำนายผลโดยแผงที่ใช้มีขนาด  $2 \text{ m}^2$  กำลังไฟฟ้าของแผงอยู่ที่ 160 W โดยได้รับการอนุเคราะห์จากบริษัทฟูโซล่า จำกัด ดังภาพที่ 83



ภาพที่ 83 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโพรังใสแบบหมากรุก

การทดสอบค่ากำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโพรังใสแบบหมากรุก จากภาพที่ 84 พบว่า เมื่อค่ารังสีอาทิตย์มีค่าสูงขึ้นกำลังไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโพรังใสจะมีค่าเพิ่มขึ้นตาม ค่ารังสีอาทิตย์มีค่าตั้งแต่ 404.5 – 892.5 W/m<sup>2</sup> โดยกรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโพรังใสในการจัดวางรูปแบบหมากรุกมีกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากมีจำนวนเซลล์ 39 เซลล์ โดยมีค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยทั้งวัน 84.16 W กำลังไฟฟ้าสูงสุด 91.79 W กำลังไฟฟ้าต่ำสุด 62.07 W อุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ย 32.92 °C อุณหภูมิแผงเฉลี่ย 62.15 °C และประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ย 11.76 %



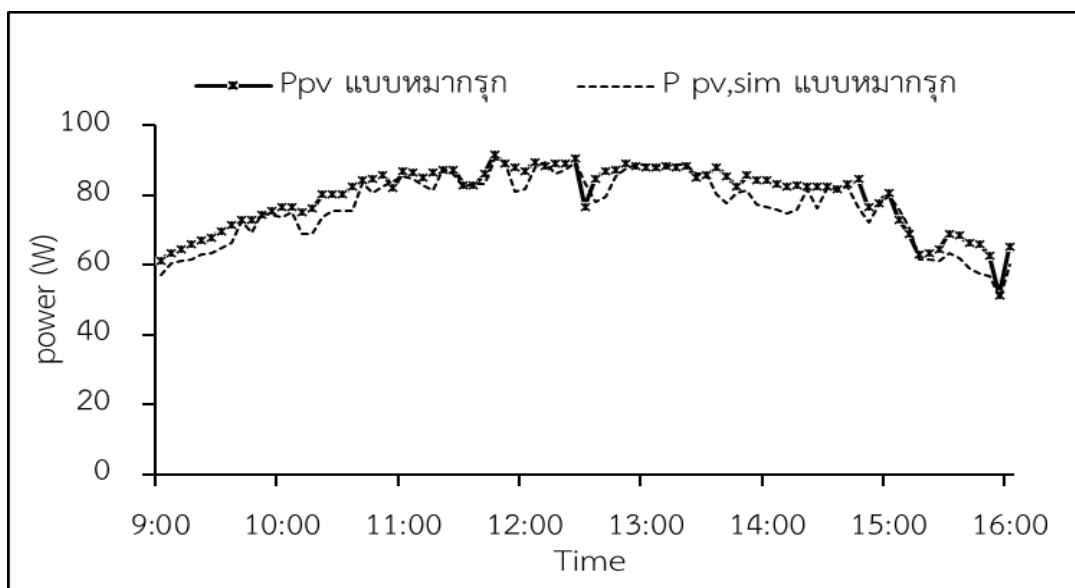


ภาพที่ 84 ค่ารังสีอาทิตย์ กำลังไฟฟ้า และอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสขณะทำการทดสอบ

จากนั้นแสดงการจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใส รูปแบบหมากรุ๊ก พบว่า เมื่อค่ารังสีอาทิตย์เพิ่มขึ้นจะสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้มากขึ้น อุณหภูมิแผงก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ โดยอุณหภูมิแผงจะขึ้นกับความร้อนสะสมที่ได้จากรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิแวดล้อม ดังนั้นในการทำนายกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใส สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (15)

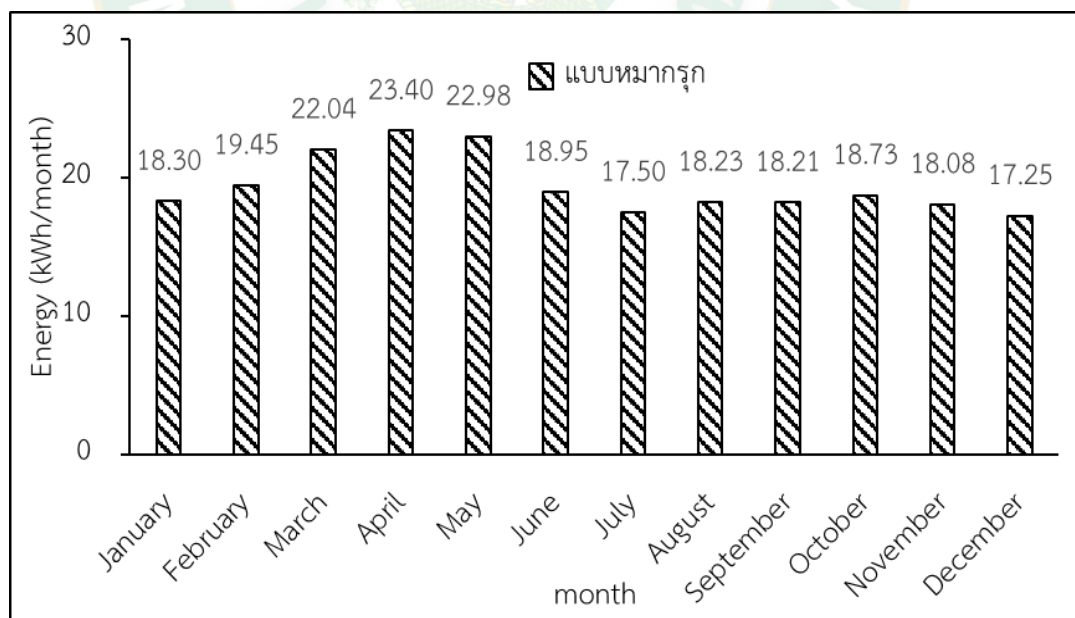
$$P_{pv/sim,39cell} = 1.2526 \times (I_T^{0.26362}) \times (T_a^{0.22848}) \times (T_p^{0.39954}) \quad \text{สมการที่ (15)}$$

โดยเมื่อนำสมการที่ (15) มาคำนวณเพื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองพบว่า ผลที่ได้มีค่าที่ใกล้เคียงกันและเป็นไปตามทิศทางเดียวกัน โดยการทดลองมีความคลาดเคลื่อนจากสมการตามสมการที่ (15) เท่ากับ 3.8 % ดังภาพที่ 85



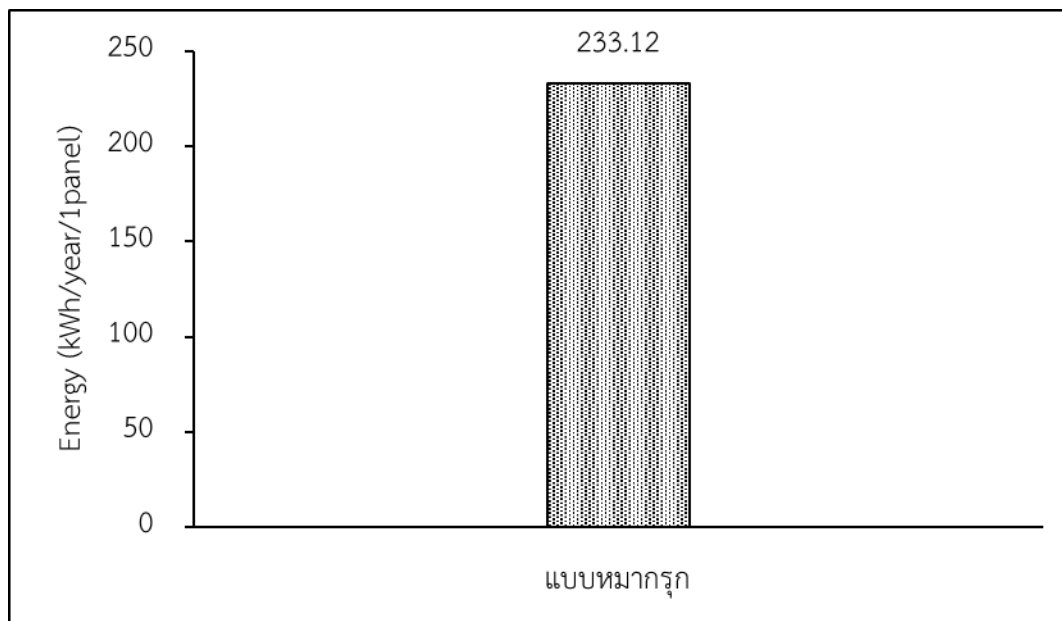
ภาพที่ 85 การทดลองมีความคลาดเคลื่อนพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใส

ในการจำลองสมการทำนายพลังงานที่ได้เป็นรายเดือนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสรูปแบบหมากรุก พบว่าพลังงานที่ได้หนึ่งเดือนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสแบบหมากรุกเท่ากับ 23.40 kWh/month ในช่วงเดือนเมษายน ต่ำสุด 17.25 kWh/month ในช่วงเดือนธันวาคม ดังภาพที่ 86

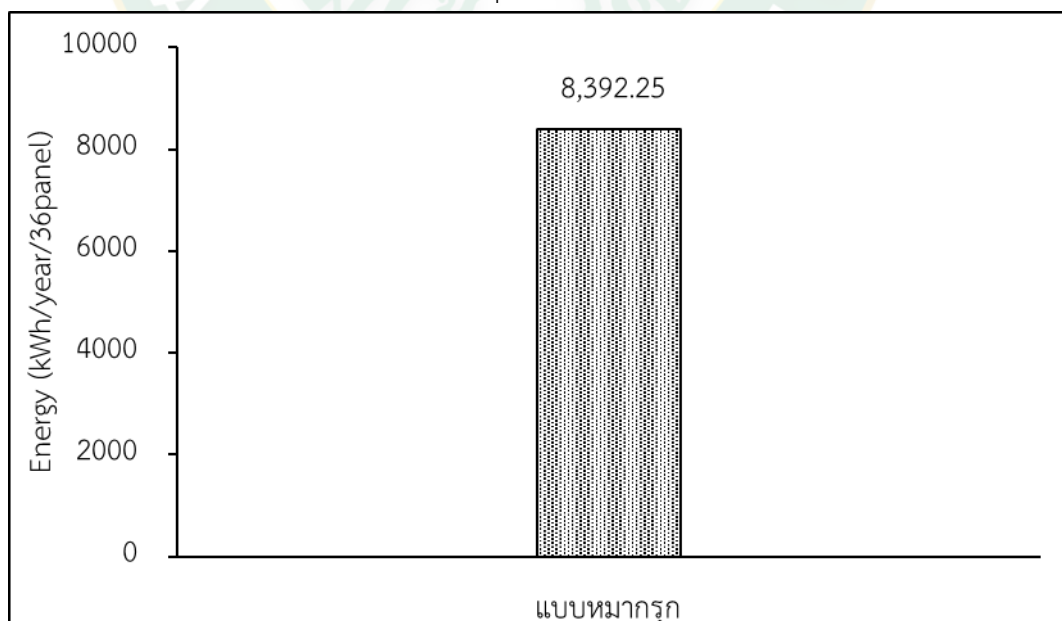


ภาพที่ 86 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละเดือนจากการใช้สมการทำนาย

จากนั้นการจำลองสมการทำนายพลังงานไฟฟ้าที่ได้เป็นรายปีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสรูปแบบหมากรุทพบว่า ได้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 233.12 kWh/year /1panel ดังภาพที่ 87 และเมื่อนำแผงไปติดตั้งกับโรงเรือนปลูกพืชแบบ Lean to ขนาดกว้าง 6 m ยาว 12 m สูง 4.95 m พบว่า การจัดวางเซลล์แบบหมากรุทจะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 8,392.25 kWh/year/36panel ดังภาพที่ 88



ภาพที่ 87 การทำนายพลังงานที่ได้เป็นรายปีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใส รูปแบบหมากรุท 1 แผง



ภาพที่ 88 การทำนายพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในหนึ่งปีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใส รูปแบบหมากรุทจำนวน 36 แผง

#### 4.2 การออกแบบสร้างและทดสอบโรงเรือนปลูกพืชที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์กึ่งโปร่งใส

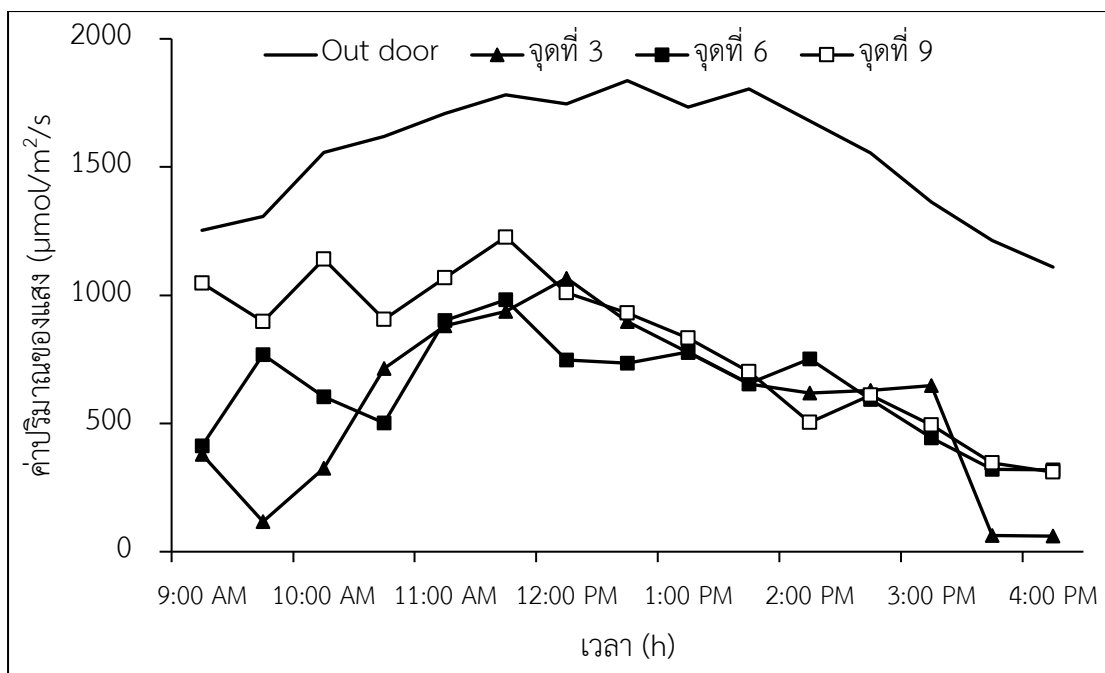
ในการสร้างโรงเรือนและการติดตั้งแผงโดยจะประเมินจากภาระโหลดทางไฟฟ้าที่ใช้กับโรงเรือนต้นแบบและพื้นที่ของหลังคาโรงเรือนที่มีพื้นที่ทั้งหมด  $72 \text{ m}^2$  ดังภาพที่ 89 โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสขนาดกำลังไฟฟ้าติดตั้ง  $151.12 \text{ W/panel}$  มีขนาดพื้นที่แผง  $2 \text{ m}^2$  ทำให้สามารถติดตั้งแผงได้ทั้งหมด 36 แผง รวมเป็นกำลังไฟฟ้าติดตั้ง  $5.4 \text{ kW}$  นำมาต่อกันแบบอนุกรม 2 สตริง เลือกใช้ Inverter ขนาด  $5 \text{ kW}$  ด้วยระบบ Solar hybrid converter โดยเมื่อพิจารณาพื้นที่โปร่งใสในส่วนหลังคาหลังจากติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์กึ่งโปร่งใสแล้วพบว่ามีพื้นที่โปร่งใส  $43.79 \%$  เมื่อเทียบกับพื้นที่หลังคาทั้งหมด ในขณะที่พื้นที่หลังคาที่คิดเป็น  $56.21\%$  เมื่อเทียบกับพื้นที่หลังคาทั้งหมด





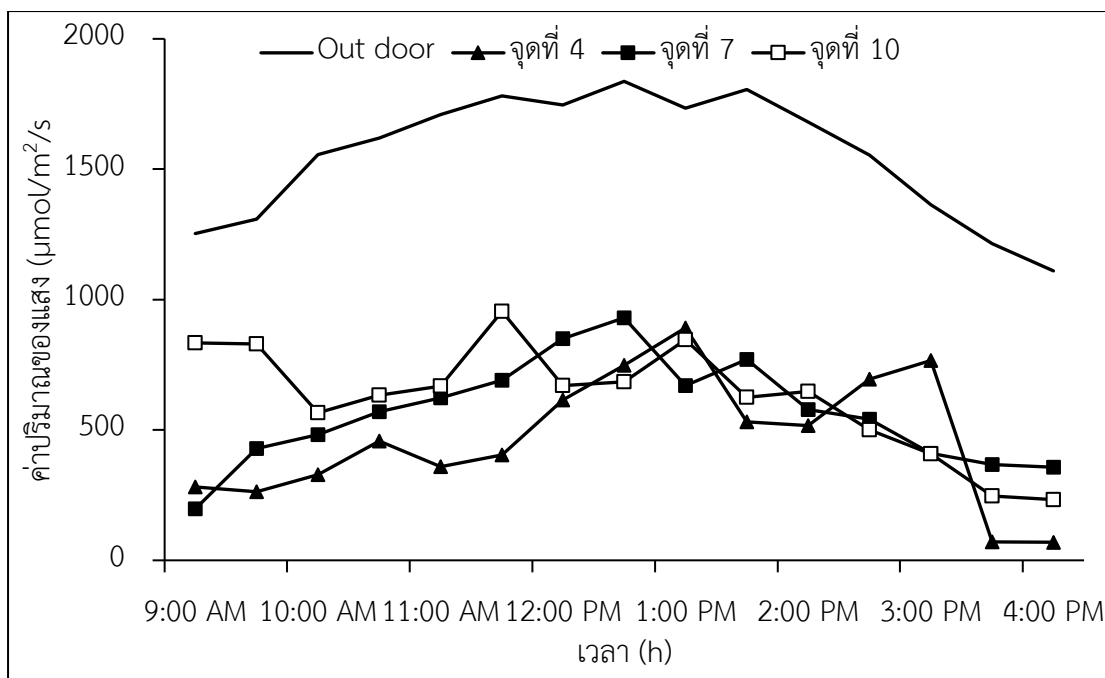
ภาพที่ 89 โรงเรือนปลูกพืชและการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์กิ่งโปร่งใสในรูปแบบการจัดวางเซลล์แบบหมากรุก

ในการทดสอบได้กำหนดจุดวัดพารามิเตอร์ค่า PPFD ทั้งหมด 10 จุด ได้แก่บริเวณด้านนอก 1 จุด และด้านในโรงเรือน 9 จุด คือ จุดที่ 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 และจุดที่ 11 โดยเริ่มทำการทดสอบเวลา 9.00 น.-16.00 น. มีการบันทึกข้อมูลทุก ๆ 30 นาที พบว่า ค่า PPFD ตรงด้านนอกโรงเรือนจะมีค่าสูงมากเพราะได้รับแสงโดยตรงจากดวงอาทิตย์โดยไม่มีเงาหรือโครงสร้างบัง เป็นผลให้ค่า PPFD ตลอดทั้งวันมีค่าสูงโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ  $1,551.4 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  ซึ่งมีค่าสูงสุดที่เวลา 12.30 น. เท่ากับ  $1,837 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  และค่าต่ำสุดเท่ากับ  $1,110 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  ส่วนค่า PPFD จุดที่ 3 พบว่าในช่วงเช้าตั้งแต่เวลา 9.00-10:00 น. จะมีค่า PPFD ต่ำเนื่องจากการบดบังจากเงาด้านไม้ด้านนอกโรงเรือน โดยมีค่า PPFD ตั้งแต่  $117.4 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  -  $380 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  และจะค่อยๆเพิ่มขึ้นตามค่ารังสีอาทิตย์จนถึง 15:30 น. จะมีค่าปริมาณแสงที่ต่ำมากเนื่องจากโดนการบดบังจากแผ่นทำความเย็นแบบระเหย โดยมีค่าต่ำสุด  $60.7 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  โดยตลอดทั้งวันมีค่าเฉลี่ยที่  $584.59 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  ในส่วนของจุดที่ 6 จะมีการบดบังจากเงาด้านไม้เล็กน้อยในช่วงเช้าจากนั้นก็จะมีค่าคงที่และลดลงตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ โดยตลอดทั้งวันมีค่าเฉลี่ยที่  $634.58 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  เช่นเดียวกันกับจุดที่ 9 โดยตอนเช้าจะมีค่าที่สูงตั้งแต่  $897\text{-}1,227 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  เนื่องจากอยู่ตรงกับทิศตะวันออกจากนั้นก็ค่อยๆลดลงไปแนวเดียวกันกับจุดที่ 6 โดยตลอดทั้งวันมีค่าเฉลี่ยที่  $801.78 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  ดังแสดงในภาพที่ 90



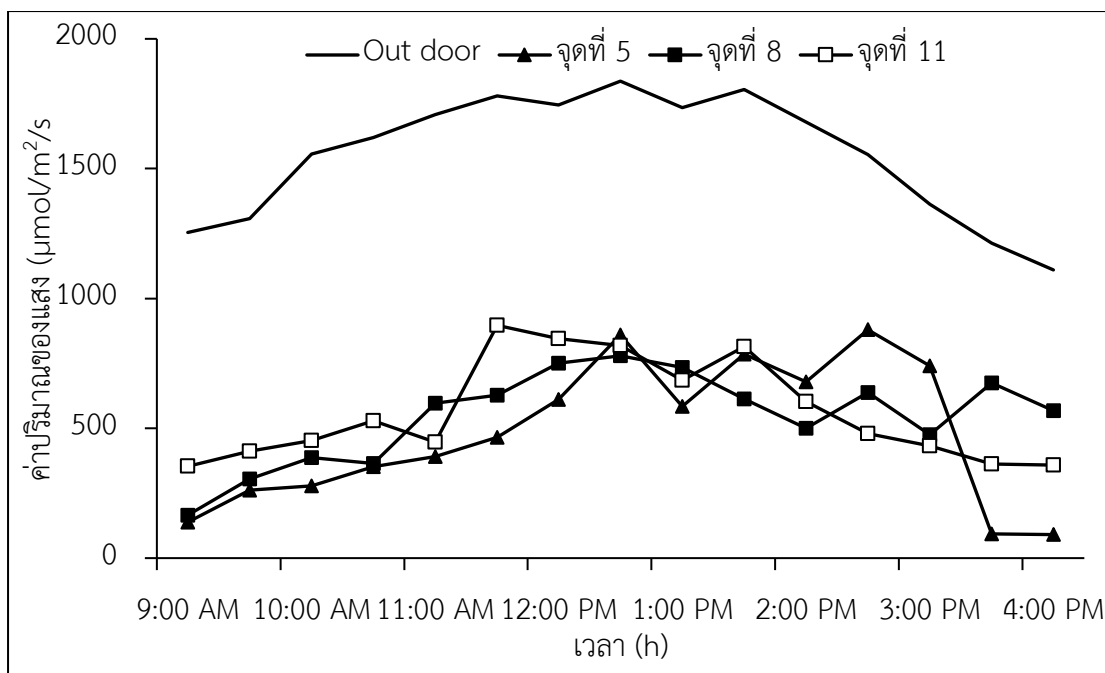
ภาพที่ 90 ค่า PPFD ด้านในและด้านนอกโรงเรือนในจุดที่ 3 6 และ 9

ในส่วนของคุณค่าปริมาณแสง ในจุดที่ 4 และ 7 ในตอนเช้าค่า PPFD มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันโดยมีค่าตั้งแต่ 197.5  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  - 930  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  เมื่อถึงเวลา 15:30 น. ในจุดที่ 4 จะมีค่าน้อยลง เนื่องจากถูกบดบังจากแผ่นทำความเย็นแบบระเหย โดยตลอดทั้งวันทั้ง 2 จุดมีค่าเฉลี่ย 446.65  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  - 564.56  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  ตามลำดับ และในจุดที่ 10 เป็นจุดที่มีค่า PPFD ที่สูงในช่วงเช้าเนื่องจากอยู่ตรงกับทิศตะวันออกโดยมีค่าสูงสุดที่ 954.7  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  และจะค่อยๆ ลดลงตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์โดยตลอดทั้งวันมีค่าเฉลี่ย 623.25  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  ดังแสดงในภาพที่



ภาพที่ 91 การเปลี่ยนแปลงค่า PPFD ด้านในและด้านนอกโรงเรียนในจุดที่ 4 7 และ 10

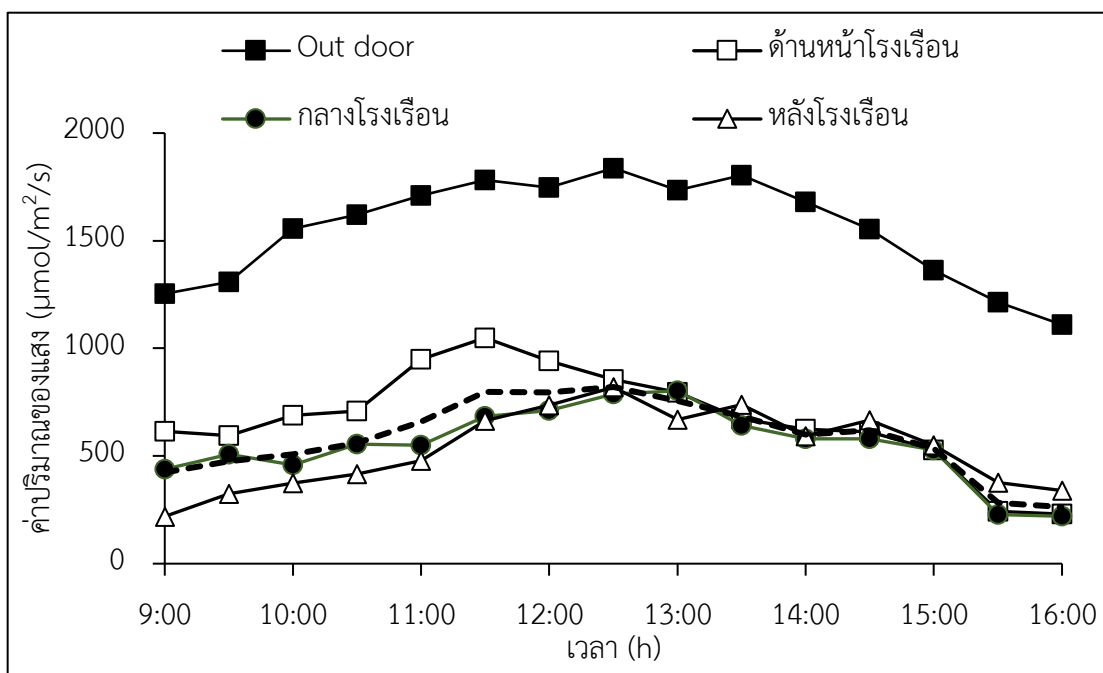
จากภาพที่ 92 ในจุดตรวจวัดที่ 5 8 และ 11 โดยตลอดทั้งวันมีค่า PPFD ที่มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันแต่จะสังเกตเห็นว่าในจุดที่ 5 ในช่วงเวลา 15.30 น. จะมีค่า PPFD ที่ต่ำเนื่องจากโดนบดบังจากแผนทำความเย็นแบบระเหยโดยตลอดทั้งวันแต่ละจุดมีค่าเฉลี่ยที่ 480.69  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  545.45  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  และ 566.12  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  ตามลำดับ



ภาพที่ 92 ค่า PPFD ด้านนอกและด้านในโรงเรือนจุดที่ 5 8 และ 11

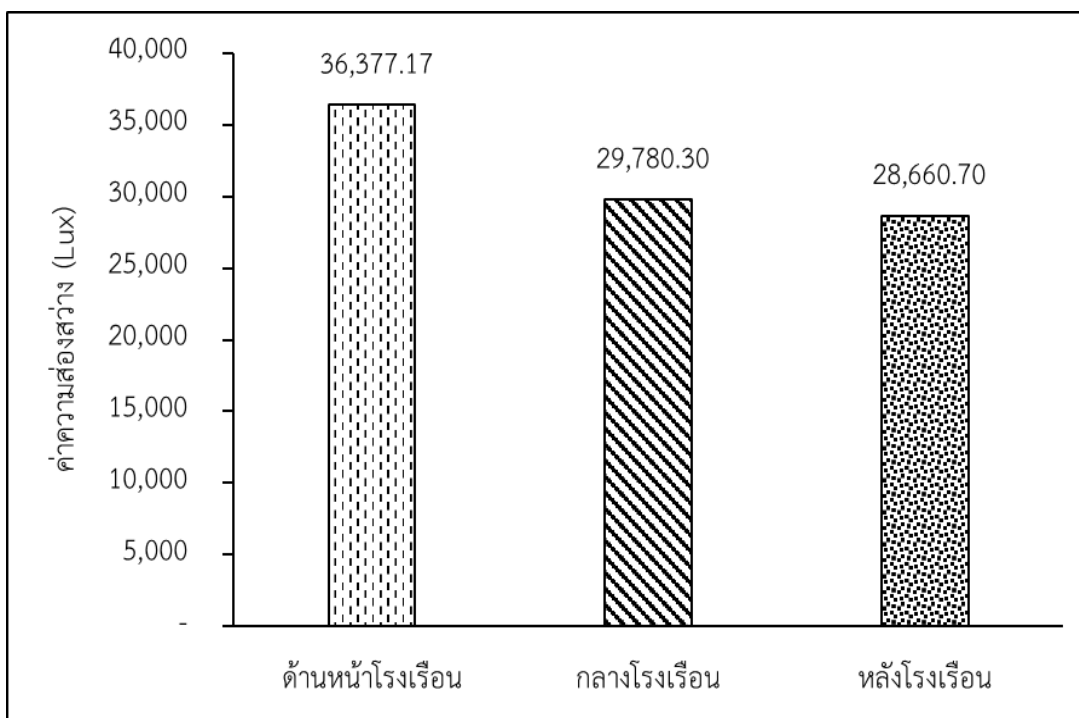
เมื่อนำค่า PPFD ในจุดวัดที่ 3 6 และ 9 มาเฉลี่ยให้เป็นตัวแทนค่า PPFD ด้านหน้าโรงเรือน จุดที่ 4 7 และ 10 มาเฉลี่ยให้เป็นตัวแทนค่า PPFD ตรงกลางโรงเรือน และข้อมูลจุดที่ 5 8 และ 11 มาเฉลี่ยให้เป็นตัวแทนค่า PPFD ด้านหลังโรงเรือน ดังภาพที่ 72 สังเกตได้ว่า จุดบริเวณหน้าโรงเรือนจะมีค่า PPFD มากเนื่องจากว่าอยู่ด้านทิศตะวันออก โดยที่ตลอดทั้งวันจะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $673.65 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  รองลงมาเป็นจุดกลางโรงเรือนจะมีการเปลี่ยนแปลงตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ที่ขึ้นจากทิศตะวันออกไปทางทิศตะวันตก และพบว่ามีค่าเปลี่ยนแปลงช่วงเวลา 9.00-10.00 น. ค่า PPFD จะต่ำเนื่องจากถูกโครงสร้างของโรงเรือนเป็นผลให้บางเวลาค่า PPFD ต่ำลง และจะเพิ่มขึ้นสูงสุดในช่วงเวลา 12.30-13.00 น. ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $802.73 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  โดยตลอดทั้งวันที่จุดกลางโรงเรือน จะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $551.5 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  และค่าปริมาณแสงจุดหน้าหลังโรงเรือน จะมีค่า PPFD ค่อนข้างต่ำในช่วงเช้าเนื่องจากถูกโครงสร้างของโรงเรือนและการจัดวางเซลล์เป็นเงาบดบังและจะมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับจุดกลางโรงเรือนในช่วงเวลา 12:00 น ถึง 13:30 น แล้วจะต่ำลงมาในช่วงเวลา 15:30 น โดยตลอดทั้งวันจะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $545.2 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  โดยที่ตลอดทั้งวันของการทดสอบจะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $591.03 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  ซึ่งจะสังเกตได้ว่าคุณค่า PPFD ภายในโรงเรือนทั้ง 3 จุด จะมีค่าไม่ต่ำกว่า  $400 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  ซึ่งเป็นช่วงแสงที่เหมาะสมกับการปลูกสตรอเบอร์รี่ที่ต้องการแสงจำนวน 8 ชั่วโมงต่อวัน ดังแสดงในภาพที่ 93





ภาพที่ 93 ผลของการเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณแสงในห้องเรียน

จากภาพที่ 94 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องเรียน พบว่าค่าความส่องสว่างมีแนวโน้มและลักษณะการเปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงเวลาตอนเช้าหน้าด้านหน้าห้องเรียนมีค่าปริมาณแสงที่มากที่สุดจุดตรงกลางห้องเรียนและด้านหลังห้องเรียนจะถูกโครงสร้างของห้องเรียนและวัสดุคุมห้องเรียนบดบังแสงทำให้ปริมาณแสงผ่านช่องว่างระหว่างเซลล์กับเซลล์ผ่านเข้ามาในห้องเรียนในปริมาณน้อย เป็นผลให้ค่าความส่องสว่างน้อย โดยตลอดทั้งวันจะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 36,377.17 31,402.6 และ 27,575 Lux ตามลำดับ

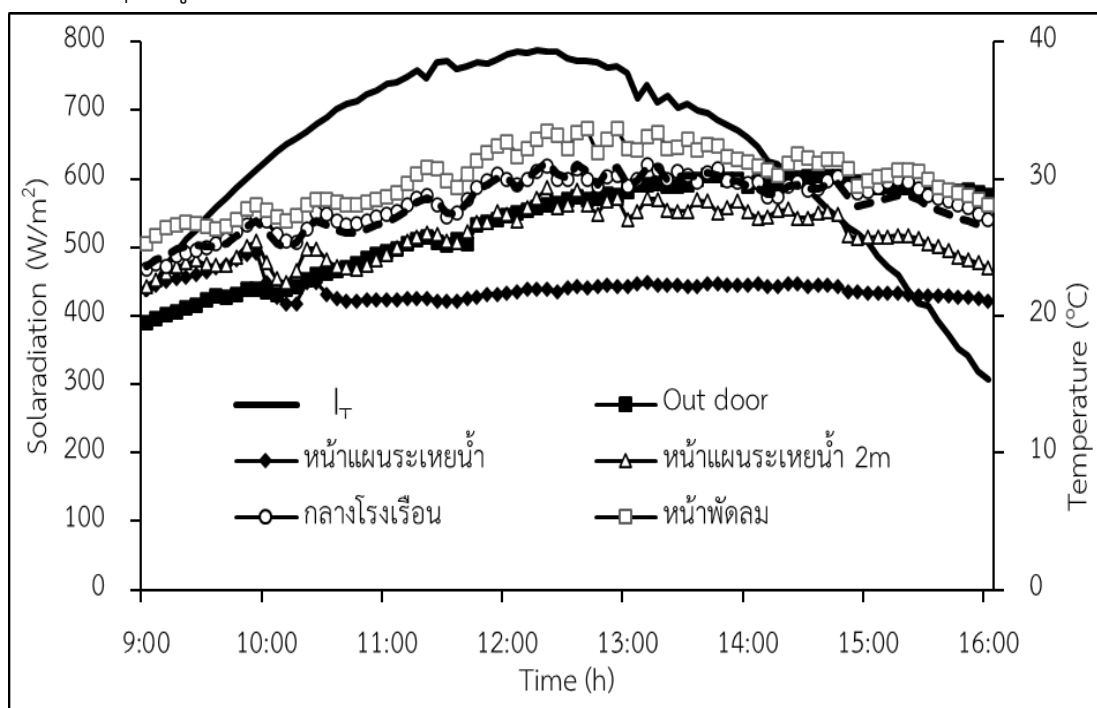


ภาพที่ 94 ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยในโรงเรือน

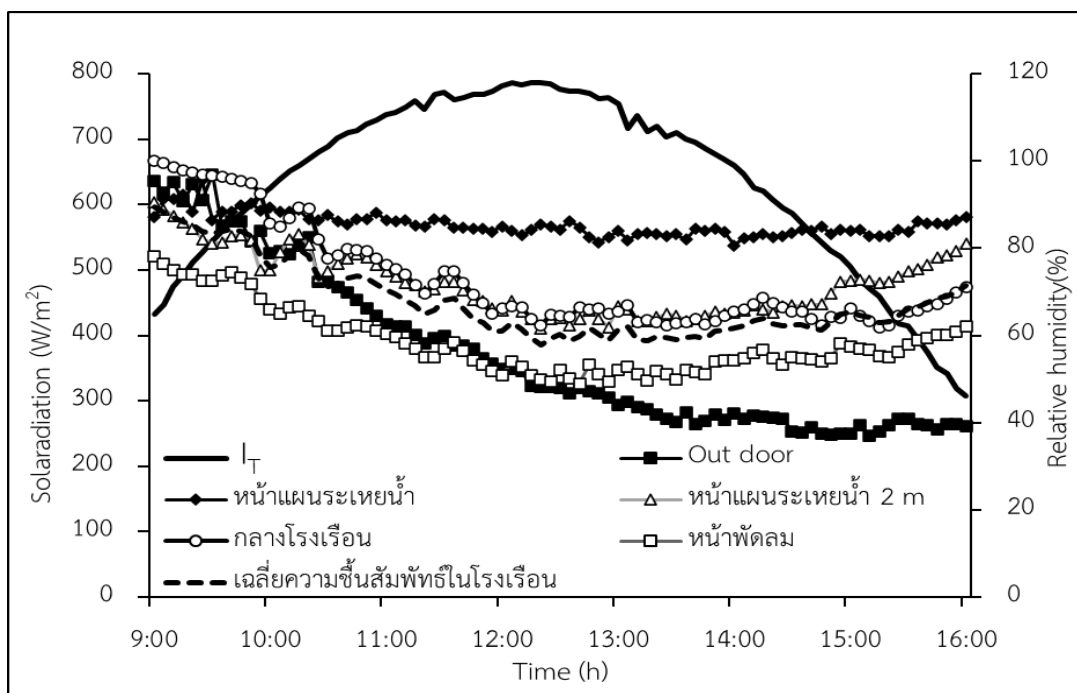
เมื่อพิจารณาอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์อากาศด้านในและด้านนอกโรงเรือนได้กำหนดจุดวัดอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์อากาศ ทั้งหมด 11 จุด ได้แก่ ด้านนอกโรงเรือน 1 จุด และด้านใน 10 จุด โดยจุดวัดในโรงเรือนประกอบด้วย หน้าแผนทำความเย็นแบบระเหย ห่างจากแผนทำความเย็นแบบระเหย 2m กลางโรงเรือน และ หน้าพัดลมระบายอากาศ ในกราฟได้นำข้อมูลจุดที่ 3 4 และ 5 มาเฉลี่ยจะเท่ากับ ค่าอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์จุดหน้าแผนทำความเย็นแบบระเหย 2m ข้อมูลจุดที่ 6 7 และ 8 มาเฉลี่ยจะเท่ากับ อุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ตรงกลางโรงเรือน และข้อมูลจุดที่ 9 10 และ 11 มาเฉลี่ยจะเท่ากับ ค่าอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์หน้าพัดลมระบายอากาศ โดยนำเอาข้อมูลที่เฉลี่ยของวันที่ 5-12 มกราคม 2566 เวลา 09:00-16:00 น. บันทึกข้อมูลทุก ๆ 5 นาที

จากรูปที่ 95 (ก)-(ข) แสดงผลการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมบริเวณภายในและภายนอกโรงเรือนผสมเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใส พบว่า ตลอดช่วงการทดสอบตั้งแต่เวลา 9:00-16:00 น. ค่ารังสีอาทิตย์มีค่าแปรผันระหว่าง  $307.5-787 \text{ W/m}^2$  อุณหภูมิอากาศแวดล้อมและความชื้นสัมพัทธ์อากาศแปรผันโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $26.69^\circ \text{C}$   $55.78\%$  ตามลำดับ เมื่ออากาศผ่านแผนระเหยน้ำอุณหภูมิลดลงและความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นเพราะเป็นจุดที่อากาศไหลผ่านระบบทำความเย็นแบบระเหยทำให้อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยอยู่ที่  $21.91^\circ \text{C}$   $85.42\%$  ตามลำดับ ด้านในโรงเรือนมีการสะสมความร้อนจากการแผ่รังสีอาทิตย์ในเวลากลางวันทำให้อุณหภูมิอากาศจุดที่ห่าง

จากแผนรเหยน้ำ 2m จุดกลางโรงเรือน และ หน้าพัดลมระบายอากาศ เพิ่มมากขึ้น เพราะว่าแต่ละจุด มีระยะห่างจากระบบทำความเย็นแบบระเหยตั้งแต่ 2m 6m และ 10m ตามลำดับ จึงทำให้อากาศที่ เย็นจากระบบทำความเย็นแบบระเหยที่มีความร้อนสะสมตามระยะห่างโดยมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิและ ความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ  $25.95^{\circ}\text{C}$  72 %  $28.37^{\circ}\text{C}$  73 % และ  $30.10^{\circ}\text{C}$  58.56 % ตามลำดับ โดยค่าเฉลี่ยทั้งหมดภายในโรงเรือนเท่ากับ  $28.14^{\circ}\text{C}$  ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมกับการปลูกสตรอเบอร์รี่ ที่ต้องการอุณหภูมิ  $24-30^{\circ}\text{C}$



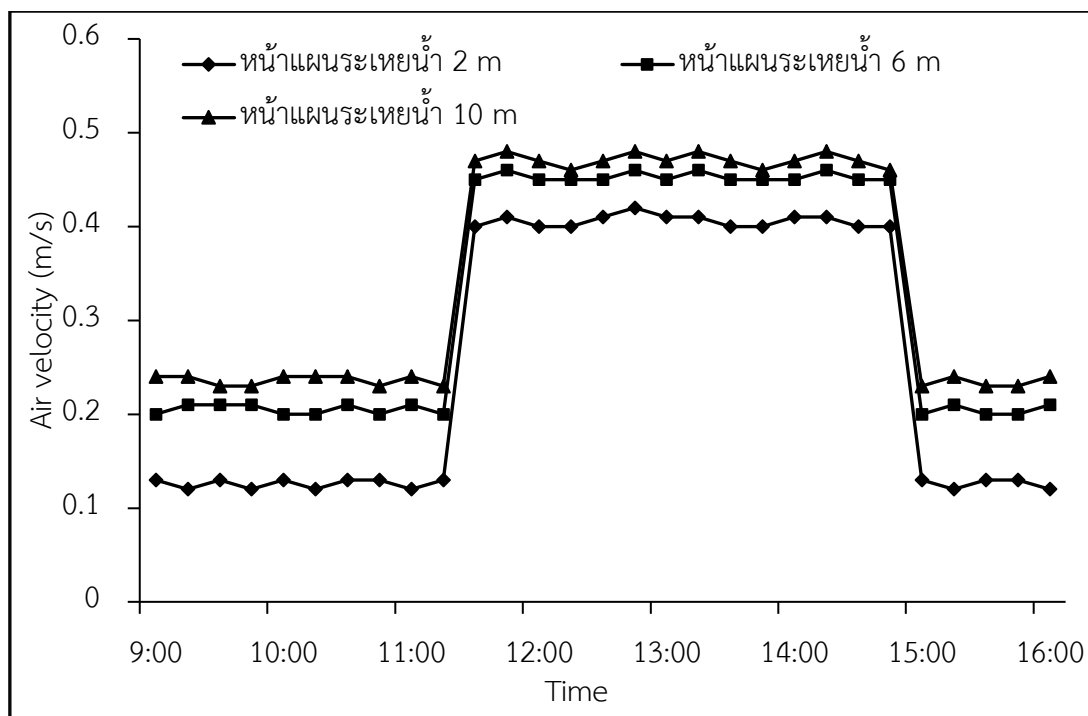
(ก) ค่ารังสีอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศ



(ข) ค่ารังสีอาทิตย์และความชื้นสัมพัทธ์อากาศ

ภาพที่ 95 อุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์อากาศในโรงเรือน

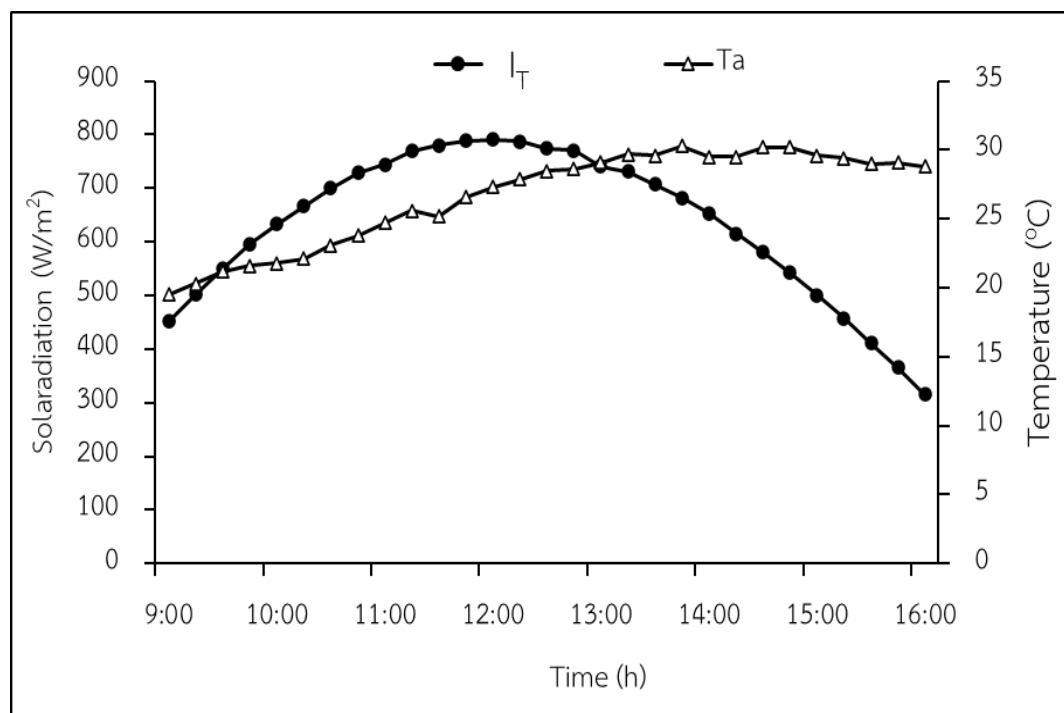
การเปลี่ยนแปลงของความเร็วอากาศด้านในโรงเรือนได้กำหนดจุดวัด ทั้งหมด 3 จุด คือห่างจากระบบทำความเย็นแบบระเหย 2m 6m และ 10m โดยทำการวัดอยู่ 2 แบบคือในช่วงที่พัดลมระบายอากาศทำงาน 1 ตัว และพัดลมระบายอากาศทำงานพร้อมกัน 2 ตัว ผลการทดสอบพบว่าในช่วงพัดลมระบายอากาศทำงาน 1 ตัวจะมีความเร็วลมอยู่ที่ 0.12 0.21 และ 0.24 m/s ตามลำดับ และในช่วงพัดลมระบายอากาศทำงานพร้อมกัน 2 ตัวจะมีความเร็วลมอยู่ที่ 0.42 0.46 และ 0.48 m/s ตามลำดับ ความเร็วลมในแต่ละช่วงไม่เท่ากันเพราะการระบายอากาศจากต้นทางจนถึงปลายทางมีระยะห่างที่แตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 96



ภาพที่ 96 การเปลี่ยนแปลงความเร็วอากาศ

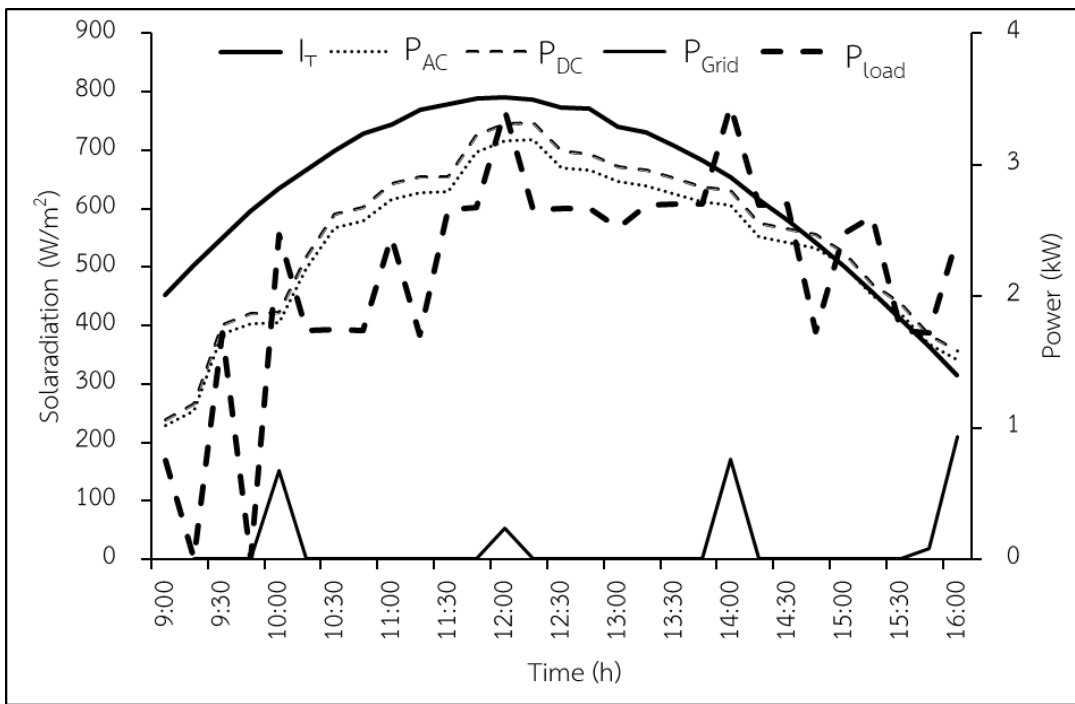
### ผลการทดสอบประสิทธิภาพและสมรรถนะด้านการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดกึ่งโปร่งใส

ภาพที่ 97 แสดงตัวอย่างสภาพอากาศวันที่เก็บข้อมูล (23 มกราคม พ.ศ. 2566) พบว่ามีค่ารังสีอาทิตย์ตามแนวเอียง 13 องศาอยู่ระหว่าง 316 – 791.50 W/m<sup>2</sup> คิดเป็นค่าเฉลี่ย 632.34 W/m<sup>2</sup> และตลอดทั้งวันคิดเป็นค่ารังสีอาทิตย์สะสม 15.99 kWh/day ในขณะที่อุณหภูมิอากาศแวดล้อมจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามค่ารังสีอาทิตย์โดยมีค่าตั้งแต่ 19.5 – 30.3 °C เฉลี่ยทั้งวัน 26.61 °C

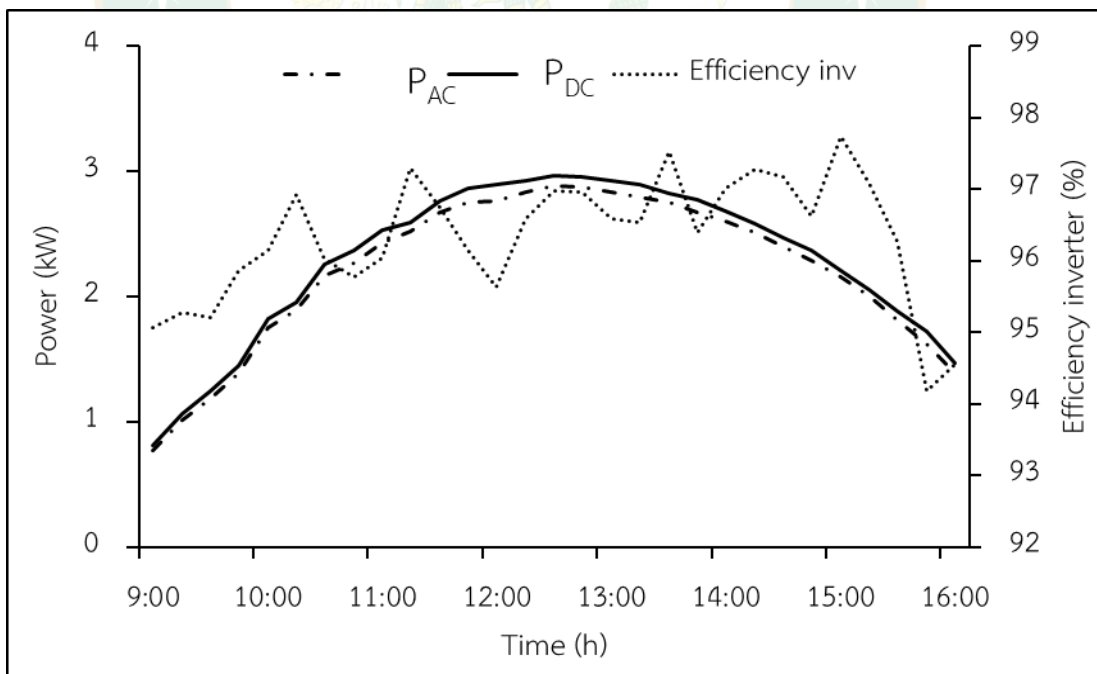


ภาพที่ 97 ค่ารังสีอาทิตย์และอุณหภูมิแวดล้อมในวันที่ 23 มกราคม 2566

จากภาพที่ 98 แสดงให้เห็นกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใส และภาระโหลดกำลังไฟฟ้าของโรงเรือนที่ใช้ในอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ โดยพบว่า โหลดกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ที่ใช้ในโรงเรือนมีค่าตั้งแต่ 0.75 kW – 3.419kW โดยโหลดจะเพิ่มขึ้นในช่วงประมาณเที่ยงวันจนถึงประมาณ 14:00 น. ซึ่งเป็นช่วงที่พัดลมระบายอากาศทำงานครบทั้ง 2 ชุด โดยคิดเป็นความต้องการพลังงานไฟฟ้าทั้งวันเท่ากับ 13.81 kWh/day ในขณะที่กำลังไฟฟ้ากระแสตรงที่ผลิตได้จากแผงจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากช่วงเช้าตามค่ารังสีอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้น โดยตลอดทั้งวันจะพบว่ามีค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้สูงกว่าความต้องการโหลดของอุปกรณ์ไฟฟ้าในโรงเรือน ยกเว้นในบางช่วงเวลาที่มีการทำงานของเครื่องให้ปุ๋ยและน้ำที่จะมีโหลดกำลังไฟฟ้าสูงกว่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ โดยกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้มีค่าตั้งแต่ 0.81 - 2.97kW และเมื่อผ่านเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า Inverter กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จะเปลี่ยนเป็นกำลังไฟฟ้ากระแสสลับและมีค่าลดลงเนื่องจากเกิดการสูญเสียในเครื่อง Inverter โดยจากภาพที่ 98 และ 99 กำลังไฟฟ้าที่ผ่านเครื่อง Inverter มีค่าระหว่าง 0.77- 2.88 kW เมื่อคำนวณประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสมีค่า 96%

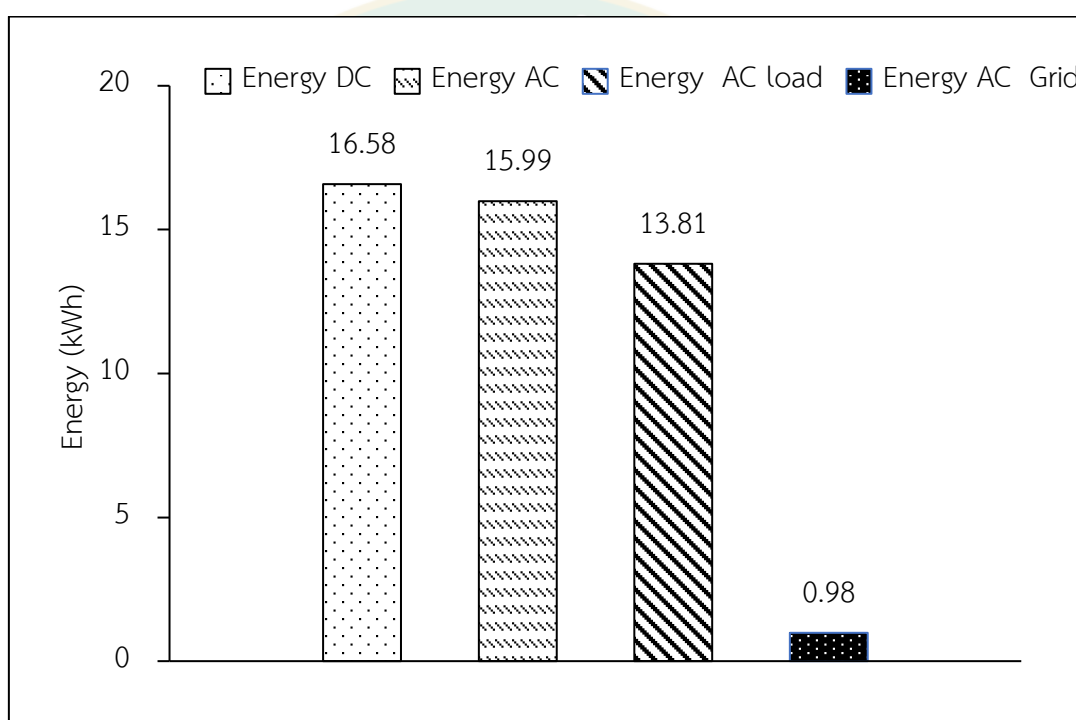


ภาพที่ 98 การทดสอบการผลิตกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผง กระแสตรงและกระแสสลับ ในวันที่ 23 มกราคม พ.ศ. 2566



ภาพที่ 99 กำลังไฟฟ้าด้านกระแสตรง และกำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ในวันที่ 23 มกราคม พ.ศ. 2566

เมื่อพิจารณาพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้และที่ใช้ในโรงเรือนจากพื้นที่ได้กราฟภาพที่ 99 และสรุปได้ตามภาพที่ 100 พบว่า พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์กึ่งโพรังไสมีค่า 16.57 kWh/day เมื่อผ่านเครื่องแปลงกระแส Inverter แล้วจะได้พลังงานไฟฟ้ากระแสตรงทั้งวัน 15.99 kWh/day ในขณะที่อุปกรณ์ไฟฟ้ามีความต้องการพลังงานไฟฟ้าทั้งวันเพียง 13.81 kWh/day ซึ่งน้อยกว่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ แต่ระบบยังคงต้องการพลังงานไฟฟ้าจากการไฟฟ้าอีก 0.98 kWh/day เนื่องจากในบางช่วงเวลาที่ระบบให้น้ำและปุ๋ยอัตโนมัติทำงานกำลังไฟฟ้าที่ระบบต้องการมีค่าที่สูงกว่าที่ผลิตได้จึงจำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้าจากการไฟฟ้าเข้ามาช่วยแต่ก็มีแค่ช่วงเวลาสั้นๆเท่านั้น

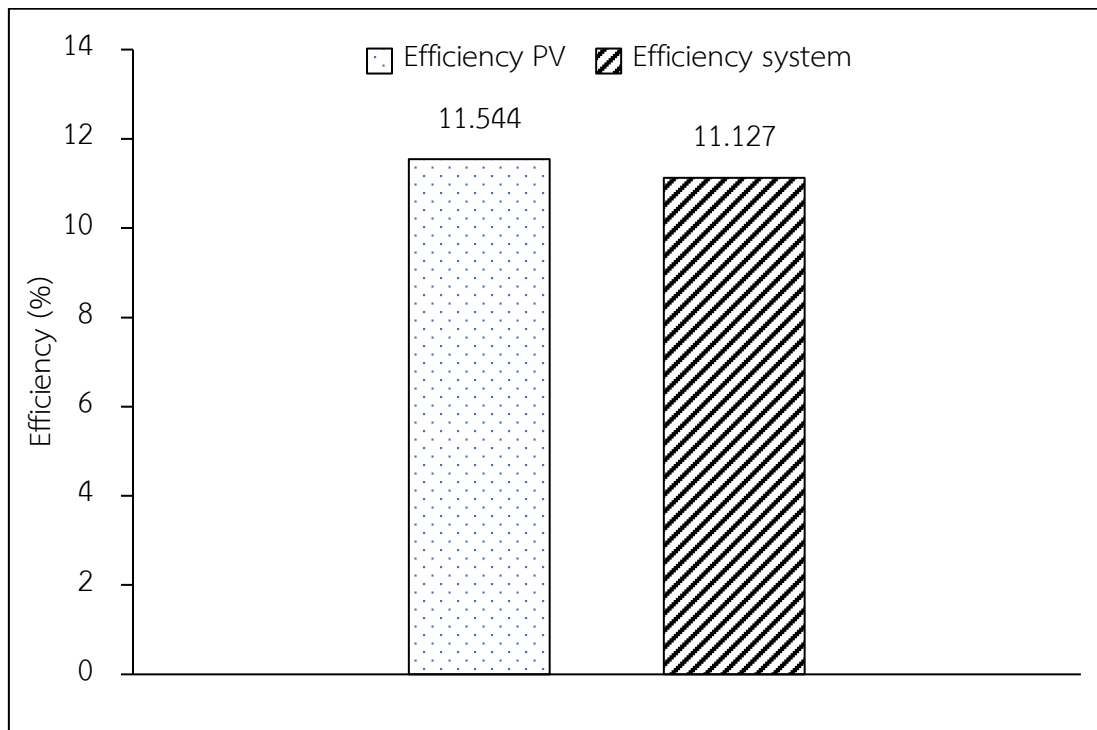


ภาพที่ 100 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ พลังงานไฟฟ้าที่อุปกรณ์ภายในโรงเรือนใช้ และพลังงานไฟฟ้าที่ต้องการจากการไฟฟ้า ในวันที่ 23 มกราคม พ.ศ. 2566

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบ จะทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพอยู่ 2 ส่วน คือ ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดกึ่งโพรังไส และประสิทธิภาพของระบบ โดยแสดงดังภาพที่ 101 แสดงค่าประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดกึ่งโพรังไส และประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เฉลี่ยใน 1 วัน พบว่าประสิทธิภาพของระบบมีค่าน้อยกว่าประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เล็กน้อย เป็นผลมาจากประสิทธิภาพของระบบจะรวมอุปกรณ์ส่วนอื่นๆ เช่น เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า และระบบสายไฟเข้าไปด้วย ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้จะทำให้เกิดการสูญเสีย

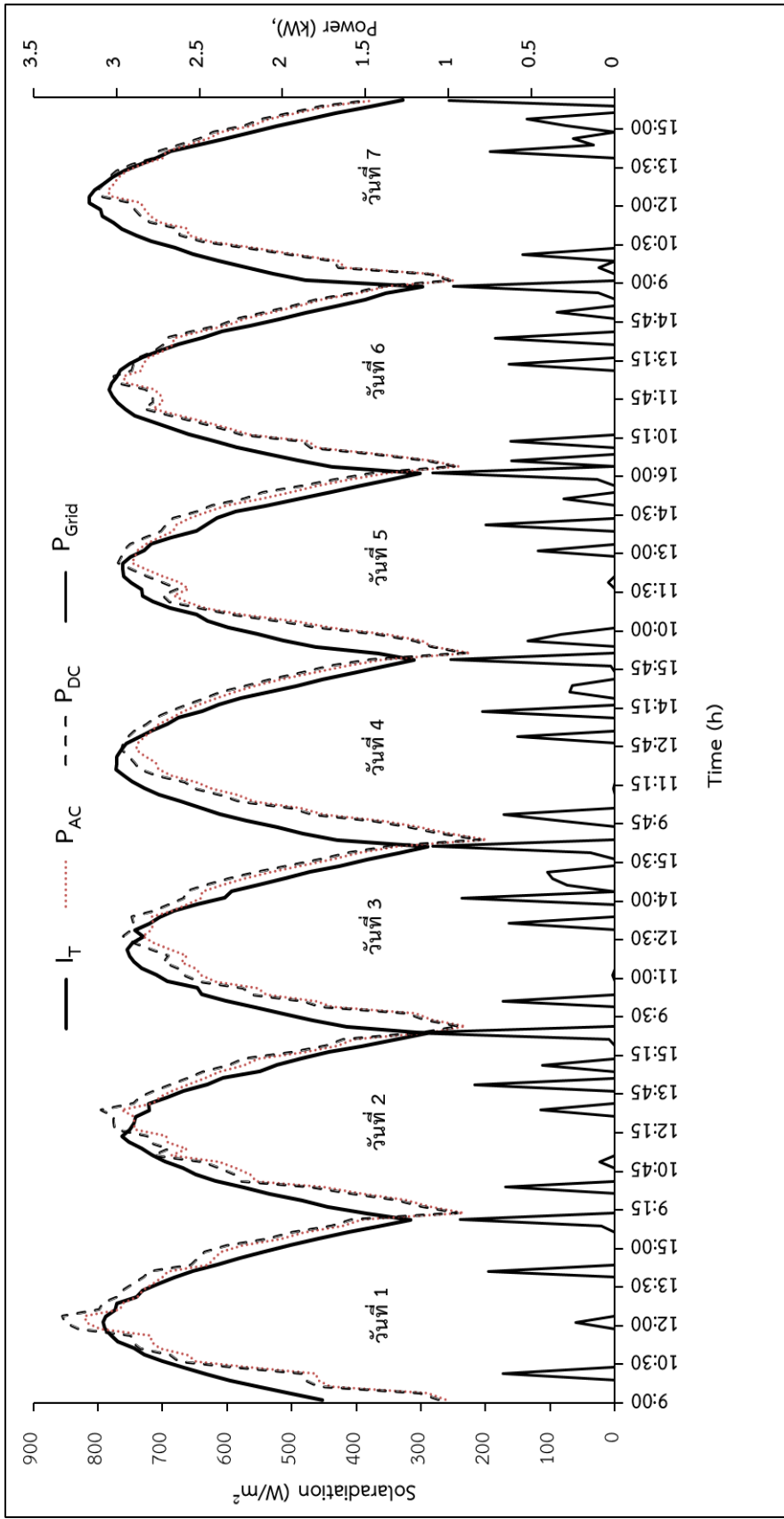


ภายในระบบ โดยประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดกึ่งโปร่งใสอยู่ที่ 11.796 % และประสิทธิภาพของระบบ 11.370%



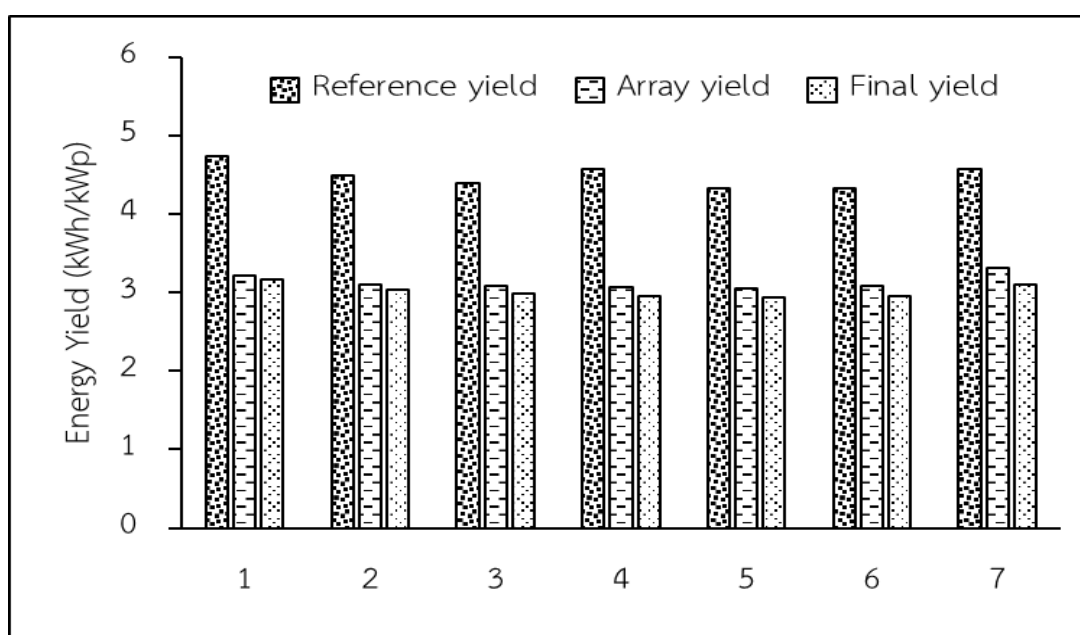
ภาพที่ 101 ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดกึ่งโปร่งใส และประสิทธิภาพของระบบ

เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ละเอียดและชัดเจนทางผู้วิจัยได้นำเสนอข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ 7 วัน ดังภาพที่ 102 โดยทำการทดสอบระหว่างวันที่ 23 -29 มกราคม พ.ศ.2566 จากการทดสอบ พบว่าค่ารังสีอาทิตย์มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันทั้ง 7 วัน โดยมีค่าตั้งแต่ 289.5 W/m<sup>2</sup> - 814 W/m<sup>2</sup> รวมถึงกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผง กระแสตรงและกระแสสลับ โดยมีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 0.81 kW และ 0.77 kW ตามลำดับ มีค่าสูงสุดที่ 3.32 kW และ 3.19 kW ตามลำดับ โดยตลอดระยะเวลา 7 วันแผงเซลล์แสงอาทิตย์กึ่งโปร่งใสสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้.118.64 kWh คิดเป็นค่าเฉลี่ย 16.58 kWh/day เมื่อผ่านเครื่องแปลงกระแส Inverter จะมีค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้ 7 วันรวม.114.76 kWh คิดเป็นค่าเฉลี่ย 15.99 kWh/day ในขณะที่โหลดพลังงานไฟฟ้าที่อุปกรณ์ในโรงเรียนใช้ 7 วันรวม. 103.25 kWh คิดเป็นค่าเฉลี่ย.13.81 kWh/day และจำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้าจากการไฟฟ้า 7 วันรวม.6.55 kWh คิดเป็นค่าเฉลี่ย.0.98 kWh/day ซึ่งจะสังเกตว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการไฟฟ้าเข้ามาช่วยเกิดขึ้นแค่เฉพาะบางช่วงเวลาเท่านั้น และคิดเป็นเพียง 5.7% จากพลังงานไฟฟ้าที่โหลดต้องการ ดังแสดงในภาพที่ 102



ภาพที่ 102 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้และการใช้ไฟฟ้าของระบบตลอดระยะเวลา 7 วัน

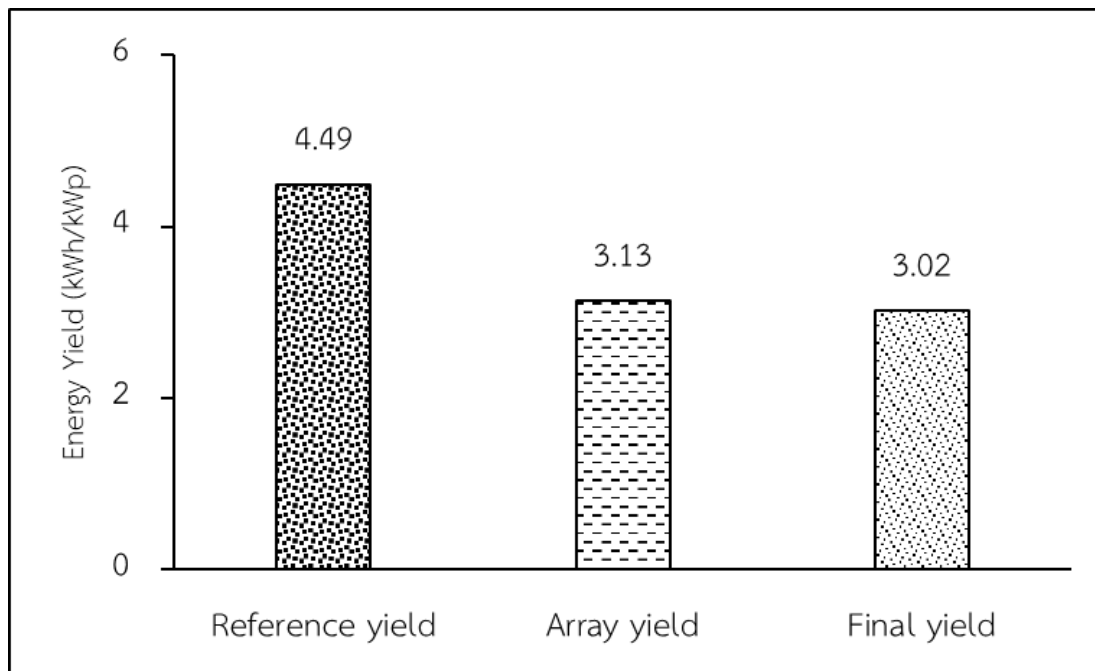
การวิเคราะห์ผลผลิตพลังงานไฟฟ้า จะทำการวิเคราะห์ผลผลิตพลังงานไฟฟ้า 3 ส่วน คือ ผลผลิตพลังงานไฟฟ้าตามทฤษฎี ผลผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และผลผลิตพลังงานไฟฟ้าของระบบ โดยนำข้อมูลระหว่างวันที่ 23 -29 มกราคม พ.ศ.2566 เป็นเวลา 7 วัน พบว่า ผลผลิตพลังงานไฟฟ้าตามทฤษฎีจะมีค่าสูงที่สุดตั้งแต่ 4.33 – 4.74 kWh/kWp รองลงมาคือ ผลผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าตั้งแต่ 3.06 – 3.32 kWh/kWp และ ผลผลิตพลังงานไฟฟ้าของระบบ 2.94 – 3.16 kWh/kWp ดังแสดงภาพที่ 103



ภาพที่ 103 ผลผลิตของพลังงานไฟฟ้าใน 7 วัน

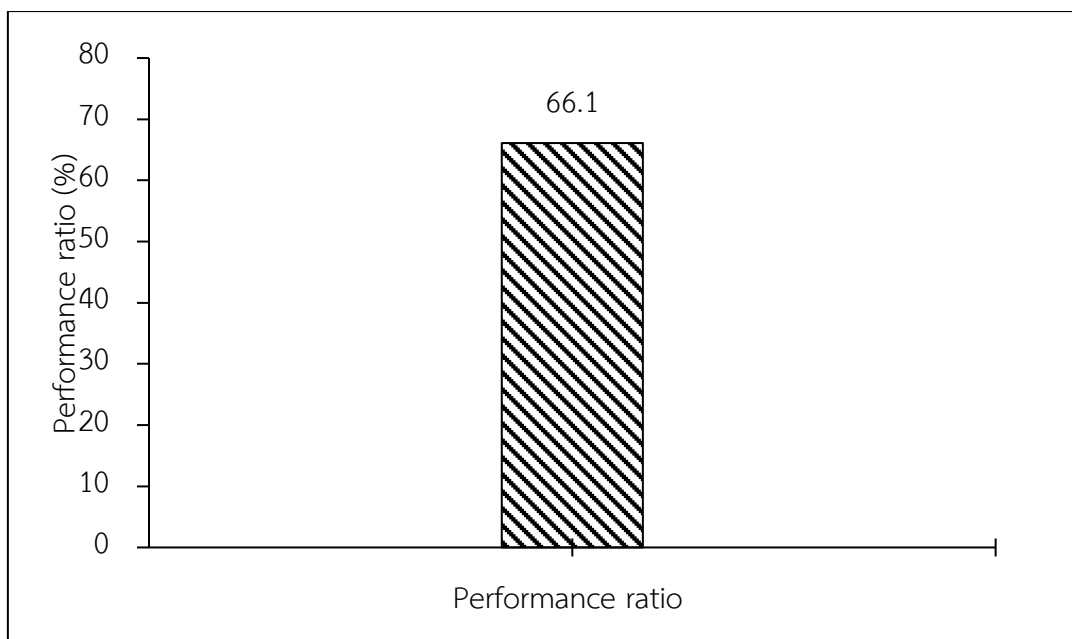
จากภาพที่ 104 เป็นการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของผลผลิตพลังงานไฟฟ้าตามทฤษฎี ผลผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และผลผลิตพลังงานไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 5.4 kW จากภาพพบว่าวันที่ฟ้าโปร่งจะมีผลผลิตพลังงานไฟฟ้าตามทฤษฎี 4.49 kWh/kWp ผลผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 3.13 kWh/kWp และผลผลิตพลังงานไฟฟ้าของระบบ 3.02 kWh/kWp ตามลำดับ ซึ่งจะได้ผลในลักษณะเดียวกัน คือผลผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ได้ตามทฤษฎีจะมีค่าสูงที่สุด และผลผลิตพลังงานไฟฟ้าของระบบมีค่าน้อยที่สุด ความแตกต่างตรงนี้เป็นผลมาจากการสูญเสียพลังงานระหว่างกระบวนการแปลงพลังงาน โดยเมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ พลังงานบางส่วนถูกสะท้อนออกจากแผง พลังงานบางส่วนถูกแผงดูดกลืน และเปลี่ยนแปลงไปเป็นพลังงานความร้อน อีกส่วนแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้า นอกจากนี้พลังงานไฟฟ้าที่ได้จะถูกส่งไปยังเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเพื่อแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งใน

ระหว่างกระบวนการนี้สามารถเกิดการสูญเสียพลังงานได้อีกบางส่วน จึงส่งผลให้ผลผลิตพลังงานไฟฟ้าของระบบมีค่าน้อยที่สุด



ภาพที่ 104 ผลผลิตของพลังงานไฟฟ้าค่าเฉลี่ย 7 วัน

ในการวิเคราะห์สมรรถนะของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ จะสังเกตค่าสมรรถนะของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าได้จากการเปรียบเทียบอัตราส่วนของผลผลิตพลังงานไฟฟ้าตามทฤษฎีต่อผลผลิตพลังงานไฟฟ้าของระบบ ตามสมการที่ 6 โดยสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้า 5.4 kW ดังแสดงในภาพที่ 105



**ภาพที่ 105** สมรรถนะของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ผลผลิตพลังงานไฟฟ้า และพลังงานที่เกิดการสูญเสียในระบบสามารถนำมาวิเคราะห์สมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 5.4 kW จะเห็นได้ว่าในช่วงเช้าสมรรถนะของระบบจะต่ำเนื่องจากค่ารังสีอาทิตย์น้อย จากนั้นจะค่อยๆสูงขึ้นตามลำดับเมื่อมีค่ารังสีอาทิตย์ที่สูงขึ้น โดยมีค่าเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 66.1 % แต่เมื่อพิจารณาสมรรถนะของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าตามสภาพอากาศที่มีอุณหภูมิสูงระบบจะมีค่าสมรรถนะน้อยที่สุดซึ่งเกิดจากการที่ระบบมีการสูญเสียพลังงานมาก โดยเป็นผลมาจากค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบลงบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ปริมาณมาก ทำให้เกิดการสะสมความร้อนภายใต้ตัวแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ส่งผลให้สมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ลดลง

#### การวิเคราะห์ความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์พลังงาน

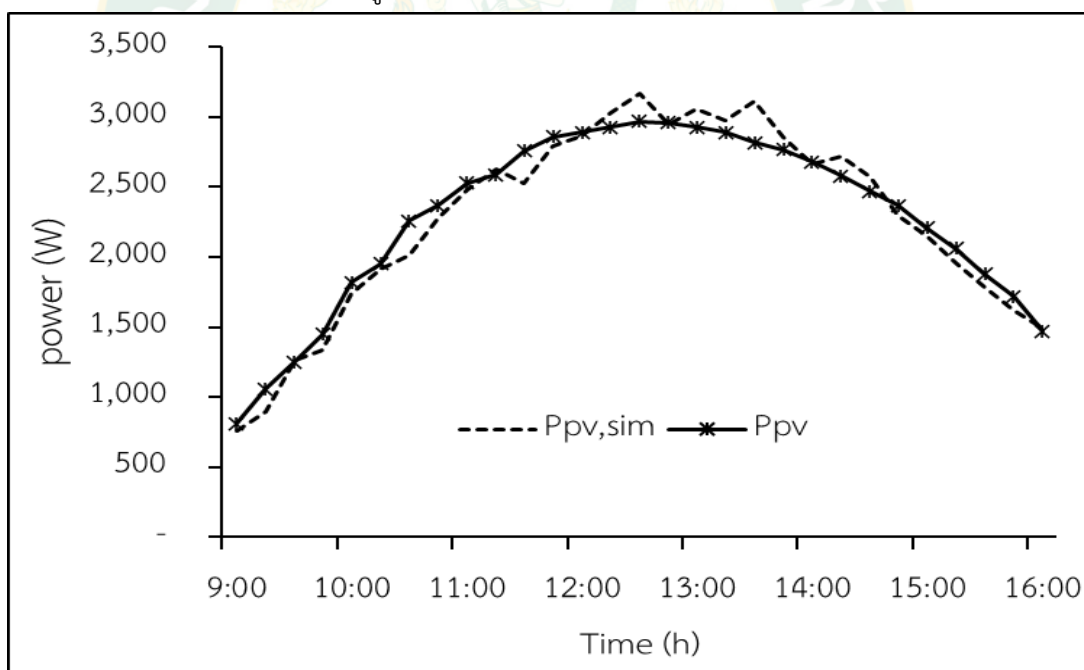
นำข้อมูลที่ได้ในการทดสอบระบบ มาทำการสร้างสมการจำลองทางคณิตศาสตร์โดยเลือกเอาข้อมูลของวันที่ 23 มกราคม 2566 ในการทดสอบค่ากำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสแบบหมากruk พบว่า เมื่อค่ารังสีอาทิตย์มีค่าสูงขึ้น กำลังไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสจะมีค่าเพิ่มขึ้นตาม ค่ารังสีอาทิตย์มีค่าตั้งแต่ 316 – 791.50 W/m<sup>2</sup> โดยกรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสในการจัดวางรูปแบบหมากrukมีกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากมีจำนวนแผง 36 แผง ได้ โดยกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้มีค่าตั้งแต่ 0.81 - 2.97kW

อุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ย 26.61 °C อุณหภูมิแผงเฉลี่ย 53.56 °C และประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ย 11.79 %

จากนั้นแสดงการจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใส รูปแบบหมากรุก พบว่า เมื่อค่ารังสีอาทิตย์เพิ่มขึ้นจะสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้มากขึ้น อุณหภูมิแผงก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ โดยอุณหภูมิแผงจะขึ้นกับความร้อนสะสมที่ได้จากค่ารังสีอาทิตย์ อุณหภูมิแวดล้อม ดังนั้นในการทำนายกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใส สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (16)

$$P_{pv/sim,39cell} = 0.02574 \times (I_T^{0.3448}) \times (T_a^{0.5957}) \times (T_p^{1.8045}) \quad \text{สมการที่ (16)}$$

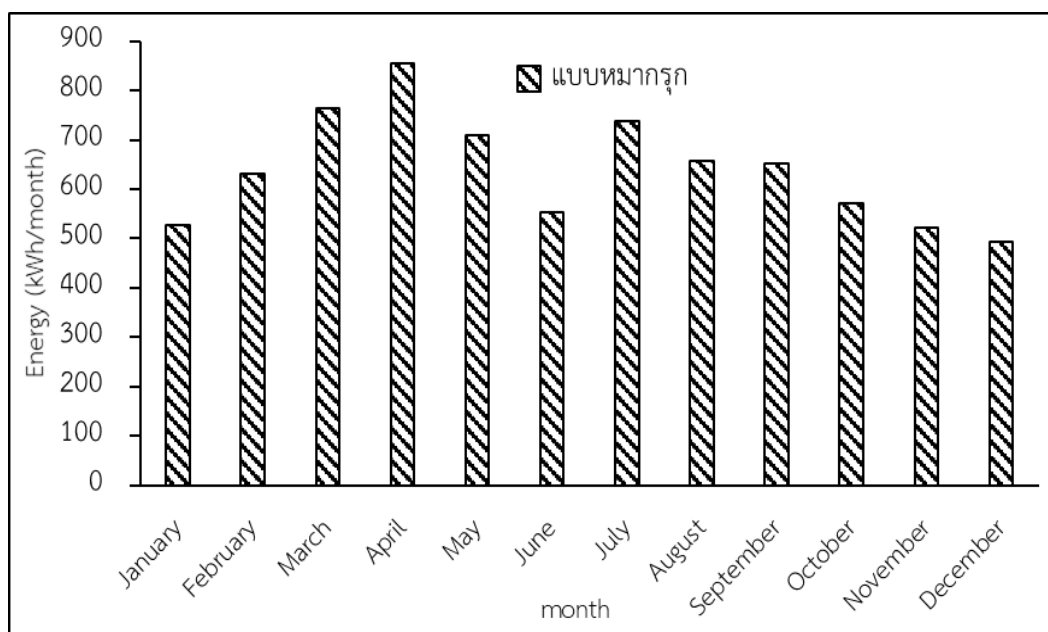
โดยเมื่อนำสมการที่ (16) มาคำนวณเพื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองพบว่า ผลที่ได้มีค่าที่ใกล้เคียงกันและเป็นไปตามทิศทางเดียวกัน โดยการทดลองมีความคลาดเคลื่อนจากสมการตามสมการที่ (16) เท่ากับ 1.45 % ดังรูปที่ 106



ภาพที่ 106 ความคลาดเคลื่อนพลังงานไฟฟ้าของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใส

ในการจำลองสมการทำนายพลังงานที่ได้เป็นรายเดือนของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสรูปแบบหมากรุก พบว่าพลังงานที่ได้หนึ่งเดือนของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใส

แบบหมากรุกเท่ากับ 854.99 kWh/month ในช่วงเดือนเมษายน ต่ำสุด 493.28 kWh/month ในช่วงเดือนธันวาคม ดังภาพที่ 107

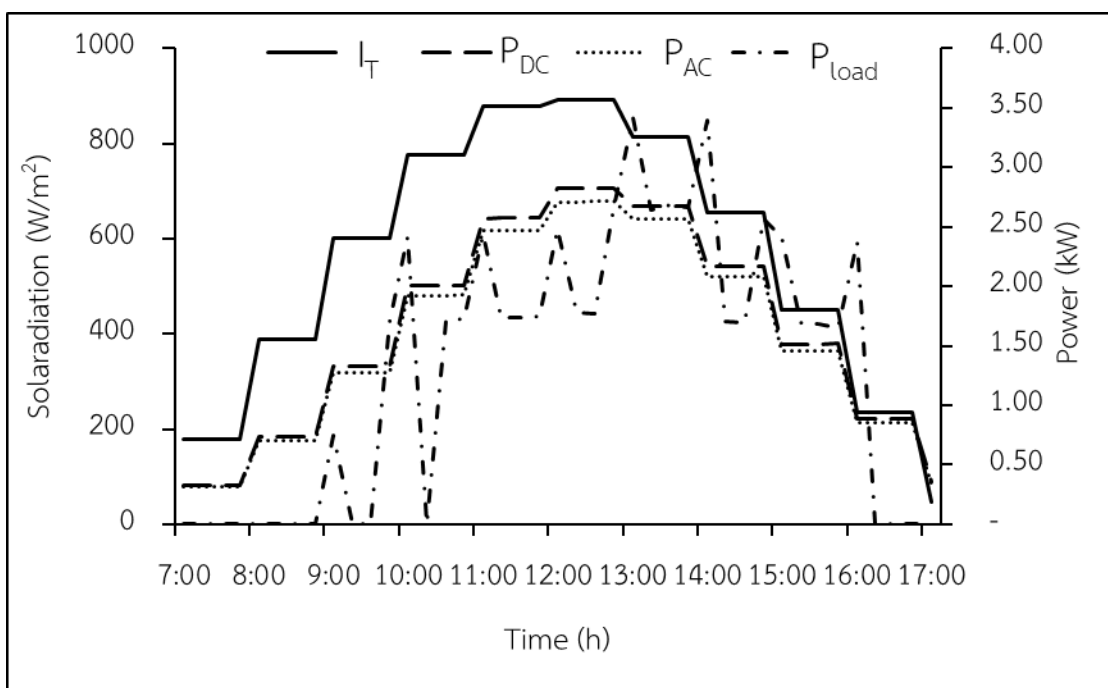


ภาพที่ 107 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละเดือนจากการใช้สมการทำนาย

ในภาพที่ 108- 119 แสดงกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากการจำลองคณิตศาสตร์รายเดือนจากการใช้สมการผลิตไฟฟ้ารายเดือนจากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดกึ่งโปร่งใส และได้เปรียบเทียบกับโหลดที่ใช้ในโรงเรียนโดยตั้งสมมติฐานว่าโหลดภายในโรงเรียนใช้กำลังไฟฟ้าเท่ากันในแต่ละวัน พบว่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงกระแสดตรงและกระแสสลับ โดยมีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 493.28 kWh/month และ 473.55 kWh/month ตามลำดับ มีค่าสูงสุดที่ 854.99 kWh/month และ 820.79 kWh/month ตามลำดับ ตลอดทั้งปีมีพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงที่ผลิตได้เท่ากับ 7,673.81 kWh/year เมื่อผ่านเครื่องแปลงกระแส Inverter จะมีค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้เท่ากับ 7,366.85 kWh/year ในขณะที่โหลดพลังงานไฟฟ้าที่อุปกรณ์ในโรงเรียนใช้ เท่ากับ 5,138.40 kWh/year คิดเป็นค่าเฉลี่ย 428.20 kWh/month และจำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้าจากการไฟฟ้า รวม 353.21 kWh/year คิดเป็นค่าเฉลี่ย 54.34 kWh/month ซึ่งจะสังเกตว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการไฟฟ้าเข้ามาช่วยเกิดขึ้นแค่เฉพาะบางช่วงเวลาเท่านั้น

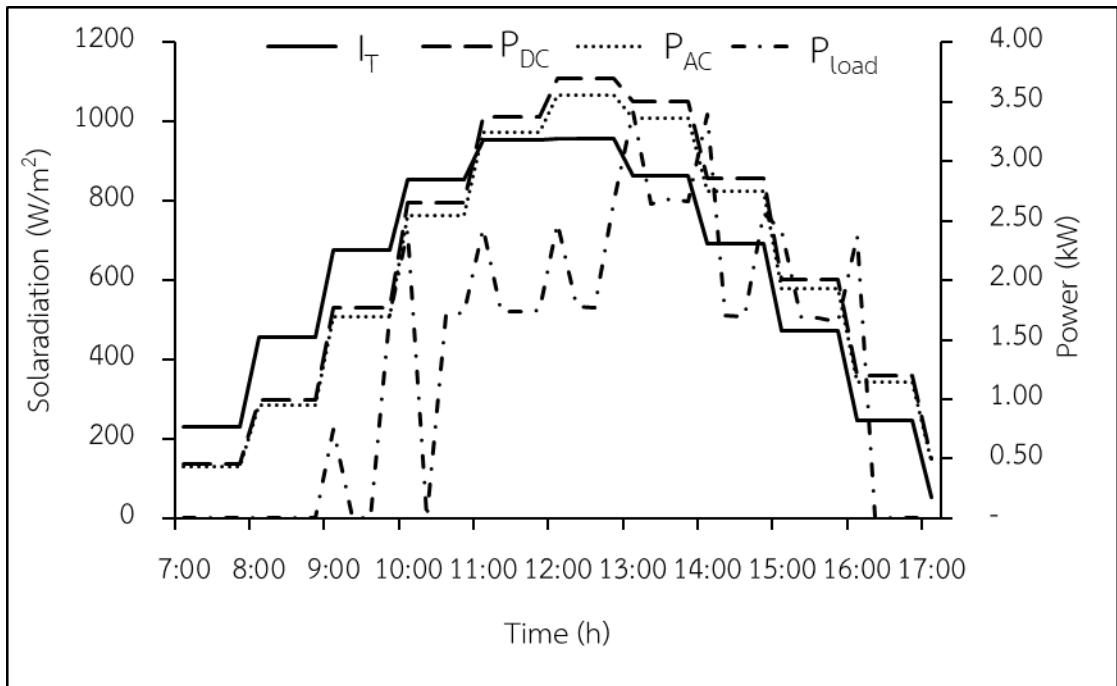
จะสังเกตว่าในการจำลองสมการทำนายพลังงานที่ได้เป็นรายเดือนของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสรูปแบบหมากรุกและได้เปรียบเทียบกับโหลดที่ใช้ในโรงเรียน พบว่าพลังงานไฟฟ้าผลิตได้มากที่สุดในเดือนเมษายนของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสแบบ

หมากรุกเท่ากับ 820.79 kWh/month โหลดพลังงานไฟฟ้าที่อุปกรณ์ในโรงเรียนใช้ เท่ากับ 428.20 kWh/month ใช้พลังงานไฟฟ้าจากการไฟฟ้า รวม 5.11 kWh/month และในช่วงเดือนธันวาคม พลังงานที่ได้จะต่ำสุดเท่ากับ 473.55 kWh/month โหลดพลังงานไฟฟ้าที่อุปกรณ์ในโรงเรียนใช้ เท่ากับ 428.20 kWh/month ใช้พลังงานไฟฟ้าจากการไฟฟ้า รวม.64.04 kWh/month ดังแสดงใน ตารางที่ 8

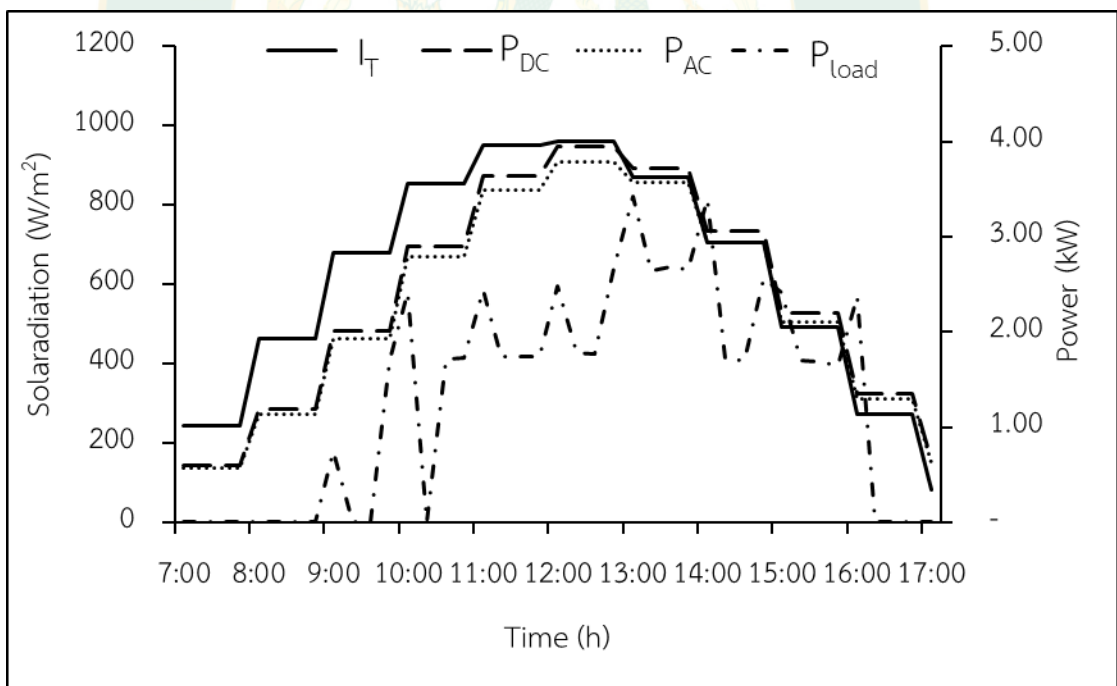


ภาพที่ 108 กำลังไฟฟ้าและการใช้โหลดในโรงเรียนของเดือนมกราคม

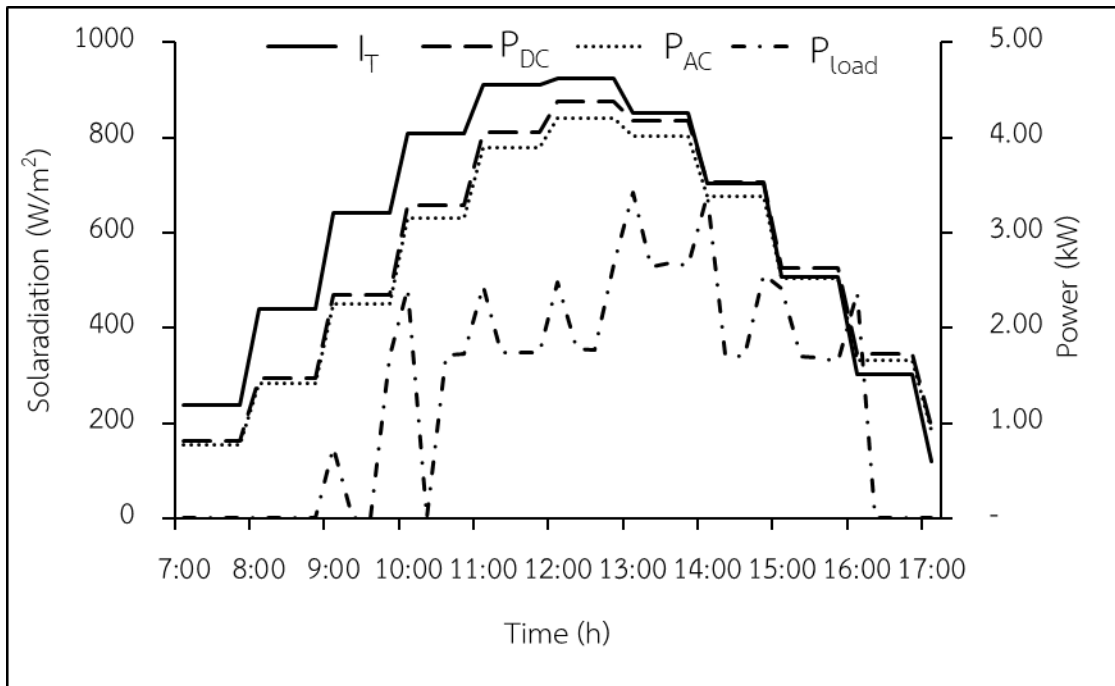




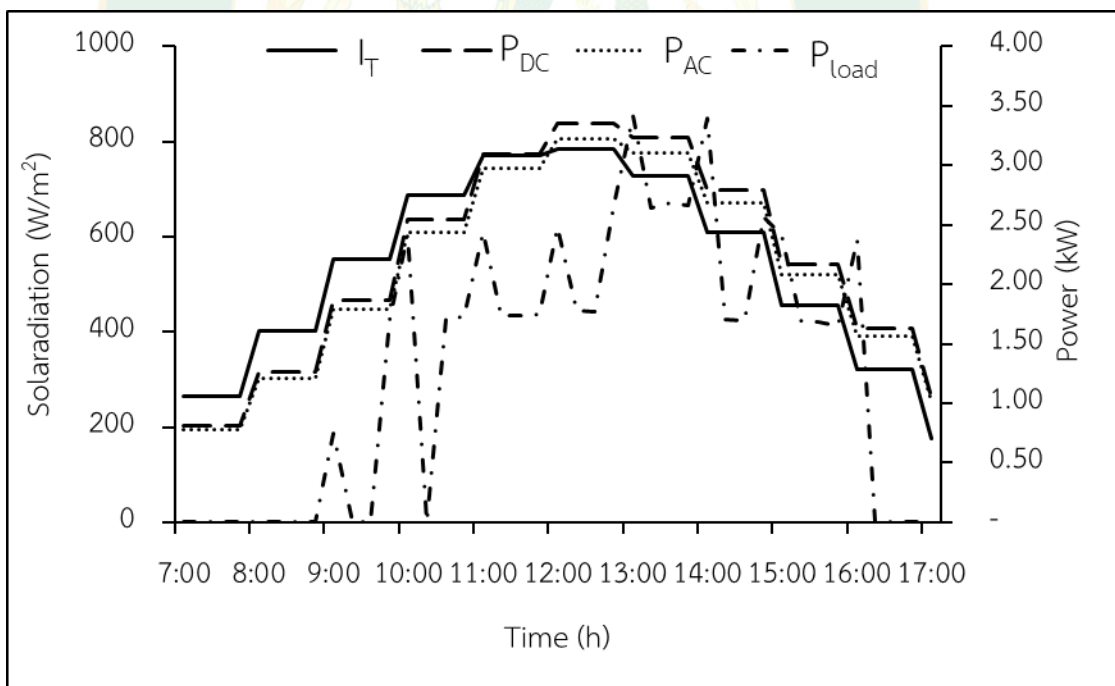
ภาพที่ 109 กำลังไฟฟ้าและการใช้โหลดในโรงเรียนของเดือนกุมภาพันธ์



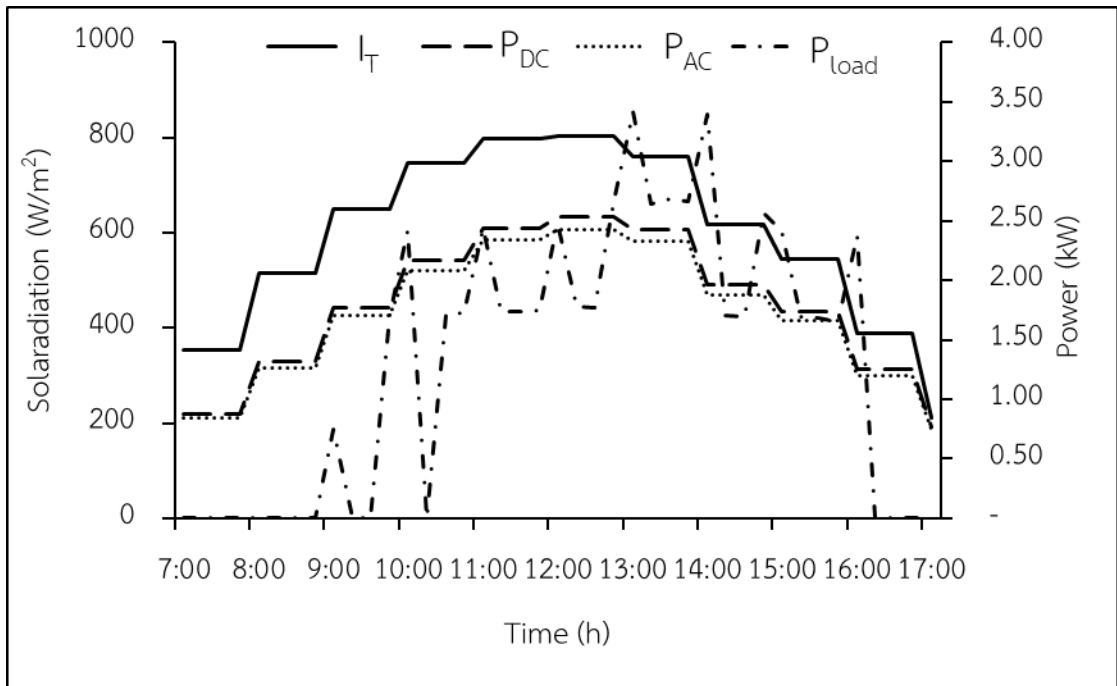
ภาพที่ 110 กำลังไฟฟ้าและการใช้โหลดในโรงเรียนของเดือนมีนาคม



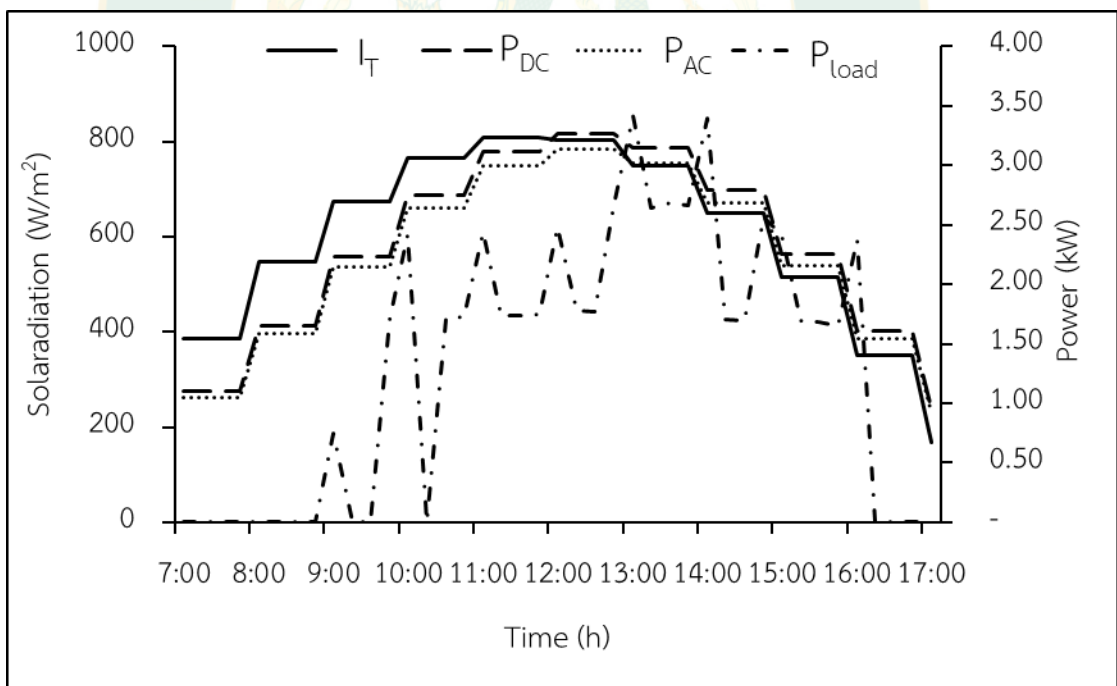
ภาพที่ 111 กำลังไฟฟ้าและการใช้โหลดในโรงเรือนของเดือนเมษายน



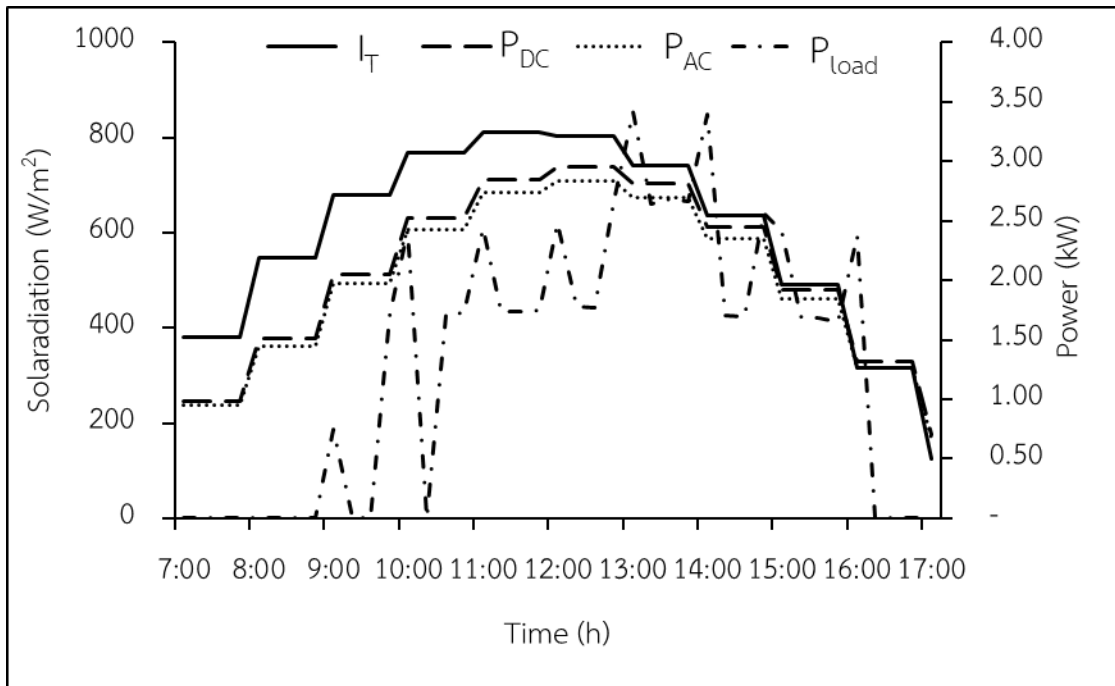
ภาพที่ 112 กำลังไฟฟ้าและการใช้โหลดในโรงเรือนของเดือนพฤษภาคม



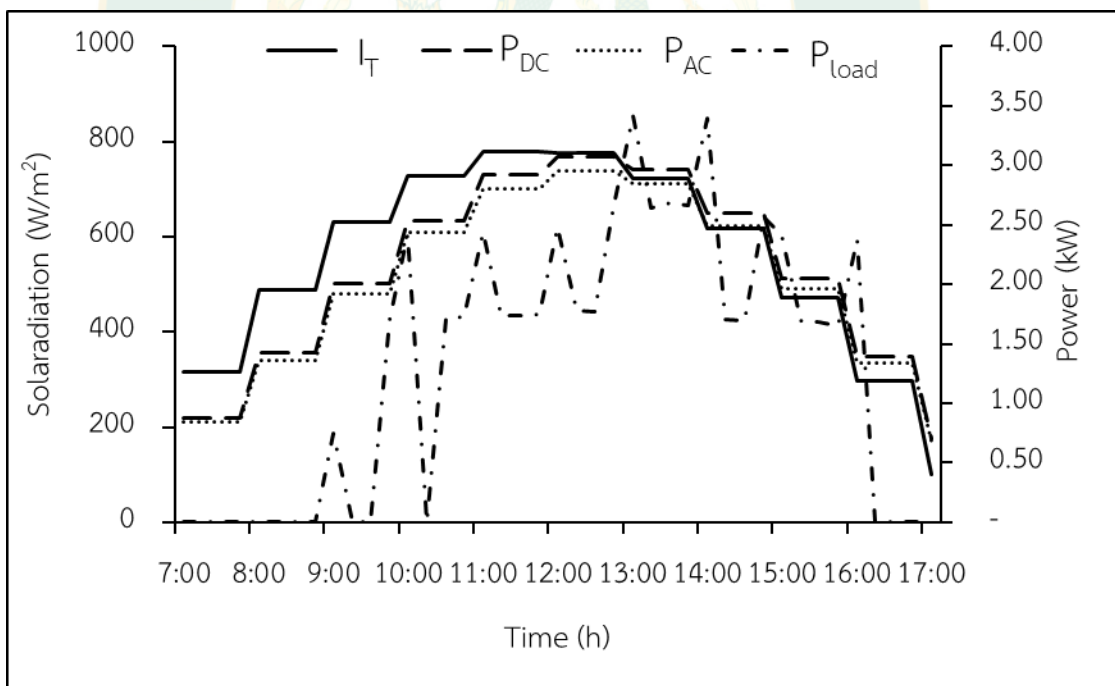
ภาพที่ 113 กำลังไฟฟ้าและการใช้โหลดในโรงเรียนของเดือนมิถุนายน



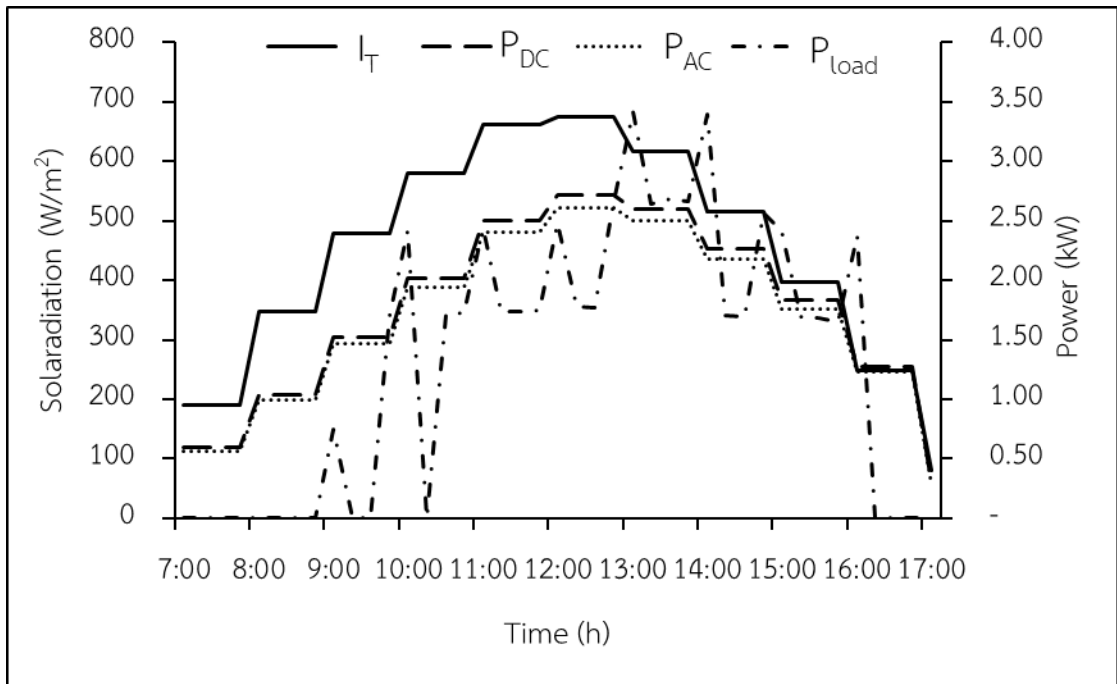
ภาพที่ 114 กำลังไฟฟ้าและการใช้โหลดในโรงเรียนของเดือนกรกฎาคม



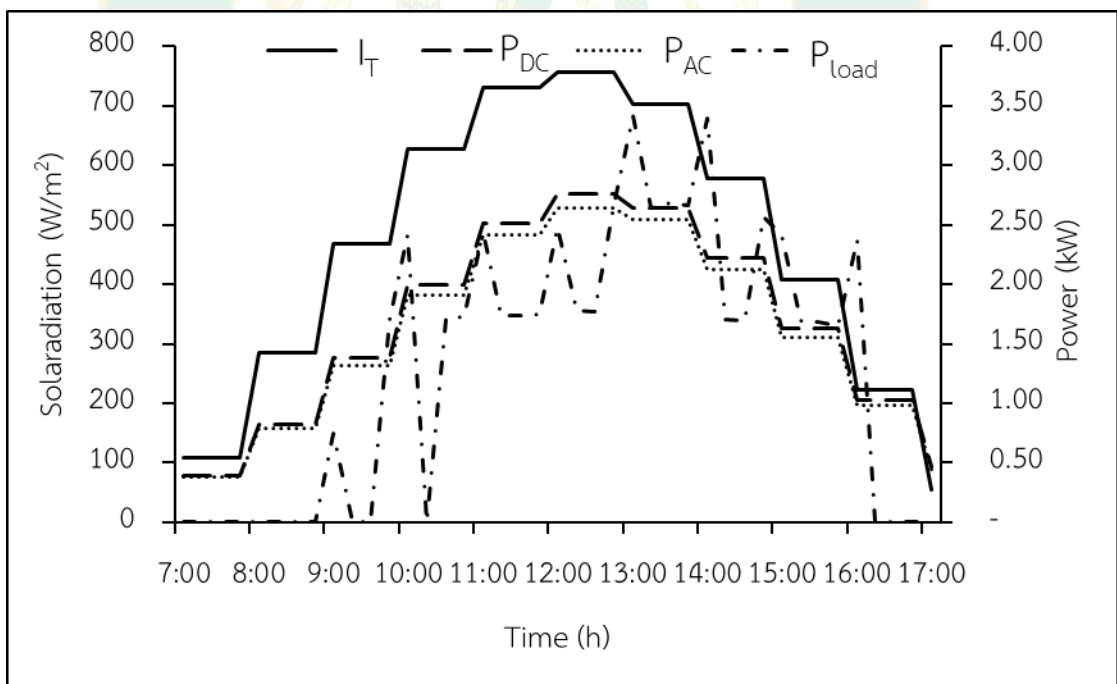
ภาพที่ 115 กำลังไฟฟ้าและการใช้โหลดในโรงเรือนของเดือนสิงหาคม



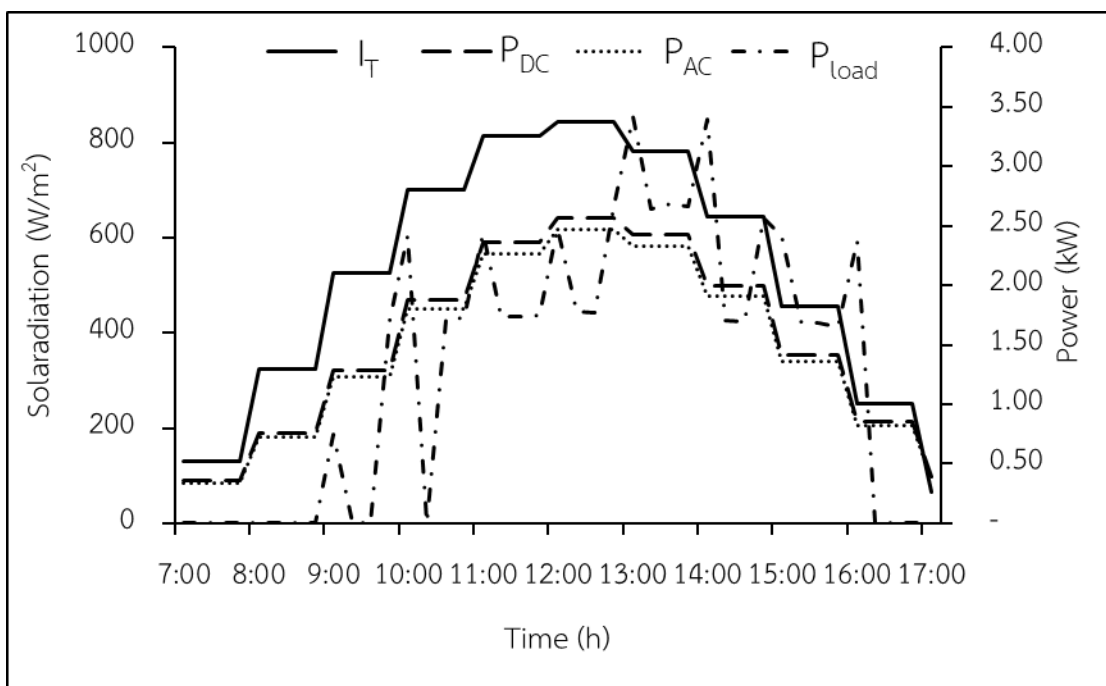
ภาพที่ 116 กำลังไฟฟ้าและการใช้โหลดในโรงเรือนของเดือนกันยายน



ภาพที่ 117 กำลังไฟฟ้าและการใช้โหลดในโรงเรียนของเดือนตุลาคม



ภาพที่ 118 กำลังไฟฟ้าและการใช้โหลดในโรงเรียนของเดือนพฤศจิกายน



ภาพที่ 119 กำลังไฟฟ้าและการใช้โหลดในโรงเรือนของเดือนธันวาคม

ตารางที่ 8 แสดงกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากการจำลองคณิตศาสตร์รายเดือนเปรียบเทียบกับโหลดที่ใช้

Month	Energy (AC) kWh/month	Energy load kWh/month	Energy Grid kWh/month	พลังงานไฟฟ้า ที่ประหยัดได้ kWh/month
January	507.12	428.20	54.29	373.91
February	605.34	428.20	17.02	411.18
March	732.88	428.20	12.86	415.34
April	820.79	428.20	5.11	423.09
May	680.30	428.20	15.28	412.92
June	530.56	428.20	43.73	384.47
July	709.71	428.20	15.38	412.82
August	631.73	428.20	25.67	402.53
September	626.13	428.20	14.95	413.25
October	547.68	428.20	39.50	388.70
November	501.06	428.20	45.38	382.82
December	473.55	428.20	64.04	364.16
ผลรวมพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (kWh/year)				4,780.19

โดยในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสแบบตราหมากรุกมีเงินลงทุนที่ 288,719 Baht โดยสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าลงได้ 4,780.19 kWh/year คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ 21,150.54 Baht/year คิดเป็นระยะเวลาคืนทุน 13.56 ปี มูลค่าปัจจุบันสุทธิ 56,724.84 Baht และอัตราผลตอบแทนภายใน 3.55 % ดังแสดงในตารางที่ 9

**ตารางที่ 9** มูลค่าเงินลงทุนและพลังงานที่ประหยัดได้ของการผลิตไฟฟ้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใส

รายละเอียด	แบบหมากรุก	
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (kWh/year)	4,780.19	
คิดเป็นค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (Baht/year)	21,150.54	
ค่าอุปกรณ์ (Baht)	แผงโซลาร์เซลล์แบบกึ่งโปร่งใส	162,000
	ค่าโครงสร้างรับแผงโซลาร์เซลล์	45,659
	ค่าติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์	34,560
	ค่า Inverter	34,000
	ชุดตู้คอนซูมเมอร์ DC และ AC	6,500
	สายไฟ PV	6,000
เงินลงทุนทั้งหมด (Baht)	288,719	
ระยะเวลาคืนทุน (year)	13.65	
NPV (Baht)	56,724.84	
IRR (%)	3.55	

**หมายเหตุ** อ้างอิงค่าไฟฟ้าประมาณ 4.42 Baht/kWh (มหาวิทยาลัยแม่โจ้, 2563) ใช้อัตราดอกเบี้ย 6.22 % (ธนาคารกรุงไทย, 2564) อายุโครงการ 20ปี

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาศักยภาพระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดกึ่งโพร่งใสสำหรับโรงเรือนปลูกพืช สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

ส่วนที่ 1 เป็นการศึกษาสีของฟิล์มที่เหมาะสมในการสร้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโพร่งใส 3 สี ได้แก่ สีแดง สีนํ้าเงิน และสีแดงสลับนํ้าเงิน เปรียบเทียบกับไม่มีการติดฟิล์ม และศึกษารูปแบบการจัดวางเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโพร่งใส 3 รูปแบบ ได้แก่ รูปแบบการจัดวางเซลล์แบบวันระยะห่างแบบที่ 1 รูปแบบการจัดวางเซลล์แบบวันระยะห่างแบบที่ 2 และรูปแบบการจัดวางเซลล์แบบหมากรุก จากการศึกษาพบว่า การติดฟิล์มทั้ง 3 สี ทำให้ค่า PPFD บางจุดในโรงเรือนต่ำกว่า  $400 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  ซึ่งไม่เหมาะกับการปลูกสตอเบอร์รี่ ในขณะที่รูปแบบการจัดวางเซลล์รูปแบบวันระยะห่างแบบที่ 2 และและแบบหมากรุกมีค่า PPFD ที่ใกล้เคียงกันซึ่งมีค่า PPFD มากกว่า  $400 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  ซึ่งเหมาะสมในการปลูกสตอเบอร์รี่ แต่เมื่อพิจารณากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้พบว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดกึ่งโพร่งใสที่จัดวางเซลล์แบบหมากรุกมีกำลังไฟฟ้าผลิตติดตั้งมากกว่า ดังนั้นรูปแบบการจัดเรียงวางเซลล์แบบหมากรุกจึงเหมาะสมที่สุดในการนำไปติดตั้งบนหลังคาโรงเรือนปลูกสตอเบอร์รี่โดยมีค่า PPFD เฉลี่ยที่  $660.37 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$

ส่วนที่ 2 ทำการทดสอบประสิทธิภาพ และสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดกึ่งโพร่งใส ขนาด 5.4 kW พบว่า ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดกึ่งโพร่งใส อยู่ที่ 11.796 % และประสิทธิภาพของระบบ 11.370% และมีสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงาน อยู่ที่ 66.1 %

ส่วนที่ 3 ประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ พบว่า การจัดวางเซลล์แบบหมากรุกสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้า ผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 4,780.19kWh/year (คิดเป็นค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ 21,150.54 Baht) โดยในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโพร่งใสมีเงินลงทุนที่ 288,719 Baht ดังนั้นทำให้การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโพร่งใสแบบหมากรุกบนหลังคาโรงเรือนปลูกสตอเบอร์รี่มีความเหมาะสมมากกว่าเนื่องจากจะมีระยะเวลาคืนทุน 13.56 ปี มูลค่าปัจจุบันสุทธิ 56,724.84 Baht และอัตราผลตอบแทนภายใน 3.55 % ต่อปี



## 5.2 ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

ข้อมูลที่ได้ อาจมีการคาดเคลื่อน เนื่องจากอุปกรณ์ในการตรวจวัดอาจมีความคาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อย รวมไปถึงสภาพอากาศในวันที่ทำการเก็บข้อมูลต้องมีสภาพอากาศที่ปลอดโปร่งแจ่มใส หากสภาพอากาศไม่เอื้ออำนวยการเก็บข้อมูลก็จะล่าช้า

สถานที่ หรือที่ตั้งโรงเรือนที่ใช้ในการทดลองในช่วงเวลา 8.00 น. ไม่สามารถเก็บข้อมูลได้ เนื่องจากเงาของอาคารตกรกกระทบ ทั้งนี้หากมีนักวิจัย หรือผู้ที่มีความสนใจควรรหาสถานที่ที่เหมาะสมกว่านี้เพื่อเพิ่มช่วงเวลาในการบันทึกข้อมูล

การวิเคราะห์ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ควรจัดทำอย่างต่อเนื่อง เพื่อดูความเปลี่ยนแปลงของระบบผลิตไฟฟ้าตลอดเวลาการใช้งาน และใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงแก้ไขระบบเมื่อเกิดปัญหาต่อไป





ภาคผนวก



ภาคผนวก ก.  
ตัวอย่างการคำนวณ

## การคำนวณการทำนายการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใส

### การคำนวณหาอุณหภูมิอากาศรายชั่วโมงต่อเดือน

การคำนวณหาอุณหภูมิอากาศรายชั่วโมงที่ใช้เป็นตัวแทนต่อวันของแต่ละเดือน เพื่อที่จะนำข้อมูลอุณหภูมิไปใช้สำหรับคำนวณอุณหภูมิอากาศรายชั่วโมง โดยการคำนวณดังกล่าวมีความจำเป็นต้องใช้อากาศสูงสุด และอากาศต่ำสุดย้อนหลังของเดือนที่ต้องการพิจารณา และใช้เวลาที่ต้องการพิจารณาในหน่วยชั่วโมง ซึ่งอุณหภูมิอากาศสูงสุด และต่ำสุดที่เป็นตัวแทนของเดือนตลอดทั้งปี ผู้วิจัยเลือกใช้อุณหภูมีย้อนหลังของกรมอุตุนิยมวิทยาปี 2561 (ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ, 2561) ดังตารางที่ ก 1

ตารางที่ ก.1 ตัวแทนอุณหภูมิสูงสุด และต่ำสุดรายเดือน

Month	$T_{\max} (^{\circ}\text{C})$	$T_{\min} (^{\circ}\text{C})$
January	30.3	16.9
February	34.5	17.4
March	35.5	20.5
April	38.5	25.4
May	36.5	24.5
June	29.5	24
July	35.2	24.8
August	33	23.8
September	34.8	24
October	35.5	23.5
November	33	23.3
December	29	21.6

ช่วงเวลาที่ต้องการพิจารณาในการหาอุณหภูมิอากาศอยู่ที่เวลา 7.00 – 17.00 น. และทำการคำนวณอุณหภูมิจากสมการดังต่อไปนี้

$$T_a = \frac{1}{2} \left[ (T_{\max} + T_{\min}) + (T_{\max} - T_{\min}) \sin \left( \frac{2\pi}{24} (t-9) \right) \right]$$

เมื่อ  $T_{\max}$  คือ อุณหภูมิแวดล้อมสูงสุดของเดือนที่ต้องการวิเคราะห์ ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_{\min}$  คือ อุณหภูมิแวดล้อมต่ำสุดของเดือนที่ต้องการวิเคราะห์ ( $^{\circ}\text{C}$ )

$t$  คือ เวลาที่ต้องการพิจารณา (h)

### ผลการคำนวณ

ผลการคำนวณอุณหภูมิแวดล้อมของเดือนมกราคม ที่เวลา 12.00 จากข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้นแสดงดังต่อไปนี้

$$T_a = \frac{1}{2} \left[ (T_{\max} + T_{\min}) + (T_{\max} - T_{\min}) \sin \left( \frac{2\pi}{24} (t-9) \right) \right]$$

$$T_a = \frac{1}{2} \left[ (30.3 + 16.9) + (30.3 - 16.9) \sin \left( \frac{2\pi}{24} (12-9) \right) \right]$$

$$T_a = 28.34 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

### การคำนวณอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใส

สำหรับการคำนวณหาอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสรายชั่วโมง ต้องทำการคำนวณหลังจากได้ข้อมูลอุณหภูมิอากาศแวดล้อมรายชั่วโมงซึ่งหาได้จากตัวอย่างการคำนวณก่อนหน้า และใช้ข้อมูล NOCT ที่เป็นข้อมูลจำเพาะของเซลล์แสงอาทิตย์ตามการทดสอบที่ STC ที่อุณหภูมิ  $20^{\circ}\text{C}$  และค่ารังสีอาทิตย์  $800 \text{ W/m}^2$  นอกจากนั้นจะใช้ข้อมูลค่ารังสีอาทิตย์ ณ เวลาที่ต้องการพิจารณา ซึ่งในตัวอย่างการคำนวณผู้วิจัยเลือกชุดข้อมูลค่ารังสีอาทิตย์ในเดือนมกราคม ที่เวลา 12.00 น. มีค่ารังสีอาทิตย์ในเวลาดังกล่าวอยู่ที่  $892 \text{ W/m}^2$  สามารถคำนวณได้ตามสมการต่อไปนี้

$$T_p = T_a + \left( \frac{\text{NOCT} - 20}{800} \right) \times I_G$$

$$T_p = 28.34 + \left( \frac{45 - 20}{800} \right) \times 892$$

$$T_p = 56.21 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

### การคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใส

ข้อมูลที่มีความจำเป็นในการคำนวณการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใส ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ค่ารังสีอาทิตย์ ณ เวลาที่ต้องการพิจารณา โดยที่ตั้งอย่างการคำนวณผู้วิจัยเลือกชุดข้อมูลค่ารังสีอาทิตย์ในเดือนมกราคม ที่เวลา 12.00 น. มีค่ารังสีอาทิตย์ในเวลาดังกล่าวอยู่ที่  $871.5 \text{ W/m}^2$  อุณหภูมิอากาศ  $32.9 \text{ }^{\circ}\text{C}$  อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์  $67.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$  สมการที่ใช้ในการคำนวณแสดงดังต่อไปนี้

$$P_{pv/sim,39cell} = 1.2526 \times (I_T^{0.26362}) \times (T_a^{0.22848}) \times (T_p^{0.39954})$$

$I_T$  คือ ค่ารังสีอาทิตย์ตกกระทบ ( $\text{W/m}^2$ )

$T_a$  คือ ค่าอุณหภูมิอากาศแวดล้อม ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_p$  คือ ค่าอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ( $^{\circ}\text{C}$ )

### ผลการคำนวณ

$$P_{pv/sim,39cell} = 1.2526 \times (871.5^{0.26362}) \times (32.9^{0.22848}) \times (67.6^{0.39954})$$

$$P_{pv/sim,39cell} = 89.19 \text{ W}$$

## การคำนวณหาประสิทธิภาพ และสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดกึ่ง โปร่งใส

ตัวอย่างการคำนวณตัวแปรต่างๆ ของการทดสอบสมรรถนะของระบบในการใช้งานจริง มี  
รายละเอียดดังนี้

### ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ

- วันที่คำนวณ 26 มกราคม พ.ศ. 2566
- ช่วงเวลาคำนวณ 12:00 น.
- ค่ารังสีอาทิตย์ ( $I_T$ ) 771.5 W/m<sup>2</sup>
- พื้นที่รับรังสีอาทิตย์รวม 31.54 m<sup>2</sup>
- ระยะเวลาระหว่างข้อมูล 15 min

### ผลการคำนวณ

ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

$$\eta_{PV} = \frac{P_{DC}}{I_T A_{PV}} = \frac{W}{W/m^2 \times m^2}$$

$$\eta_{PV} = \frac{2,890}{771.5 \times 31.54}$$

$$\eta_{PV} = 11.877 \quad \%$$

ประสิทธิภาพของระบบ

$$\eta_{SYS} = \frac{P_{AC}}{I_T A_{PV}} = \frac{W}{W/m^2 \times m^2}$$

$$\eta_{SYS} = \frac{2,764}{771.5 \times 31.54}$$

$$\eta_{SYS} = 11.359 \quad \%$$

การคำนวณหาสมรรถนะของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์  
ผลผลิตสุดท้ายของระบบ

$$Y_F = \frac{E_{AC}}{P_O} \quad \text{kWh/kWp}$$

$$Y_F = \frac{0.691}{5.4} \quad \text{kWh/kWp}$$

$$Y_F = 0.128 \quad \text{kWh/kWp}$$

ผลผลิตพลังงานไฟฟ้าตามทฤษฎี

$$Y_R = \frac{H_i}{G_{STC}} \quad \text{kWh/kWp}$$

$$Y_R = \frac{(771.5 / 1000 \times (5 / 60))}{1} \quad \frac{\text{kW} / \text{m}^2 \times \text{h}}{\text{kW} / \text{m}^2}$$

$$Y_R = 0.193 \quad \text{kWh/kWp}$$

สมรรถนะของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

$$PR = \frac{Y_F}{Y_R} \quad \frac{\text{kWh} / \text{kWp}}{\text{kWh} / \text{kWp}}$$

$$PR = \frac{0.128}{0.193} \quad \frac{\text{kWh} / \text{kWp}}{\text{kWh} / \text{kWp}}$$

$$PR = 66.3 \quad \%$$



### การคำนวณหาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์พลังงาน

ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ

- อัตราค่าไฟฟ้า 4.42 Baht/kWh
- มูลค่าการลงทุน 288,719 Baht
- ระยะเวลาโครงการ 20 year

ผลการคำนวณ

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ = 4,780.19 kWh/year

ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ = 4,780.19 x 4.42

ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ = 21,150.54 Baht/year

ระยะเวลาคืนทุน = 288,719 / 21,150.54

ระยะเวลาคืนทุน = 13.65 year

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) กำหนด  $i = 6.22\%$

$$NPV = \sum_{n=1}^N \frac{R_n - C_n}{(1+i)^n} - TIC$$

$$= \frac{21,150.54}{(1+0.622)} + \frac{21,150.54}{(1+0.622)^2} + \dots + \frac{21,150.54}{(1+0.622)^{20}} - 288,719$$

NPV = 56,724.84 Baht

อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR)

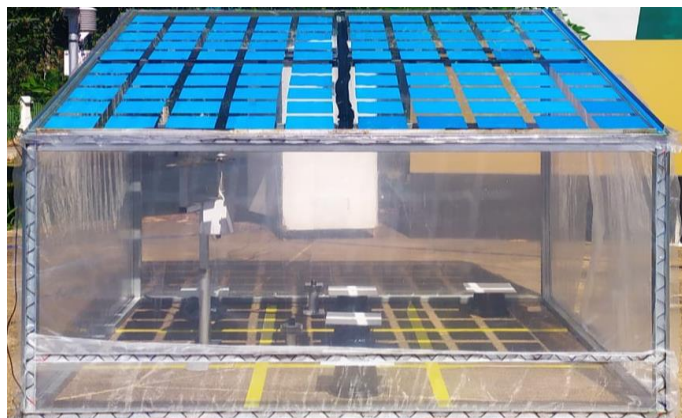
$$IRR = \sum_{n=1}^N \frac{R_n - C_n}{(1+IRR)^n} - TIC$$

$$= \frac{21,150.54}{(1+IRR)} + \frac{21,150.54}{(1+IRR)^2} + \dots + \frac{21,150.54}{(1+IRR)^{20}} - 288,719$$

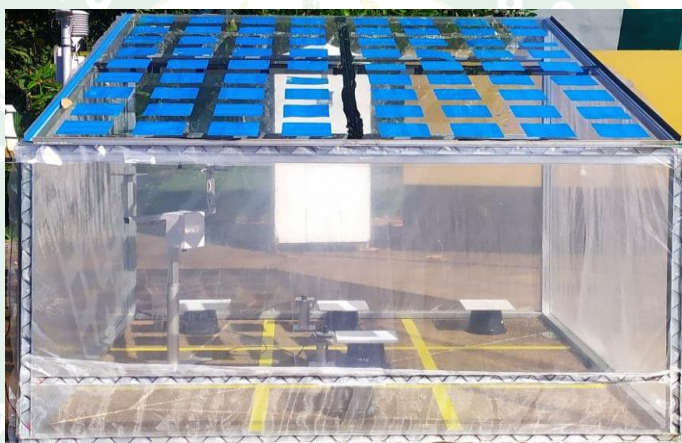
IRR = 3.55

% ต่อปี

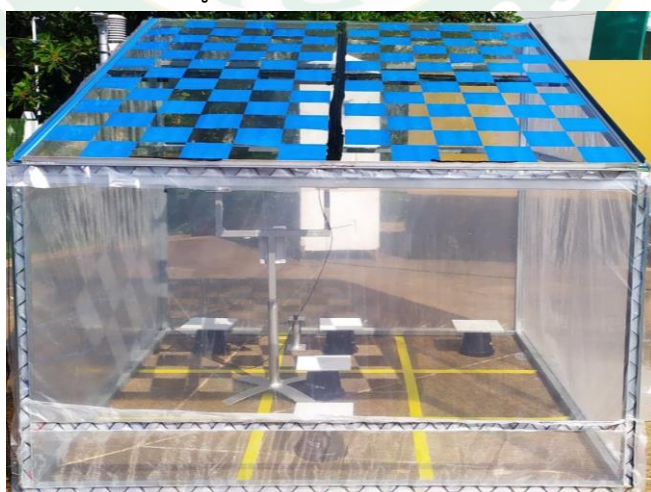
## รูปแบบการจัดวางเซลล์แสงอาทิตย์แบบกิ่งโปร่งใส



รูปแบบการจัดวางแบบเว้นระยะห่างที่ 1



รูปแบบเว้นระยะห่างที่ 2



รูปแบบหมากรูก

รูปแบบการติดฟิล์มสีแดง ฟิล์มสีน้ำเงิน และฟิล์มสีแดงสลับน้ำเงิน



ตัวอย่างการเคลื่อนที่ของเงา





ภาคผนวก ข.  
การเผยแพร่งานวิจัย

### การเผยแพร่งานวิจัยในงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติ

- ชื่อผลงานวิชาการ: An experimental of semi-transparent solar cell prototype design for the application in agricultural greenhouse
- ผู้แต่ง: Tadam Vongpanya, Rattapol Phuphanphet, Jatiya Futhrem, Sulaksana Mongkon, Sarawut Polvongsri
- การประชุมวิชาการ: The 15th TSAE International Conference & The 23rd TSAE National Conference (TSAE 2022)



# TSAE 2022

**THE 15<sup>th</sup> TSAE INTERNATIONAL CONFERENCE  
& 23<sup>rd</sup> TSAE NATIONAL CONFERENCE**  
August 18<sup>th</sup>-19<sup>th</sup>, 2022 by Online platform








*TSAE 2022 conference is the premier forum for the presentation of new technologies, innovation and research results in the fields regarding the agricultural and food industries. It will bring together leading researchers, engineers, and scientists in the domain of interest from around the world.*

*Furthermore, this event provides an in-depth perspective from the business sector on the teaching and learning management of RMUTL's Agricultural and Biological Engineering Program in the form of Work-integrated Learning (WiL)*

### Important date

Full paper submission	<b>1<sup>st</sup> June 2022</b>
Final full paper submission deadline	<b>30<sup>th</sup> June 2022</b>
Acceptance notification	<b>15<sup>th</sup> July 2022</b>
Early bird registration	<b>15<sup>th</sup>-20<sup>th</sup> July 2022</b>
Regular registration	<b>21<sup>st</sup> July – 18<sup>th</sup> August 2022</b>

### Registration Rate

	National Conference		International Conference	
	Early Registration	Standard Registration	Early Registration	Standard Registration
Regular Presenter	2,500	3,000	6,000	6,500
TSAE Member	2,250	2,500	5,500	6,000
Student	2,000	2,250	4,000	4,500
Additional Paper	750	1,000	4,000	4,500

\*The price is shown in Thai Baht (THB).\*

Conference Date: 18<sup>th</sup>-19<sup>th</sup> August 2022

### Topic

- POWER AND MACHINERY
- SOIL AND WATER ENGINEERING
- POSTHARVEST AND FOOD ENGINEERING
- STRUCTURES AND BUILDINGS
- LOGISTIC AND SUPPLY CHAIN MANAGEMENT
- ELECTRONICS AND INFORMATION TECHNOLOGY
- ENERGY AND ENVIRONMENT
- TECHNICAL AND ENGINEERING EDUCATION (Special Topic)

### Publication option

1. RMUTL Engineering Journal (TC12)
2. RMUTL Journal of Socially Engaged Scholarship (TC12)
3. Thai Societies of Agricultural Engineering Journal (TC12)
4. The Online Journal for Technical and Vocational Education and Training in Asia
5. Journal of Agricultural Research and Extension : TSAE Issue (TC11)
6. TSAE Conference Proceeding



THE 15<sup>th</sup> TSAE INTERNATIONAL CONFERENCE & 23<sup>rd</sup> TSAE NATIONAL CONFERENCE

13.15 – 13.30	PFE019	Improvement NIR model in a conveyor system for in-line measurement of dry matter content and soluble solids content of durian pulp <i>Chirawan Saenphon, Sirirak Ditcharoen, Chuyutpong Malai, Khwantri Saengprachatanarug, Seree Wongpichet, Panmanas Sirisomboon, Wanphut Saechua, Jetsada Posom</i>
13.30 – 13.45	PFE022	Rapid estimation starch content of topical root using spectroscopic method <i>Chuyutpong Malai, Sirirak Ditcharoen, Chirawan Saenphon, Khwantri Saengprachatanarug, Seree Wongpichet, Panmanas Sirisomboon, Jetsada Posom</i>
13.45 – 14.00	PFE023	Effects of Refrigeration on Syruping and Baking Quality of Flaxseed Enriched Wheat Dough <i>Tanundorn Veng</i>
Chairman	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อบ นิลผาย	
Session 3	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ศรีราชา	
14.00 – 14.15	ENEV001	Effect of Installation Depths Under Water Upon the Performance of Solar Panels <i>Jakrawut Ninta, Akarin Intaniwet</i>
14.15 – 14.30	ENEV005	Effect of room temperature on water warming device from the split type air conditioner system <i>Sira Saisorn, Panya Daungwilailux</i>
14.30 – 14.45	ENEV009	Performance Testing of Micro-Gas Turbine with Bio-kerosene from Palm Oil via Thermo-Catalytic Cracking <i>Jiramate Maraka, Thoranis Deethayat, Tanongkiat Kiatsiriroot</i>
14.45 – 15.00	ENEV008	Development of Material for Cricket shelter from Agricultural Residue <i>Phuthadhol Rattanapornapat, Supakit Sayasoonthorn, Roongtip Luilao, Chama Inson, Kiatkamjon Intani, Ratiya Thuwapanichayanan</i>
Chairman	รองศาสตราจารย์ ดร.ธรมิศร์ ดีทยาท	
Session 4	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	
15.00 – 15.15	ENEV006	An experimental of semi-transparent solar cell prototype design for the application in agricultural greenhouse <i>Tadam Vongpanya, Rattapol Phuphanphet, Jatiya Futhrem, Sulaksana Mongkon, Sarawut Palvongsri</i>





THE 15<sup>th</sup> Thai Society of Agricultural Engineering International Conference

Certificate of Oral Presentation

Presented to

**Tadam Vongpanya, Rattapol Phuphanphet, Jatiya Futhrem, Sulaksana Mongkon,  
Sarawat Polvongsri**

Presentation title : An experimental of semi-transparent solar cell prototype design for  
the application in agricultural greenhouse

August 18-19, 2022 by Online System

A blue ink signature of Dr. Kitchar Chaithanu.

Dr.Kitchar Chaithanu  
The Dean, Faculty of Engineering  
Rajamangala University of Technology Lanna

A black ink signature of Dr. Dares Kitiyopas.

Dr.Dares Kitiyopas  
President  
Thai Society of Agricultural Engineering

### บรรณานุกรม

- Ahmed, E. M. (2015). Hydrogel: Preparation, characterization, and applications: A review. *Journal of advanced research*, 6(2), 105-121.
- Alinejad, T., Yaghoubi, M., & Vadiiee, A. (2020). Thermo-environomic assessment of an integrated greenhouse with an adjustable solar photovoltaic blind system. *Renewable energy*, 156, 1-13.
- Aristizábal, A., & Páez, C. (2017). Experimental investigation of the performance of 6 kW BIPV system applied in laboratory building. *Energy and Buildings*, 152, 1-10.
- Ezzaeri, K., Fatnassi, H., Bouharroud, R., Gourdo, L., Bazgaou, A., Wifaya, A., Demrati, H., Bekkaoui, A., Aharoune, A., & Poncet, C. (2018). The effect of photovoltaic panels on the microclimate and on the tomato production under photovoltaic canarian greenhouses. *Solar Energy*, 173, 1126-1134.
- Gelder, J. (2018). Design with climate in ancient Rome: Vitruvius meets Olgay. International Conference of the Architectural Science Association,
- Gholami, H., Røstvik, H. N., & Müller-Eie, D. (2019). Holistic economic analysis of building integrated photovoltaics (BIPV) system: Case studies evaluation. *Energy and Buildings*, 203, 109461.
- Gong, X., Qian, H., Cao, P., Zhao, X., Zhou, Q., Lei, J., & Yan, N. (2018). Structural basis for the recognition of Sonic Hedgehog by human Patched1. *Science*, 361(6402), eaas8935.
- Haider, A. J., Al-Anbari, R., Sami, H. M., & Haider, M. J. (2019). Enhance preparation and characterization of nickel-oxide as self-cleaning surfaces. *Energy Procedia*, 157, 1328-1342.
- Jemal, A., Siegel, R., Ward, E., Hao, Y., Xu, J., & Thun, M. J. (2009). Cancer statistics, 2009. *CA: a cancer journal for clinicians*, 59(4), 225-249.
- Ladthavong, P., Polvongsri, S., Mongkon, S., & Intaniwet, A. (2021). การ วิเคราะห์ คุณสมบัติ ทาง พลังงาน และ แสงสว่าง ของ บานเกล็ด เซลล์ แสงอาทิตย์ แบบ กึ่ง โปร่งแสง ที่ ติด ตั้ง ร่วม กับ อาคาร. *Engineering Journal Chiang Mai University*, 28(1), 45-60.
- Marucci, A., Zambon, I., Colantoni, A., & Monarca, D. (2018). A combination of

- agricultural and energy purposes: Evaluation of a prototype of photovoltaic greenhouse tunnel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 1178-1186.
- Metin, D., Tihminlioglu, F., Balköse, D., & Ülkü, S. (2004). The effect of interfacial interactions on the mechanical properties of polypropylene/natural zeolite composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 35(1), 23-32.
- Overbeek, R., Olson, R., Pusch, G. D., Olsen, G. J., Davis, J. J., Disz, T., Edwards, R. A., Gerdes, S., Parrello, B., & Shukla, M. (2014). The SEED and the Rapid Annotation of microbial genomes using Subsystems Technology (RAST). *Nucleic acids research*, 42(D1), D206-D214.
- Poulek, V., Matuška, T., Libra, M., Kachalouski, E., & Sedláček, J. (2018). Influence of increased temperature on energy production of roof integrated PV panels. *Energy and Buildings*, 166, 418-425.
- Ramos, B., Miller, F., Brandão, T., Teixeira, P., & Silva, C. (2013). Fresh fruits and vegetables—an overview on applied methodologies to improve its quality and safety. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 20, 1-15.
- Sung, Y.-M., Li, M.-Z., Luo, D., Biring, S., Huang, Y.-C., Wang, C.-K., Liu, S.-W., & Wong, K.-T. (2021). A micro-cavity forming electrode with high thermal stability for semi-transparent colorful organic photovoltaics exceeding 13% power conversion efficiency. *Nano Energy*, 80, 105565.
- Wang, Q., Ping, P., Zhao, X., Chu, G., Sun, J., & Chen, C. (2012). Thermal runaway caused fire and explosion of lithium ion battery. *Journal of power sources*, 208, 210-224.
- Yadav, P. D., Sapkal, G. N., Abraham, P., Ella, R., Deshpande, G., Patil, D. Y., Nyayanit, D. A., Gupta, N., Sahay, R. R., & Shete, A. M. (2022). Neutralization of variant under investigation B. 1.617. 1 with sera of BBV152 vaccinees. *Clinical Infectious Diseases*, 74(2), 366-368.
- Zhao, J., Li, Y., Yang, G., Jiang, K., Lin, H., Ade, H., Ma, W., & Yan, H. (2016). Efficient organic solar cells processed from hydrocarbon solvents. *Nature Energy*, 1(2), 1-7.
- ชิน, บ. ง. (2562). การวิเคราะห์ความพร้อมในการผลิตกำลังไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงาน แสงอาทิตย์

ชนิดติดตั้งบนหลังคาขนาดใหญ่ 1 เมกะวัตต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. คณะ  
วิศวกรรมศาสตร์. สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

สุลักษณ์ มงคล, เอกสารเฉพาะทางด้านพลังงานทดแทนและการอนุรักษ์พลังงาน. เอกสารประกอบการ  
เรียนการสอน, วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้; 2021.

สรารุช พลวงษ์ศรี. เอกสารเศรษฐศาสตร์และการวางแผนธุรกิจ. เอกสารประกอบการเรียนการสอน.  
ครั้งที่ 4. วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้; 2021.



## ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	Mr Tadam VONGPANYA
เกิดเมื่อ	10 April 1989
ประวัติการศึกษา	Master's degree
ประวัติการทำงาน	2012-2023 I have been a teacher for at souphanouvong university

