

การเพิ่มประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์ด้วยระบบฮีทไปป์คูolling



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน สหสาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2564

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Efficiency improvement of solar panel by heat pipe cooling systems



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science in Energy Technology and Management  
Inter-Department of Energy Technology and Management

GRADUATE SCHOOL

Chulalongkorn University

Academic Year 2021

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเพิ่มประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์ด้วยระบบฮีทไปป์คู ลิ่ง
โดย	นายธนกฤต ลาภวุฒิพจน์
สาขาวิชา	เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ

---

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

.....	คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.ยุทธนา ฉัพพรรณรัตน์)	
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	
.....	ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐิติศักดิ์ บุญปราโมทย์)	
.....	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ)	
.....	กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ประพันธ์ คุชลาธारा)	
.....	กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.อมรรัตน์ แก้วประดับ)	

ชนกฤต ลาภวุฒิพนธ์ : การเพิ่มประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์ด้วยระบบฮีทไปป์คูolling.  
(Efficiency improvement of solar panel by heat pipe cooling systems) อ.ที่  
ปรึกษาหลัก : รศ. วิทยา ยงเจริญ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์ ด้วยระบบฮีทไปป์คูolling ในการทดลอง ใช้แผงโซลาร์เซลล์ 2 แผง คือ แผงโซลาร์เซลล์แบบปกติ ใช้เป็นข้อมูลอ้างอิง และ แผงโซลาร์เซลล์แบบติดตั้งฮีทไปป์เพื่อใช้ลดอุณหภูมิแผง ตัวแปรติดตามในการศึกษา ประกอบด้วย ความเข้มแสงอาทิตย์ กำลังไฟฟ้าที่แผงผลิตได้ อุณหภูมิของแผงโซลาร์เซลล์ อุณหภูมิฮีทไปป์ และ อุณหภูมิอากาศภายนอก ในการศึกษาทดลองครั้งนี้จะเก็บข้อมูลทุกๆ 15 นาที ตั้งแต่เวลา 8.00 ถึง 16.15 นาฬิกา เป็นเวลา 14 วัน ฮีทไปป์ที่ใช้เป็นท่อทองแดงกลมมีเกลียวภายในทำหน้าที่เป็นวิก ฮีทไปป์ใช้น้ำกลั่นเป็นของไหลใช้งาน และฮีทไปป์ทั้งหมด 7 ท่อถูกติดตั้งที่บริเวณด้านหลังของแผงโซลาร์เซลล์ จากการวิเคราะห์พบว่า แผงโซลาร์เซลล์แบบปกติมีอุณหภูมิเฉลี่ย 52.5 องศาเซลเซียส และมีพลังงานต่อปี 199.7 kWh ส่วนแผงแบบติดตั้งระบบฮีทไปป์ มีอุณหภูมิเฉลี่ย 51.1 องศาเซลเซียส และมีพลังงานต่อปี 222.3 kWh ดังนั้นแผงโซลาร์เซลล์แบบติดตั้งฮีทไปป์ ช่วยลดอุณหภูมิได้ 1.44 องศาเซลเซียส หรือร้อยละ 2.7 และมีค่าพลังงานต่อปีมากกว่าแผงแบบปกติ 22.6 kWh หรือร้อยละ 11.3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา เทคโนโลยีและการจัด  
การพลังงาน

ปีการศึกษา 2564

ลายมือชื่อนิสิต .....

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

# # 6280020820 : MAJOR ENERGY TECHNOLOGY AND MANAGEMENT

KEYWORD: Efficiency, Heat Pipe Cooling, Solar panel

Tanaket Lawuthipot : Efficiency improvement of solar panel by heat pipe cooling systems. Advisor: Assoc. Prof. Withaya Yongchareon, Ph.D.

This research was a study of improving the efficiency of solar panel with heat pipe cooling system. In the experiment, two solar panels were used. The first one was a normal solar panel used as a reference panel and the other was a solar panel equipped with heat pipes to reducing solar panel temperature. Heat pipes were made of copper pipe with inner thread acting as a wig. Distilled water was used as a working fluid in the heat pipe. There were 7 heat pipes fastened to the back of solar panel. The monitoring parameters in the study were solar intensity, power and temperature of the panels, heat pipe temperature and ambient air temperature. Data were collected every 15 minutes from 8:00 a.m. to 4:15 p.m. for 14 days. From analysis, the average temperature of the normal solar panel was 52.5 °C and the anual energy was 199.7 kWh. While the average temperature and the anual energy for the solar panel equipped with heat pipe were 51.1 °C and 222.3 kWh respectively. Therefore, the average temperature of solar panel equipped with heat pipe was decreased by 1.44 °C or 2.7% and the anual energy was increased by 22.6 kWh or 11.3 %.

Field of Study: Energy Technology and  
Management

Student's Signature .....

Academic Year: 2021

Advisor's Signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์ด้วยระบบฮีทไปป์คูลิ่ง ครั้งนี้สำเร็จจุลวง  
ได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษา และ ครูชำนาญการ  
ธงชัย สิงห์สังวรณ ที่ได้ให้คำแนะนำ ชี้แนะแนวทางพร้อมทั้งให้ความช่วยเหลือทั้งทางทฤษฎีตลอดจนถึง  
การลงมือปฏิบัติ และให้ความอนุเคราะห์ช่วยตรวจสอบปรับปรุง แก่ไขงานวิจัยฉบับนี้ให้ถูกต้องเป็น  
อย่างดี

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คณะอาจารย์ประจำหลักสูตร เจ้าหน้าที่บริหารหลักสูตร ตลอดจนเพื่อน  
นิสิตทุกคน และ บริษัท บริษัท กันกุลเอ็นจิเนียริง จำกัด (มหาชน) ที่ช่วยอนุเคราะห์แผงโซลาร์เซลล์แบบ  
อะมอร์ฟัส ชนิด Thin Film Solar Cells ขนาดแผงละ 140 วัตต์ จำนวน 2 แผง จนทำให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จ

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดา มารดา และผู้มีส่วนร่วมทุกท่านที่ให้การช่วยเหลือ ผลักดัน  
เป็นแรงใจที่ดีเสมอมา

ธนกฤต ลาภวุฒิจำน



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

## สารบัญ

	หน้า
.....	ค
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญภาพ .....	ช
สารตาราง.....	ฉ
บทที่ 1 .....	1
บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย .....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับ.....	3
บทที่ 2 .....	4
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	4
2.1 สภาพแวดล้อมในการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ .....	4
2.2 ความสกปรกของหน้าแผงโซลาร์เซลล์.....	4
2.3 ความเข้มรังสีรวม .....	4
2.4 อุณหภูมิ.....	5
2.4.1 การนำความร้อน (Conduction Heat Transfer).....	6

2.4.2 การแผ่รังสีความร้อน (Radiation).....	6
2.4.3 การพาความร้อน (Convection).....	7
2.5 ฮีทไปป์ (Heat Pipe) .....	8
2.6 ชนิดวิก.....	9
2.7 ของไหลใช้งาน .....	10
2.8 แผงระบายความร้อน.....	13
2.9 การคำนวณที่เกี่ยวข้อง.....	13
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	16
บทที่ 3 .....	18
วิธีการดำเนินงานวิจัย .....	18
3.1 การวางแผนระบบ.....	18
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	19
3.2.1 แผงโซลาร์เซลล์ รุ่น SF 140 - L.....	19
3.2.2 ฮีทไปป์ .....	19
3.2.3 แผงระบายความร้อนส่วนควบแน่น.....	20
3.2.4 วิกรับความร้อนส่วนระเหย .....	21
3.2.5 ฟินรับความร้อนส่วนระเหย .....	21
3.2.6 สารนำความร้อน (Heat Transfer Compound).....	22
3.3 ขั้นตอนการประกอบฮีทไปป์ .....	22
3.4 ขั้นตอนการทดสอบฮีทไปป์ .....	24
3.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการบันทึกข้อมูล.....	25
3.6 การทดสอบแผงโซลาร์เซลล์แบบปกติที่ไม่ได้ติดตั้งฮีทไปป์.....	26
3.7 การทดสอบแผงโซลาร์เซลล์ที่ติดตั้งฮีทไปป์ .....	27
3.8 วิเคราะห์ข้อมูล.....	27



บทที่ 4 .....	28
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและเปรียบเทียบประสิทธิภาพ .....	28
4.1 ผลการทำงานฮีทไปป์ .....	28
4.2 ผลการทดสอบแผงโซลาร์เซลล์ทั้งสองแผงขณะที่ไม่ได้ติดตั้งฮีทไปป์ .....	29
4.3 ผลการทดสอบติดตั้งฮีทไปป์เข้ากับแผงโซลาร์เซลล์ .....	29
4.3.1 การเปรียบเทียบอุณหภูมิแผงโซลาร์เซลล์ .....	29
4.3.2 การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงโซลาร์เซลล์.....	31
4.3.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโซลาร์เซลล์.....	33
4.3.4 พลังงานรายวันของแผงโซลาร์เซลล์ .....	33
4.4 ความคุ้มค่าในการลงทุน .....	35
บทที่ 5 .....	36
สรุปผลการวิจัย .....	36
5.1 สรุปผลการวิจัย .....	36
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	36
บรรณานุกรม.....	38
ภาคผนวก.....	39
ภาคผนวก 1 .....	40
ภาคผนวก 2 .....	71
ภาคผนวก 3 .....	74
ประวัติผู้เขียน.....	80

## สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยของประเทศไทย .....	5
รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่างๆ.....	6
รูปที่ 2.3 หลักการทำงานของฮีตไปป์ .....	8
รูปที่ 2.4 รูปแบบวิกประเภทต่างๆ.....	9
รูปที่ 2.5 แสดงกราฟการกระจายข้อมูลของกำลังไฟฟ้าและความเข้มแสงอาทิตย์รายวัน .....	15
รูปที่ 3.1 แบบจำลองงานวิจัย .....	18
รูปที่ 3.2 แผงโซลาร์เซลล์แบบปกติ.....	19
รูปที่ 3.3 แผงระบายความร้อน .....	20
รูปที่ 3.4 เกลียวภายในท่อทองแดงเมื่อผ่าท่อและเคลือบให้เป็นแผ่น.....	21
รูปที่ 3.5 ฟินของส่วนระเหยที่บริเวณด้านหลังของแผงโซลาร์เซลล์.....	21
รูปที่ 3.6 สารนำความร้อน.....	22
รูปที่ 3.7 การเชื่อมส่วนประกอบต่างๆเข้ากับท่อทองแดง.....	22
รูปที่ 3.8 วาล์วรูปตัวที ( T ) และมิเตอร์วัดความดันสุญญากาศ.....	23
รูปที่ 3.9 ภาพก่อน - หลัง การดูดอากาศภายในท่อทองแดง .....	23
รูปที่ 3.10 ไดอะแกรมการทดสอบฮีตไปป์ .....	24
รูปที่ 3.11 การทดสอบฮีตไปป์ที่เอียงทำมุม $15^{\circ}$ กับแนวระดับ .....	25
รูปที่ 3.12 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบเทอร์โมคัปเปิ้ล.....	26
รูปที่ 3.13 การติดตั้งไพรานอมิเตอร์ในแนวระดับ .....	26
รูปที่ 3.14 การวัดค่าพารามิเตอร์ ต่างๆ .....	27
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่วนระเหยกับกำลังไฟฟ้าป้อนเข้า.....	28
รูปที่ 4.2 การผลิตกำลังไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์.....	29
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับช่วงเวลาของวันที่ 8 มีนาคม.....	30

รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์กำลังไฟฟ้ากับช่วงเวลาของวันที่ 8 มีนาคม 2564 .....	32
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับอุณหภูมิแผงปกติวันที่ 8 มีนาคม .....	32
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับอุณหภูมิแผงที่ติดตั้งฮีตปั๊มน้ำในวันที่ 8 มีนาคม .....	33



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

## สารตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ความเข้มรังสีรวมเฉลี่ยในประเทศไทย.....	5
ตารางที่ 2.2 ช่วงอุณหภูมิรับความร้อน กับ คายความร้อนของ ของเหลวชนิดต่างๆ.....	10
ตารางที่ 2.3 ตารางไอน้ำอิ่มตัว Steam Table .....	12
ตารางที่ 4.1 แสดงอุณหภูมิต่างๆ ตั้งแต่เวลา 10.45-16.15 น วันที่ 1 มี.ค ถึง 14 มี.ค 2564.....	31
ตารางที่ 4.2 แสดงพลังงานรายวันตั้งแต่ วันที่ 1 มี.ค 2564 ถึง 14 มี.ค 2564.....	34
ตารางที่ 4.3 เป็นตัวอย่างชุดข้อมูลของวันที่ 8 มี.ค 2563.....	77

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบัน การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากการนำแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นพลังงานหมุนเวียนในตอนกลางวันมาใช้ให้เกิดประโยชน์ให้มีความคุ้มค่ามากที่สุด ทำให้มีการพัฒนาแผงโซลาร์เซลล์ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นกว่าเดิมและมีขนาดของแผงที่เล็กลงแต่มีกำลังการผลิตไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น ทำให้บุคคลทั่วไปเริ่มให้ความสนใจมากขึ้น และนิยมติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ไว้ในพื้นที่ส่วนบุคคลมากขึ้น แต่จากการศึกษาข้อมูลพบว่าปัจจุบันมีปัญหาการสะสมความร้อนเมื่อนำไปใช้งาน ที่ส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของแผงโซลาร์เซลล์จะลดลง ประมาณร้อยละ 0.5 เมื่ออุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทุก 1 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิหน้าแผงอยู่ที่ประมาณ 50-60 องศาเซลเซียส ทำให้ประสิทธิภาพเมื่อใช้งานจริงจะลดลงประมาณร้อยละ 10-15 (เกียรติศิริโรจน์ 2559)

จากปัญหาดังกล่าว ทำให้นักวิจัยต่างๆศึกษา ทดลอง แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์ด้วยเทคนิคการลดอุณหภูมิ ในหลายรูปแบบเช่น มีการใช้น้ำเพื่อระบายความร้อนที่หน้าแผง (สถิตพงษ์ เสี่ยงศักดิ์ และคณะ 2561) การศึกษาการลดอุณหภูมิของแผงโซลาร์เซลล์โดยระบบระบายความร้อนด้วยน้ำที่แตกต่างกัน โดยใช้น้ำพ่นเป็นละอองเพื่อระบายความร้อนที่บริเวณด้านหน้ากับด้านหลังของแผงโซลาร์เซลล์ สามารถลดอุณหภูมิได้ 20 องศาเซลเซียส ที่ด้านหน้าแผง กับ 12.8 องศาเซลเซียส ที่ด้านหลังแผง โดยเพิ่มประสิทธิภาพได้ร้อยละ 7.9 - 4.3 ตามลำดับ แต่การลดอุณหภูมิแผงโซลาร์เซลล์โดยใช้น้ำระบายความร้อนจำเป็นต้องมีการดูแลอย่างสม่ำเสมอ เนื่องจากอาจมีการอุดตันของสิ่งสกปรก และ ต้องใช้ทั้งทรัพยากรน้ำและกระแสไฟฟ้าส่วนหนึ่งเพื่อเลี้ยงระบบ ต่อมาจึงมีการวิจัยใช้เทคนิคลดอุณหภูมิด้วยพัดลมระบายความร้อน (เกียรติศิริโรจน์ 2559) ศึกษา ระบบระบายความร้อนด้วยอากาศในเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้า โดยติดตั้งพัดลมระบายความร้อนกับครีบบระบายความร้อนให้กับแผงโซลาร์เซลล์ที่บริเวณด้านหลังของแผง ทั้งหมด 10 ตัว สามารถลดอุณหภูมิของแผงโซลาร์เซลล์ได้ 5-10 องศาเซลเซียส เพิ่มกำลังไฟฟ้าขึ้น 21 วัตต์ แต่ว่าการลดอุณหภูมิของด้วยพัดลมระบายความร้อน ต้องมีการใช้กระแสไฟฟ้าส่วนหนึ่งเข้ามาเลี้ยงระบบ และมีข้อจำกัดด้วยชั่วโมงการทำงานของพัดลมระบายความร้อน และการลดอุณหภูมิแผงโซลาร์เซลล์โดยการใช้ท่อนำความร้อนก็เป็นอีกเทคนิคหนึ่งที่น่าสนใจ ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพแผงโซลาร์เซลล์โดยใช้ท่อนำความร้อนแบบแบน (อนุรัตน์ เทวตา และคณะ 2561) มีการทดสอบ 3

แบบ คือ แผงแบบปกติ แผงที่ติดตั้งท่อความร้อนโดยใช้ เอทานอล และ สารทำความเย็น R -11 เป็นสารทำงาน โดยภายในติดตั้งวัสดุพูนแบบตาข่ายทองแดง จำนวน 4 ท่อ โดยมีพัดลมระบายอากาศระบายความร้อนในส่วนควบแน่น(Condenser section) พบว่าอุณหภูมิของแผงปกติอยู่ที่ 52.8 องศา แผงที่ติดตั้งท่อความร้อน เอทานอลกับ R-11 อยู่ที่ 50.6 และ 49.2 องศาเซลเซียส โดยเพิ่มประสิทธิภาพได้ร้อยละ 10.2 และ 11.8 ตามลำดับ ในเทคนิคการลดอุณหภูมิโดยใช้ท่อความร้อนนั้นสามารถทำงานได้โดยไม่ต้องอาศัยกระแสไฟฟ้าเลี้ยงระบบ แต่ต้องมีการระบายความร้อนให้เหมาะสมจึงจะทำให้ท่อนำความร้อนทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ทำให้งานวิจัยนี้มีความสนใจศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์โดยเทคนิคการลดอุณหภูมิอีกแนวทางหนึ่ง โดยในงานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้เป็นรูปแบบฮีทไปป์คูลิ่ง ซึ่งอาศัยหลักการระบายความร้อนโดยการเพิ่มพื้นที่สัมผัสกับอากาศทำให้ไม่ต้องใช้พัดลม หรือน้ำในการระบายความร้อน เพื่อเป็นข้อมูลแนวทางในการศึกษาแก่ผู้สนใจต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์และความสามารถในการลดอุณหภูมิของระบบฮีทไปป์คูลิ่ง

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. เก็บข้อมูลการผลิตไฟฟ้า และ อุณหภูมิของแผงโซลาร์เซลล์แบบอะมอร์ฟัส ชนิดฟิล์มบาง ( Thin Film ) โดยขนาดแผงละ 140 วัตต์ จำนวน 2 แผง เป็นเวลา 14 วัน
2. ฮีทไปป์ที่ใช้งานเป็น ท่อทองแดงกลมมีเกลียวภายใน ทำหน้าที่เป็นวิก ใช้น้ำกลั่นเป็นของไหลใช้งานภายในท่อ
3. ติดตั้งแผงคอยส์ระบายความร้อน ที่บริเวณส่วนของคอนเดนเซอร์ทำจากวัสดุอลูมิเนียม มีลักษณะเป็น ครีบ (Fin Type) มีจำนวนฟินที่ 17-18 FPI
4. วัดค่าต่างพารามิเตอร์ๆ ที่มีผลกับประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์ โดยทำการบันทึกข้อมูลทุกๆ 15 นาที ตั้งแต่ช่วงเวลา 8.00 -16.15 นาฬิกา ดังนี้
  - อุณหภูมิสภาพแวดล้อมบริเวณที่ทำการทดลอง
  - ความเข้มแสงอาทิตย์

- อุณหภูมิบริเวณด้านหลังของแผงโซลาร์เซลล์ทั้ง 2 แผง
- แรงดันไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์ทั้ง 2 แผง

#### 1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับ

1. เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาและพัฒนาการเพิ่มประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์ ด้วยระบบฮีทไปป์คู่ลิ่ง
2. ใช้เป็นข้อมูลในการศึกษาเพิ่มประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์ ในกรณีที่มีข้อจำกัดทางด้านพื้นที่



## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แผงโซลาร์เซลล์ หรือ เซลล์แสงอาทิตย์ เป็นเทคโนโลยีที่สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงจากดวงอาทิตย์ในเวลากลางวันให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้ แต่ก็มีตัวแปรสำคัญหลายประการ ที่ส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้มากขึ้นหรือน้อยลง ในแต่ละพื้นที่ ดังนี้

#### 2.1 สภาพแวดล้อมในการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์

การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ที่เหมาะสม ควรเป็นพื้นที่ ที่มีการเปิดโล่ง ไม่มีเงาหรือสิ่งกีดขวาง เพื่อไม่ให้ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้า โดยในประเทศไทยการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ที่เหมาะสม คือ หันหน้าแผงไปทางทิศใต้ โดยทำมุม 15 -20 องศา กับพื้นดิน

#### 2.2 ความสกปรกของหน้าแผงโซลาร์เซลล์

ผลกระทบที่เกิดจากสิ่งสกปรกที่หน้าแผงโซลาร์เซลล์ ของ ฝุ่นละออง คราบน้ำฝน มูลสัตว์ ส่งผลให้การรับแสงของแผงมีประสิทธิภาพลดลง ซึ่งส่งผลให้ความสามารถในการผลิตกระแสไฟฟ้าลดลงด้วย

#### 2.3 ความเข้มรังสีรวม

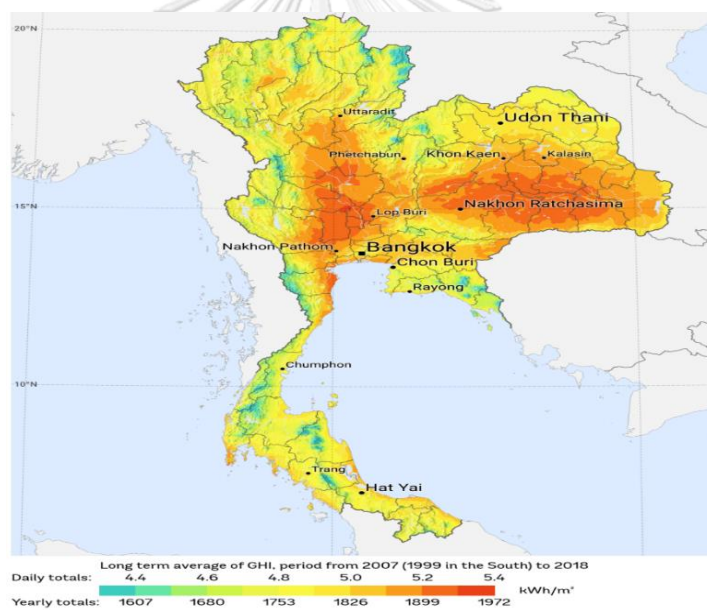
ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รวมเป็นตัวแปรที่สำคัญที่ส่งผลโดยตรงกับกระแสไฟฟ้า (Current) คือ เมื่อความเข้มแสงสูง ทำให้กระแสที่ได้สูงขึ้นตามไปด้วย แต่ แรงดันไฟฟ้า (Volt) จะไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงตามความเข้มรังสี โดยความเข้มรังสีมาตรฐานที่ใช้ทดสอบแผงโซลาร์เซลล์ คือ  $1000 \text{ W/m}^2$  ที่ Air Mass 1.5 (AM 1.5) โดยความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รวมรายวันเฉลี่ยต่อปีในประเทศไทยอยู่ที่  $18 \text{ MJ/m}^2$  ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ส่วนความเข้มรังสีรวมรายวันของประเทศไทยในช่วงปี 2007 ถึงปี 2018 มีค่าระหว่าง  $4.5 - 5.5 \text{ kWh/ m}^2$  ดังแสดงในรูปที่ 2.1



ตารางที่ 2.1 ความเข้มรังสีรวมเฉลี่ยในประเทศไทย

ช่วงความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ รายวัน เฉลี่ยต่อปี ( $\text{MJ}/\text{m}^2\text{-day}$ )	เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่ได้รับรังสี เมื่อเทียบกับพื้นที่ทั้งหมดของประเทศ
15-16	0.5 %
16-17	7.1 %
17-18	27.9 %
18-19	50.2 %
19-20	14.3 %

(ที่มา สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน พลังงานและการกระจายเชื้อเพลิง )

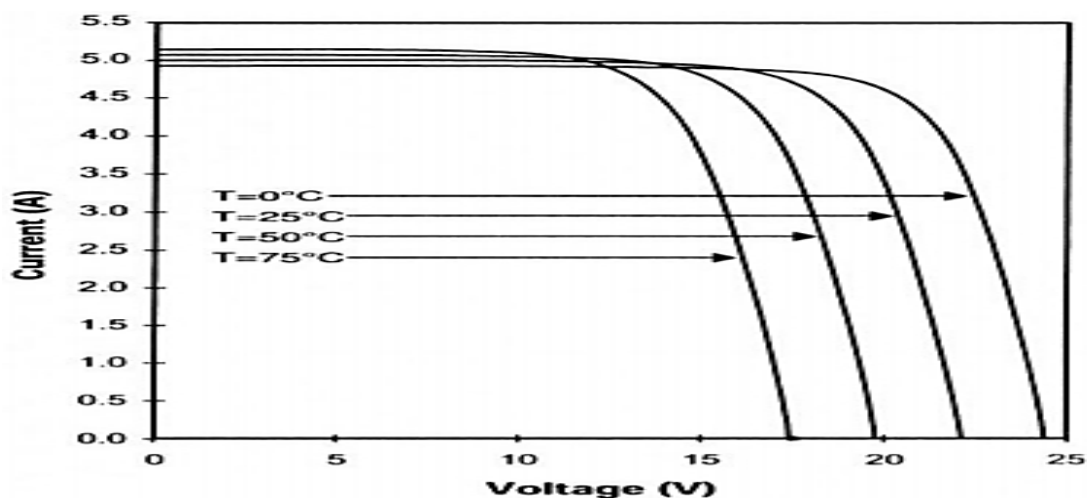


รูปที่ 2.1 ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยของประเทศไทย

(ที่มา <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/thailand> )

## 2.4 อุณหภูมิ

กระแสไฟฟ้าไม่ผันแปรตามอุณหภูมิ แต่แรงดันไฟฟ้าจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยทุกๆ 1 องศาเซลเซียส จะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลงไปร้อยละ 0.5 ทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงโซลาร์เซลล์ลดลงไปด้วย โดยมาตรฐานเซลล์แสงอาทิตย์กำหนดใช้อุณหภูมิอยู่ที่ 25 องศาเซลเซียส โดยรูปที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่างๆ



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่างๆ

(ที่มา <https://www.itacanet.org/a-guide-to-photovoltaic-panels/photovoltaic-pv-cells/>)

### หลักการระบายความร้อน (Principle of Heat Transfer)

ประสิทธิภาพการทำงานของแผงโซลาร์เซลล์สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุดเมื่อมีความเข้มของแสงมาก หรือเมื่อดวงอาทิตย์ตั้งฉากกับแผงโซลาร์เซลล์ แต่ผลที่ตามมาคือทำให้อุณหภูมิหน้าแผงจะมีอุณหภูมิสูงมาก ส่งผลให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าลดลง ในปัจจุบันนี้ได้มีการแก้ปัญหาเกี่ยวกับการระบายความร้อนของแผงโซลาร์เซลล์หลากหลายรูปแบบ การพาความร้อนด้วยอากาศ ก็เป็นอีกวิธีที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อน โดยอาศัยจากความแตกต่างต่างกันของอุณหภูมิ สิ่งที่เป็นปัจจัยทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อน ได้แก่ ความแตกต่างของอุณหภูมิ (Temperature Different)

#### 2.4.1 การนำความร้อน (Conduction Heat Transfer)

การถ่ายเทความร้อนในบริเวณที่อุณหภูมิสูงกว่าไปยังบริเวณที่อุณหภูมิต่ำกว่าภายในตัวกลางเดียวกัน หรือ ตัวกลางใกล้กัน โดยสามารถเกิดได้ทั้งในตัวกลางทั้งของแข็ง ของเหลว และ ก๊าซ แต่สามารถนำความร้อนได้ดีมากที่สุดในตัวกลางของแข็ง

#### 2.4.2 การแผ่รังสีความร้อน (Radiation)

การที่พลังงานความร้อนเคลื่อนที่ได้โดยไม่ต้องอาศัยตัวกลางใดๆ และสามารถเกิดได้ในสภาวะที่เป็นสุญญากาศ

### 2.4.3 การพาความร้อน (Convection)

การที่พลังงานความร้อนของวัตถุ เคลื่อนที่ร่วมกับ ของไหล โดยของไหลจะเป็นตัวกลางทำให้เกิด การเคลื่อนที่ของความร้อนออกจากวัตถุ ปัจจัยที่ทำให้ เกิดการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการพา ได้นั้น เกิดจากการพลังงานความร้อนของวัตถุ และการเคลื่อนที่ของการไหล โดยการพาความร้อน แบ่งได้ เป็น 2 แบบ คือ การพาความร้อนตามธรรมชาติ (Natural หรือ Free convection) และ การพาความร้อนโดยการบังคับ (Forced convection)

#### 2.4.3.1 การพาความร้อนตามธรรมชาติ (Natural หรือ Free convection)

การถ่ายเทความร้อนระหว่างผิวของวัตถุกับของไหล โดยที่ของไหลไม่ได้ถูกทำให้เคลื่อนที่ด้วย ปัจจัยภายนอก แต่ของไหลสามารถเคลื่อนที่เองได้ด้วยแรงลอยตัว ซึ่งเกิดจากความหนาแน่นของ ของไหลที่ต่างกันโดยอุณหภูมิต่างกัน

#### 2.4.3.2 การพาความร้อนแบบบังคับ (Forced convection)

การถ่ายเทความร้อนระหว่างผิวของแข็งและของไหล โดยของไหลถูกบังคับให้เคลื่อนที่ไป สัมผัสกับผิวของวัตถุโดยกลไกภายนอก เช่น พัดลม โดยของไหลที่ถูกบังคับสามารถแบ่งออกได้ เป็น 2 ประเภท คือ แบบการไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow) และ แบบการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) โดยการไหลแบบราบเรียบ จะเป็นการถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหล ขนานไปกับวัตถุ ในกรณีการไหลแบบปั่นป่วน ของไหลจะมีทิศทางการไหลที่ไม่เป็นระเบียบ

โดยในงานวิจัยนี้เป็นการนำความร้อนจากบริเวณด้านหลังของแผงโซลาร์เซลล์เข้าสู่ท่อทำความ ร้อนฮีทไปป์เมื่อของไหลภายในท่อเริ่มสะสมความร้อนส่งผลให้ของไหลบริเวณส่วนระเหย (Evaporator) มีอุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อยๆ จากนั้นสถานะของไหลใช้งานเกิดการระเหยเข้าสู่ส่วนควบแน่น (Condenser) เพื่อระบายความร้อนออกสู่อากาศแวดล้อม หลังจากคายความร้อนไอของของไหลใช้ งานจะกลั่นตัวเป็นของเหลวไหลกลับส่วนระเหยโดยไหลผ่านทางวิก

### อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

การถ่ายเทความร้อนรูปแบบต่างๆสามารถนำหลักการมาพัฒนาเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความ ร้อนต่างๆ โดยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทำหน้าที่แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างวัตถุกับของไหล ถ่ายเทความร้อนจากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่ง เพื่อใช้ในการถ่ายเทความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง ไปสู่ตัวกลางที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า เช่น ท่อทำความร้อนฮีทไปป์

## 2.5 ฮีทไปป์ (Heat Pipe)

ฮีทไปป์หรือท่อนำความร้อนเป็นท่อที่สามารถถ่ายโอนความร้อนโดยอาศัยการเปลี่ยนสถานะจากการระเหยและควบแน่นของ ของไหลใช้งานที่อยู่ภายในท่อโดย สามารถแบ่งส่วนการทำงานเป็น 3 ส่วน

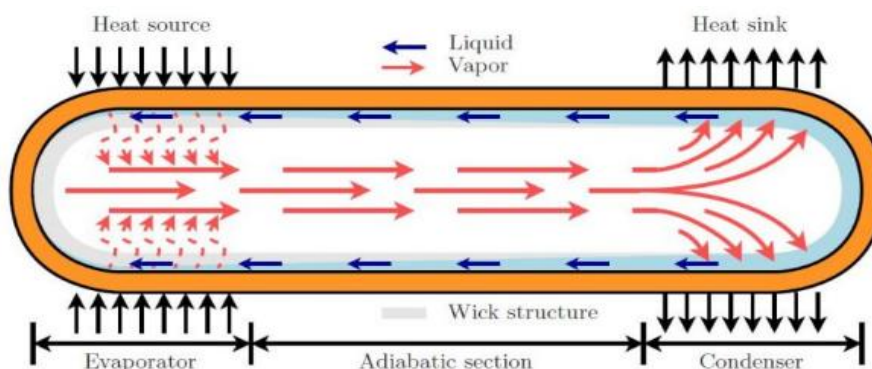
ส่วนระเหย (Evaporator section) ทำหน้าที่รับความร้อนเพื่อให้ของไหลใช้งานเกิดการเดือด กลายเป็นไอ

ส่วนควบแน่น (Condenser section ) ทำหน้าที่ถ่ายเทความร้อนออกจากของไหลโดยควบแน่นไอของไหลใช้งานให้กลับมาเป็นของเหลว

ส่วนที่ไม่ถ่ายเทความร้อน (Adiabatic section) ทำหน้าที่เป็นทางผ่านของไอของไหลใช้งานจากส่วนระเหยไปส่วนควบแน่น

### หลักการงานฮีทไปป์

ของไหลใช้งานในสภาวะอิ่มตัวที่อยู่ในส่วนระเหย เมื่อได้รับความร้อนจะกลายเป็นไอลอยตัวแยกออกจาก ของไหลใช้งานเคลื่อนผ่านส่วนที่ไม่ถ่ายเทความร้อนไปสู่ส่วนควบแน่นที่อยู่อีกปลายด้านหนึ่งของฮีทไปป์ เมื่อมีการระบายความร้อนออกจากส่วนควบแน่น ไอของไหลจะควบแน่นกลายเป็นของเหลวไหลไปตามวิกเพื่อกลับไปยังส่วนระเหย เพื่อรับความร้อนใหม่อีกครั้ง โดยทำงานเป็นวัฏจักรเช่นนี้ต่อไปเรื่อยๆ จนกว่าความร้อนที่ได้รับจะน้อยลงจนของไหลใช้งานที่อยู่ภายในท่อไม่สามารถระเหยกลายเป็นไอต่อไปได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 หลักการทำงานของฮีทไปป์

( ที่มา <http://www.heatpipe.nl/index.php?page=heatpipe&lang=EN> )

## 2.6 ชนิดวิก

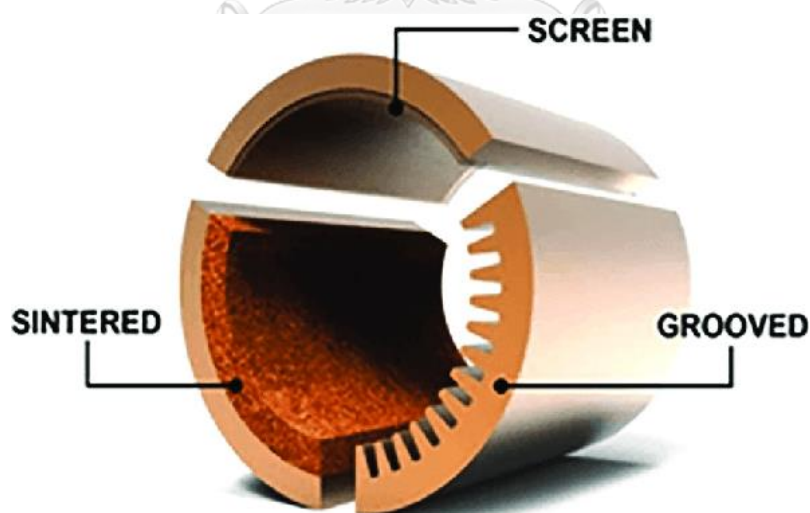
วิก ทำหน้าที่เป็นทางให้ของไหลใช้งาน ไหลจากส่วนควบแน่นกลับไปส่วนระเหย และ ป้องกันไอของของไหลไม่ให้พาของเหลวกลับไปส่วนควบแน่น ทำให้ฮีทปั๊มมีประสิทธิภาพการทำงานที่สูงขึ้น โดยคุณสมบัติของวิกที่ดี คือ ต้องให้ของไหลใช้งานไหลลงส่วนระเหยได้อย่างรวดเร็ว สามารถแบ่งประเภทวิกได้เป็น 3 ชนิด คือ

1 Metal sintered powder Wick เป็นแผ่นโลหะพรุนที่อัดแน่นไปทั่วทั้งท่อ ทำให้สามารถถ่ายเทความร้อนได้ดีและมีประสิทธิภาพสูงแต่น้ำหนักมีมาก ราคาสูง

2. Grooved Wick มีลักษณะเป็นช่องว่างยาวตลอดทั้งตามแนวท่อ โดยมีทั้งแบบเกลียว และแบบเส้นตรง สามารถถ่ายเทความร้อนได้ดี มีน้ำหนักเบา

3. Screen Wick มีวัสดุคล้ายตาข่ายอยู่ภายในท่อ โดยประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับชนิดตาข่ายข้างใน และความละเอียดของตาข่าย ถ้าตาข่ายมีขนาดเล็กและเรียงตัวเป็นระเบียบทำให้การถ่ายเทความร้อนดี

โดยวิกแต่ละแบบจะมีลักษณะรูปร่างที่แตกต่างกัน ดังในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 รูปแบบวิกประเภทต่างๆ (Hussam Jouhara 2018)

## 2.7 ของไหลใช้งาน

ทำหน้าที่นำความร้อนแฝงที่ได้รับจากส่วนระเหยแล้วเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอส่งไปยังส่วนควบแน่น แล้วคายความร้อนควบแน่นกลับเป็นของเหลว การเลือกของไหลใช้งานต้องคำนึงถึงช่วงอุณหภูมิที่ใช้งานดังแสดงในตารางที่ 2.2 เนื่องจากของเหลวแต่ละชนิดจะมีช่วงอุณหภูมิช่วงการรับความร้อน กับ ช่วงคายความร้อน ที่ต่างกันอย่างชัดเจน

ตารางที่ 2.2 ช่วงอุณหภูมิรับความร้อน กับ คายความร้อนของ ของเหลวชนิดต่างๆ (คู่มือวิศวกร 2546)

Medium	Melting point (°C)	Boiling point at atmos. Press. (°C)	Useful range (°C)
Hellium	-272	-269	จาก -271 ถึง - 269
Nitrogen	-210	-196	จาก -203 ถึง - 160
Ammonia	-78	-33	จาก -60 ถึง 100
Freon 11	-111	24	จาก -40 ถึง 120
Pentane	-130	28	จาก -20 ถึง 120
Freon 113	-35	48	จาก -10 ถึง 100
Acetone	-95	5	จาก 0 ถึง 120
Methanol	-98	64	จาก 10 ถึง 130
Flutec PP2*	-50	76	จาก 10 ถึง 160
Ethanol	-112	78	จาก 0 ถึง 130
Heptane	-90	98	จาก 0 ถึง 150
Water	0	100	จาก 30 ถึง 200
Flutec PPg*	-70	160	จาก 0 ถึง 225
Thermex	12	257	จาก 150 ถึง 395
Mercury	-39	361	จาก 250 ถึง 650
Caesium	29	670	จาก 450 ถึง 900
Potassium	62	774	จาก 500 ถึง 1000
Sodium	98	892	จาก 600 ถึง 1,200
Lithium	179	1,340	จาก 1,000 ถึง 1,800
Silver	960	2,212	จาก 1,800 ถึง 2,300

จากตารางที่ 2.2 แสดงให้เห็นว่าช่วงอุณหภูมิใช้งานของของไหลสามารถเลือกได้หลายชนิด จำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยพื้นฐานอื่นมาประกอบ เช่น

1. ไม่ทำปฏิกิริยากับวัสดุท่อความร้อน
2. มีเสถียรภาพเชิงความร้อน
3. ความสามารถในการเกาะเปียกของวัสดุที่ใช้งาน
4. ความดันไอของของไหลใช้งาน
5. ความร้อนแฝงในการเปลี่ยนสถานะ
6. ค่าความหนืดของของไหล
7. จุดแข็งตัวและจุดไหล

## ปัจจัยพื้นฐานการเลือกของไหลใช้งาน

### 2.5.1 ไม่ทำปฏิกิริยากับวัสดุท่อฮีทไปป์

ของไหลใช้งานที่เหมาะสมต้องไม่ทำปฏิกิริยากับท่อฮีทไปป์หรือวัสดุที่ใช้ทำวิก

### 2.5.2 เสถียรภาพเชิงความร้อน

ของไหลใช้งานจะเปลี่ยนคุณสมบัติ หรือ ไม่สลายตัวเนื่องจากความร้อนเมื่อมีการใช้งานนานๆในช่วงอุณหภูมิใช้งานที่กำหนด

### 2.5.3 ความสามารถในการเกาะเปียกของวัสดุที่ใช้งาน

ของไหลใช้งานต้องมีมุมสัมผัสระหว่างผิวท่อฮีทไปป์กับของไหลใช้งานที่สูง หรือ สามารถเกาะเปียกผิวของวัสดุท่อฮีทไปป์ได้ดี

### 2.5.4 ความดันไอของของไหลใช้งาน

ความดันไอของของไหลใช้งานต้องมีความเหมาะสมกับช่วงอุณหภูมิใช้งาน ถ้าช่วงอุณหภูมิใช้งานต่างกันมากเกินไป จะส่งผลให้ ความดันไอกว้างในท่อสูง ส่งผลให้ต้องใช้วัสดุผิวของท่อฮีทไปป์หนาตาม

### 2.5.5 ความร้อนแฝงในการเปลี่ยนสถานะ

ของไหลใช้งานที่มีค่าความร้อนแฝงการกลายเป็นไอสูง จะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูง

### 2.5.6 ค่าความหนืดของของไหล

ค่าความหนืดมีผลต่อการไหลเวียนของไหลใช้งานทั้งสถานะของเหลว และ สถานะไอ เนื่องจากถ้าของไหลใช้งานมีค่าความหนืดการไหลมาก ส่งผลให้การไหลเวียนของของไหลใช้งานเกิดขึ้นได้ช้า

### 2.5.7 จุดแข็งตัวและจุดไหล

ของไหลใช้งานที่ใช้ต้องมีช่วงอุณหภูมิการระเหย กับ ช่วงอุณหภูมิการควบแน่น ที่แตกต่างกัน เพื่อให้ของไหลใช้งานเกิดการระเหยและควบแน่นเป็นของเหลวไหลกลับภายในท่อได้

จากข้อมูลปัจจัยพื้นฐานของของไหลใช้งานพบว่า น้ำกลั่น ไม่ทำปฏิกิริยากับท่อทองแดง มีเสถียรภาพสูงและมีความร้อนแฝงสูง สามารถใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ในช่วงอุณหภูมิ 10 – 90 องศาเซลเซียส เนื่องจาก ที่ความดันบรรยากาศ น้ำ มีจุดเยือกแข็ง ที่ 0 องศาเซลเซียส และ จุดเดือดที่ 100 องศาเซลเซียส แต่เมื่ออยู่ในสภาวะความดันต่ำกว่าบรรยากาศ จะส่งผลให้น้ำระเหยกลายเป็นไอได้ในช่วงอุณหภูมิที่ต่ำลง แสดงในตารางที่ 2.3 ซึ่งเป็นตารางไอน้ำอิ่มตัว ณ อุณหภูมิต่างๆ ที่ความดันแตกต่างกัน ดังนั้นน้ำจึงใช้เป็นของไหลใช้งานสำหรับฮีทไปป์ในการรับความร้อนจากแผงโซลาร์เซลล์ได้โดยการทำสุญญากาศในฮีทไปป์ก่อนบรรจุน้ำเข้าไปในฮีทไปป์

ตารางที่ 2.3 ตารางไอน้ำอิ่มตัว Steam Table (Silverstein 1992)

<b>Absolute Pressure</b>	<b>Boiling Point</b>	<b>Specific Volume (steam)</b>	<b>Density (steam)</b>
<b>(bar)</b>	<b>(°C)</b>	<b>(m<sup>3</sup>/kg)</b>	<b>(kg/m<sup>3</sup>)</b>
0.02	17.51	67.006	0.015
0.03	24.1	45.667	0.022
0.04	28.98	34.802	0.029
0.05	32.9	28.194	0.035
0.06	36.18	23.741	0.042
0.07	39.02	20.531	0.049
0.08	41.53	18.105	0.055
0.09	43.79	16.204	0.062
0.1	45.83	14.675	0.068
0.2	60.09	7.65	0.131
0.3	69.13	5.229	0.191
0.4	75.89	3.993	0.25
0.5	81.35	3.24	0.309
0.6	85.95	2.732	0.366
0.7	89.96	2.365	0.423
0.8	93.51	2.087	0.479
0.9	96.71	1.869	0.535
1 <sup>1)</sup>	99.63	1.694	0.59

จากตารางที่ 2.3 สามารถสรุปได้ว่า ความดันมีผลต่อค่าการเปลี่ยนสถานะของของเหลว โดยเมื่อลดความดันให้ต่ำลง ทำให้ของเหลวเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอได้ในอุณหภูมิที่ต่ำลง ตัวอย่างข้อมูลในตารางพบว่า ที่ความดัน 1 บาร์ น้ำเกิดการระเหยกลายเป็นไอที่อุณหภูมิ 99.6 องศาเซลเซียส แต่ถ้าลดความดันในบรรยากาศ เหลือ 0.05 บาร์ น้ำจะสามารถระเหยได้ที่ อุณหภูมิ 32.9 องศาเซลเซียส



## 2.8 แผงระบายความร้อน

แผงระบายความร้อน หรือ ฮีตซิงก์ มีลักษณะเป็น ครีป (Fin Type) โดยนิยมทำจากวัสดุ อะลูมิเนียม ทองแดง และ ทองแดงผสมอะลูมิเนียม ตามความเหมาะสม

1. แผงระบายความร้อนอะลูมิเนียม มีน้ำหนักเบา ราคาถูก ระบายความร้อนได้น้อยกว่า แบบทองแดง

2. แผงระบายความร้อนทองแดง นำความร้อนได้ดี เหมาะกับงานที่ต้องการระบายความร้อนสูงๆ มีน้ำหนักมาก ราคาแพง

3. แผงระบายความร้อนทองแดงผสมอะลูมิเนียม มีประสิทธิภาพดีกว่าแบบอะลูมิเนียม ราคาไม่แพงมาก มีน้ำหนักเบากว่าแบบทองแดงแต่หนักกว่าแบบอะลูมิเนียม

แผงระบายความร้อนที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ ใช้เป็นแผงระบายความร้อนอะลูมิเนียมซึ่งนิยมใช้ในภาคอุตสาหกรรม

## 2.9 การคำนวณที่เกี่ยวข้อง

### 2.9.1 ประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์

ประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์ที่เวลาใดๆหาได้จากสมการที่ (1) และ (2)

$$\eta = \frac{P}{AG} \times 100\% \quad (1)$$

$$P = IV \quad (2)$$

โดยที่  $\eta$  = ประสิทธิภาพแผงโซลาร์เซลล์ (%)

$P$  = กำลังไฟฟ้า (W)

$A$  = พื้นที่รับแสงอาทิตย์ของแผงโซลาร์เซลล์ ( $m^2$ )

$G$  = ค่าความเข้มรังสีตกกระทบ ( $w/m^2$ )

$I$  = กระแสไฟฟ้าที่แผงโซลาร์เซลล์ผลิตได้ (A)

$V$  = แรงดันไฟฟ้าที่แผงโซลาร์เซลล์ผลิตได้ (V)

ประสิทธิภาพพลังงานรายวันของแผงโซลาร์เซลล์หาได้จากสมการที่ (3) ถึง (7)

$$\eta_d = \frac{t(n-1)\bar{P}}{t(n-1)\bar{G}A} \times 100 = \frac{\bar{P}}{\bar{G}A} \times 100 \quad (3)$$

$$E_p = t(n-1)\bar{P} \quad (4)$$

$$E_s = t(n-1)\bar{G} \quad (5)$$

$$\bar{P} = \frac{\sum P_i}{n} \quad (6)$$

$$\bar{G} = \frac{\sum G_i}{n} \quad (7)$$

โดยที่  $\eta_d$  = ประสิทธิภาพพลังงานรายวัน (%)

$E_p$  = พลังงานไฟฟ้ารายวัน (Wh)

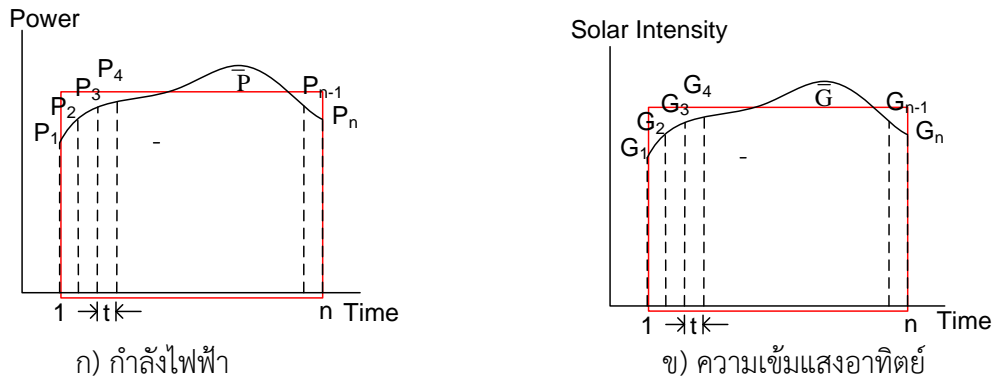
$E_s$  = พลังงานแสงอาทิตย์รายวัน (Wh)

$\bar{P}$  = กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (W)

$\bar{G}$  = ความเข้มรังสีตกกระทบเฉลี่ย ( $\text{w/m}^2$ )

$n$  = จำนวนข้อมูล

$t$  = เวลาในการเก็บข้อมูลแต่ละค่า (Sampling Time) s



รูปที่ 2.5 กราฟการกระจายข้อมูลของกำลังไฟฟ้าและความเข้มแสงอาทิตย์รายวัน

### 2.9.2 ความคุ้มค่าในการลงทุน

ความคุ้มค่าในการลงทุนจะพิจารณาจากระยะเวลาคืนทุนตามสมการที่ (8) หรือ (9)

$$DPB = \frac{\ln(1/(1-iI/B))}{\ln(1+i)} \quad (8)$$

$$PB = \frac{I}{B} \quad (9)$$

โดยที่ PB = ระยะเวลาคืนทุน (ปี)

I = เงินลงทุน (บาท)

B = ผลประโยชน์รายปี (บาท)

i = อัตราคิดลด (discount rate)

## 2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สถิตพงศ์ เสี่ยมศักดิ์ และคณะ 2561 วิจัยเรื่อง ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อต่อความร้อนที่ติดตั้งวีกชนิดวัสดุพูน โดยมีวัตถุประสงค์ คือ เพื่อเป็นข้อมูลที่จะนำไปประยุกต์กับตัวแปรที่มีผลกับการถ่ายโอนความร้อนที่ใช้ในการทำความร้อนกลับมาใช้ใหม่ โดยมีการติดตั้งวัสดุพูนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 กับ 12 mm โดยใช้สารทำความเย็น R-11 เอทานอล และน้ำกลั่น ปริมาณของไหลในท่อความร้อนเป็น 50% ของปริมาตรส่วนระเหย และปริมาตรส่วนส่วนระเหยเท่ากับส่วนควบแน่น ผลการวิจัยครั้งนี้พบว่า วัสดุพูนขนาด 12 mm ถ่ายโอนความร้อนได้ดี เนื่องจาก ความหนาของวัสดุพูนมีผลกับช่องส่งไอที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนโดยสารทำงาน น้ำ เอทานอล และ R11 อุณหภูมิทำระเหยที่ 60 ,70 และ 90 องศาเซลเซียส

สิ่งที่นำมาใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ ใช้น้ำเป็นของไหลใช้งานภายในฮีทไปป์ ขนาด และปริมาณของไหลที่บรรจุในท่อส่วนระเหย

วิทยา ยงเจริญ และคณะ 2554 ทำการศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบทำน้ำร้อนที่ใช้แผงรับแสงอาทิตย์แบบเรียบกับแบบท่อฮีทไปป์ โดยมีวัตถุประสงค์ คือ เปรียบเทียบสมรรถนะของระบบทำน้ำร้อนทั้ง 2 แบบ โดยแผงรับแสงอาทิตย์แบบท่อฮีทไปป์ ประกอบด้วยท่อฮีทไปป์แบบไม่มีวิกจำนวน 20 ท่อ เส้นผ่านศูนย์กลางส่วนอิวาพอเรเตอร์ที่ 7 มม. ยาว 1720 มม. ส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางคอนเดนเซอร์ที่ 14 มม ยาว 50 มม โดยมีท่อหลอดแก้วหุ้มอีกชั้นหนึ่ง กับ แผงรับแสงอาทิตย์แบบเรียบ โดยพบว่า ถ้ามีแผงสะท้อนแสงปิดที่บริเวณด้านหลังของแผงโซลาร์เซลล์ จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนแบบแผงโซลาร์เซลล์ขึ้นอีกร้อยละ 12

สิ่งที่นำมาใช้ในการวิจัยครั้งนี้ สามารถใช้ท่อฮีทไปป์ ในการส่งความร้อนได้

อนุรัตน์ เทวตา และคณะ 2561 วิจัยเรื่อง การศึกษาเชิงทดลองการเพิ่มประสิทธิภาพแผงโซลาร์เซลล์โดยใช้ท่อความร้อนแบบแบน วัตถุประสงค์ หาประสิทธิภาพของไหลใช้งานระหว่าง สารทำความเย็น R-11 กับ เอทานอล เพื่อในการลดอุณหภูมิและเพิ่มประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์แบบโมโนคริสตัลไลน์ขนาด 80 W โดยมีการติดตั้งพัดลมเป่าอากาศที่ความเร็ว 1 เมตรต่อวินาที ที่บริเวณส่วนควบแน่น โดยใช้ท่อความร้อนแบบแบนทั้งหมด 4 ท่อ โดยวางระยะห่างเท่าๆกันทั่วทั้งบริเวณแผงบรรจุของไหลที่ 40%ของปริมาตรส่วนระเหย พบว่า สารทำความเย็น R-11 และสารเอทานอล มีประสิทธิภาพ อยู่ที่ร้อยละ 11.8 และ 10.2 ตามลำดับ ส่วน สารทำความเย็น R-11 และสารเอทานอล สามารถลดอุณหภูมิของแผงโซลาร์ ได้ 3.7 และ 2.2 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

สิ่งที่นำมาใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือส่วนควบแน่นระบายความร้อนด้วยอากาศ จำนวนท่อความร้อน และปริมาณของไหลที่บรรจุในส่วนท่อส่วนระเหย

### สรุปการทบทวนงานวิจัย

จากการศึกษาทบทวนวรรณกรรมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่างๆ สามารถสรุปได้ว่า ปัจจัยที่ส่งผลกับประสิทธิภาพของฮีทไปป์ที่ใช้ในการลดอุณหภูมิของแผงโซลาร์เซลล์ ขึ้นอยู่กับ ชนิดของไหลที่จะใช้งาน ปริมาณของของไหลที่บรรจุภายในท่อ ชนิด ขนาดของวิก และ จำนวนของท่อฮีทไปป์ โดยงานวิจัยต่าง ๆ นั้นมีตัวแปรที่ต่างกัน ส่งผลให้ผลการทดลองไม่ตรงกัน อย่างไรก็ตามยังไม่พบการใช้วิกแบบท่อที่มีเกลียวภายใน ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงเลือกใช้น้ำเป็นของไหลใช้งานและใช้ท่อเกลียวภายในสำหรับทำฮีทไปป์ที่ระบายความร้อนด้วยอากาศ



### บทที่ 3

#### วิธีการดำเนินงานวิจัย

ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับทฤษฎีพื้นฐานข้อมูลทฤษฎีแผงโซลาร์เซลล์และ ฮีทไปป์ เพื่อนำมาปรับปรุงให้เหมาะสมกับรูปแบบงานวิจัยชิ้นนี้ เช่น ปัจจัยที่ส่งผลสมรรถนะต่อแผงโซลาร์เซลล์ รูปแบบประภาทวิที่ เหมาะสมกับการใช้งาน และวัสดุต่างๆที่จะใช้ในการประกอบฮีทไปป์

#### 3.1 การวางแผนระบบ

กำหนดขนาดของอุปกรณ์การเพิ่มประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์โดยลดอุณหภูมิของระบบฮีทไปป์คู่ลิ่งให้มีขนาดพอเหมาะไม่ใหญ่จนเกินไปแต่มีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิและสามารถติดตั้งได้สะดวก โดยเริ่มตั้งแต่สำรวจพื้นที่ที่จะใช้ในการวิจัย วัดค่าความเข้มแสง และออกแบบท่อฮีทไปป์ที่ใช้ในการระบายความร้อนให้เหมาะสม โดยมีใช้โปรแกรมจำลอง (Simulation Software) เพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองออกแบบและติดตั้ง เพื่อลดความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้นเมื่อมีการติดตั้งชิ้นงานที่สถานที่ทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แบบจำลองงานวิจัย

## 3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

### 3.2.1 แผงโซลาร์เซลล์ รุ่น SF 140 - L

การวิจัยครั้งนี้ใช้แผงโซลาร์เซลล์แบบอะมอร์ฟัส ชนิดฟิล์มบาง (Thin Film) ขนาดแผงละ 140 W จำนวน 2 แผง ความกว้างของแผง 100 cm ความยาวของแผง 125 cm ทำการติดตั้งไว้บนชั้นดาดฟ้าของอาคารในจุฬาลงกรณ์ โดยข้อจำกัดทางด้านสถานที่ คือ ช่วงเวลาที่แสงตกกระทบแผงโซลาร์เซลล์ทั้ง 2 อย่างสมบูรณ์อยู่ที่ช่วงเวลาประมาณ 11.00 นาฬิกา ในรูปที่ 3.2 แสดงแผงโซลาร์เซลล์ที่ได้รับจากโรงงาน



รูปที่ 3.2 แผงโซลาร์เซลล์แบบปกติ

### 3.2.2 ฮีทไปป์

ท่อฮีทไปป์ทำด้วยวัสดุทองแดง ซึ่งมีค่าการนำความร้อนที่ดีและนิยมใช้กันมากในภาคอุตสาหกรรมมีเกลียวภายในท่อทำหน้าที่เป็นวิกสามารถหาซื้อได้ในท้องตลาด สามารถใช้น้ำเป็นของไหลใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิ 10 – 90 องศาเซลเซียส

#### ขนาดและจำนวนท่อฮีทไปป์

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อทองแดงที่มีเกลียวภายใน ใช้ขนาดที่มีในตลาดโดยใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 9.54 mm สำหรับส่วนระเหย และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 12.7 mm สำหรับส่วนควบแน่น (สตีตพงศ์ เสี่ยงมศักดิ์ และคณะ 2561) ใช้ท่อขนาด 10 mm และ 12 mm เนื่องจากส่วนควบแน่นมีครีบบะลูมิเนียมอัดแน่นติดกับท่อด้วยวิธีทางกลจึงต้องสั่งทำจากผู้ผลิตคอลย์ซึ่งจำนวนท่อขึ้นกับโมลด์ที่มีอยู่ และเพื่อให้มีการระบายความร้อนได้ทั่วแผงโซลาร์และ

ราคาที่เหมาะสมจึงได้เลือกท่อจำนวน 7 ท่อ (อนุรัตน์ เทวตา และคณะ 2561) ใช้จำนวน 4 ท่อ แต่แผงโซลาร์มีขนาด 80 W ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าของผู้วิจัยที่ใช้แผงโซลาร์มีขนาด 140 W จึงต้องมีการระบายความร้อนมากกว่าด้วย

### ขนาดความยาวท่อฮีทไปป์

ความยาวท่อส่วนระเหยจะเท่ากับขนาดความยาวของแผงโซลาร์ จึงใช้ความยาว 125 cm ส่วนความยาวท่อส่วนควบแน่นที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่าส่วนระเหยจึงมีความยาวท่อสั้นกว่า โดยทั่วไปปริมาตรส่วนควบแน่นจะเท่ากับส่วนระเหย ดังนั้นจึงคำนวณความยาวของส่วนควบแน่นโดยใช้หลักของปริมาตรเท่ากันจะได้ความยาวเป็น 65 cm การคำนวณแสดงในภาคผนวก ก

### ปริมาณของไหลที่บรรจุในท่อฮีทไปป์

ปริมาณของไหลที่บรรจุในท่อฮีทไปป์จะต้องมีปริมาณเพียงพอที่จะเหลือของเหลวในส่วนระเหยในขณะใช้งานและเป็นฟิล์มของเหลวเกาะอยู่ที่ผิวท่อทั้งส่วนระเหยและส่วนควบแน่น (สถิตพงศ์ เสี่ยงศักดิ์ และคณะ 2561) และ (อนุรัตน์ เทวตา และคณะ 2561) ใช้ร้อยละ 50 และ 40 ของปริมาตรส่วนระเหย ในงานวิจัยนี้ใช้ของไหลที่เป็นน้ำบรรจุในท่อที่ร้อยละ 60 ของปริมาตรส่วนระเหย คือ 37.6 gm เนื่องจากมีความยาวของส่วนระเหยที่มากกว่า

### 3.2.3 แผงระบายความร้อนส่วนควบแน่น

มีลักษณะเป็น ครีบ (Fin Type) ใช้ทำจากวัสดุ อลูมิเนียม เพื่อป้องกันการเกิดสนิม อัดติดแน่นเข้ากับท่อทองแดงด้วยวิธีการเพื่อเพิ่มพื้นที่การถ่ายเทความร้อน ทำให้ถ่ายเทความร้อนได้ดียิ่งขึ้น มีจำนวนฟินที่ใช้งานอยู่ที่ 17-18 FPI ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แผงระบายความร้อน



### 3.2.4 วิจัยรับความร้อนส่วนระเหย

วิจัยรับความร้อนส่วนระเหยมีลักษณะเป็นเกลียวอยู่ภายในของท่อ เมื่อผ่าท่อและคลี่ให้เป็นแผ่นจะเห็นเกลียวภายในดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 เกลียวภายในท่อทองแดงเมื่อผ่าท่อและคลี่ให้เป็นแผ่น

### 3.2.5 ฟินรับความร้อนส่วนระเหย

ฟินรับความร้อนส่วนระเหยแสดงในรูปที่ 3.5 มีลักษณะเป็นรูปคล้ายสัญลักษณ์โอเมก้า ทำจากวัสดุแผ่นอลูมิเนียม อัดขึ้นรูปให้ได้ขนาดเท่ากับท่อทองแดงส่วนระเหยทำหน้าที่ ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสถึงความร้อนจากบริเวณรอบๆด้านหลังแผงโซลาร์เซลล์เข้าสู่ท่อฮีทไปป์ของส่วนระเหย โดยมีการใช้สารนำความร้อน (Heat Transfer Compound) ทาอยู่ใต้ผิวสัมผัส



รูปที่ 3.5 ฟินของส่วนระเหยที่บริเวณด้านหลังของแผงโซลาร์เซลล์

### 3.2.6 สารนำความร้อน (Heat Transfer Compound)

สารนำความร้อน ประกอบด้วย ผงโลหะ ประเภท Zinc , Silicon หรือ ผงเซรามิก ผสมเข้ากับ ซิลิโคน มีลักษณะเป็นของเหลวหนืดๆ โดย สารนำความร้อน ชนิด Silicone ที่นำมาใช้ใน งานวิจัยครั้งนี้ ค่าการนำความร้อน (k) ที่ 0.62 - 2 W/m.K (Electrolube 2011) ในขณะที่ ค่านำความร้อนของน้ำอยู่ที่ 0.58 W/m.K และ อลูมิเนียม อยู่ที่ 220 W/m.K สารนำความร้อนจะแทรกอยู่ระหว่างผิวด้านหลังแผงโซลาร์เซลล์กับฟิน และระหว่างฟินกับท่อส่วนระเหย เพื่อให้สารนำความร้อนเป็นตัวกลางถ่ายเทความร้อน สารนำความร้อน แสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 สารนำความร้อน

### 3.3 ขั้นตอนการประกอบฮีทไปป์

1. ตัดท่อทองแดงให้มีขนาดที่ต้องการ เชื่อมวาล์วหัวลูกศรเข้ากับปลายท่อทองแดง โดยให้เป็น ส่วนของส่วนระเหย ส่วนที่ปลายท่อส่วนระเหยอีกด้านทำการเชื่อมเข้ากับส่วนควบแน่นที่ แผงคอยล์ระบายความร้อน



รูปที่ 3.7 การเชื่อมส่วนประกอบต่างๆเข้ากับท่อทองแดง

2. จากนั้นทำการอัดอากาศเข้าที่วาล์วหัวลูกศรเพื่อหาจุดรอยรั่วตามจุดต่างๆที่ทำการเชื่อมไว้

เมื่อไม่พบรอยรั่ว จึงนำฮีตเตอร์พันรอบๆทั่วทั้งท่อทองแดง และนำฉนวนกันความร้อนหุ้ม บริเวณรอบๆทั่วทั้งท่อทองแดง เพื่อให้อากาศที่อยู่ภายในท่อเกิดการขยายตัว จากนั้นจึงต่อเข้ากับวาล์วรูปตัวที ( T ) โดยที่ปลายข้างหนึ่งต่อเข้ากับเครื่องสูบลมสุญญากาศ และอีกปลายข้างหนึ่งต่อเข้ากับวาล์วใส่ของไหล



รูปที่ 3.8 วาล์วรูปตัวที ( T ) และมิเตอร์วัดความดันสุญญากาศ

- นำเครื่องสูบลมสุญญากาศต่อเข้ากับวาล์วหัวลูกศร เพื่อดูดอากาศที่อยู่ภายในท่อออก โดยให้ความดันอากาศภายในท่อต่ำกว่า  $1000 \mu\text{mHg}$  จึงทำการเติมน้ำกลั่น



ก่อน

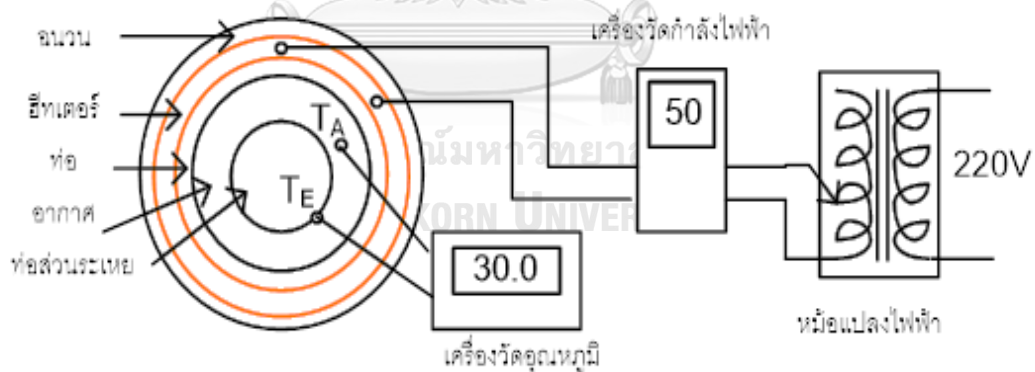
หลัง

รูปที่ 3.9 ภาพก่อน - หลัง การดูดอากาศภายในท่อทองแดง

4. นำน้ำกลั่น ซึ่งเป็นของไหลใช้งานไปตวงชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำไปอุ่นให้มีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้องเล็กน้อย เพื่อให้ปริมาตรน้ำเกิดการขยายตัว เมื่อเข้าสู่ภายในท่อจะทำให้ท่อ ยังคงมีความดันต่ำอยู่
5. เมื่อดูดูอากาศภายในท่อทองแดงหมดแล้ว ให้ปิดวาล์วเครื่องสูบลมสุญญากาศแล้วสลับเปิดวาล์ว ที่ต่อเข้ากับของไหลใช้งาน ของไหลใช้งานทั้งหมดจะถูกดูดเข้าไปภายในท่อทั้งหมด ใช้คีมหนีบท่อทองแดง บีบย่ำที่บริเวณปลายวาล์วหัวลูกศร เพื่อป้องกันอากาศไหลเข้า หลังจากถอดวาล์วรูปตัวที ( T )
6. นำฮีทไปไปที่ได้ไปทดสอบการทำงาน

### 3.4 ขั้นตอนการทดสอบฮีทไปป์

นำฮีทไปป์ส่วนระเหยที่ประกอบขึ้นไปใส่ไว้ในท่อให้ความร้อน แล้วพันฮีตเตอร์ไฟฟ้ารอบๆท่อ ให้ความร้อน จากนั้นพันรอบๆด้วยฉนวนอีกชั้นเพื่อป้องกันความร้อนสูญเสียสู่อากาศภายนอก ติดสายเทอร์โมคัปเปิลที่ผิวท่อส่วนระเหย และช่องว่างของอากาศที่อยู่ระหว่างท่อส่วนระเหยกับท่อให้ความร้อน เพื่อวัดอุณหภูมิ  $T_E$  และ  $T_A$  จากนั้นต่อเครื่องวัดอุณหภูมิและเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ไดอะแกรมการทดสอบฮีทไปป์

1. ทดสอบการทำงานของฮีทไปป์ในห้องทดลองที่ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ทำมุมที่ 15 องศา กับแนวราบ ดังแสดงในรูปที่ 3.10 โดยป้อนไฟฟ้าเข้าฮีทเตอร์เพื่อให้ความร้อนกับ ส่วนระเหย รอจนระบบสมดุลใช้เวลา 30 นาที บันทึกผลได้แก่ กำลังไฟฟ้าป้อนเข้า อุณหภูมิส่วนทำระเหย อุณหภูมิส่วนควบแน่น และอุณหภูมิอากาศที่ให้ความร้อนกับ ส่วนทำระเหยดังในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 การทดสอบฮีทไปป์ที่เอียงทำมุม 15 องศา กับแนวระดับ

2. ทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง เพื่อนำไปหาค่าเฉลี่ยและวิเคราะห์ข้อมูล

### 3.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการบันทึกข้อมูล

#### 3.5.1 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบเทอร์โมคัพเปิ้ล

เครื่องวัดอุณหภูมิแบบเทอร์โมคัพเปิ้ลชนิด K ยี่ห้อโอเมก้า มีความละเอียด 0.1 °C แสดงในรูปที่ 3.12 มีทั้งหมด 10 ช่องพอร์ตโดย พอร์ตที่ 1 -2 วัดอุณหภูมิ ที่บริเวณด้านหลังของแผงโซลาร์เซลล์แบบปกติ พอร์ตที่ 3-6 วัดอุณหภูมิที่บริเวณด้านหลังของแผงโซลาร์เซลล์ที่ติดตั้งฮีทไปป์ และ พอร์ตที่ 7 วัด อุณหภูมิอากาศแวดล้อม



รูปที่ 3.12 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบเทอร์โมคัปเปิ้ล

### 3.5.2 ไพรานอมิเตอร์ (Pyranometer)

ไพรานอมิเตอร์ ใช้วัดรังสีรวมของแสงอาทิตย์ ติดตั้งในแนวราบอยู่บริเวณด้านปลายของโครงรองรับแผงระหว่างแผงโซลาร์เซลล์แบบปกติดกับแผงที่ติดตั้งฮีทไปป์ ดังแสดงในรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 การติดตั้งไพรานอมิเตอร์ในแนวระดับ

### 3.6 การทดสอบแผงโซลาร์เซลล์แบบปกติที่ไม่ได้ติดตั้งฮีทไปป์

ก่อนการติดตั้งฮีทไปป์เข้ากับแผงโซลาร์เซลล์ ได้มีการทดสอบการผลิตไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์ทั้ง 2 แผง ที่ได้มาจากโรงงานว่าสามารถผลิตไฟฟ้าได้เท่ากันหรือไม่ โดยติดตั้งให้ทั้งสองแผงอยู่บนคานฟ้าของอาคาร วางทำมุม  $15^{\circ}$  กับแนวระดับหันหน้าไปทางทิศใต้และต่อเข้ากับโหลดที่เป็นหลอดไฟฟ้า และเก็บข้อมูล ปริมาณความเข้มแสง แรงดันไฟฟ้า อุณหภูมิของแผงโซลาร์เซลล์ และ

อุณหภูมิภายนอกทุกๆ 15 นาที โดยเริ่มบันทึกตั้งแต่วันที่ 10.00 ถึง 16.15 นาฬิกา โดยข้อมูลแสดงในภาคผนวก 1

### 3.7 การทดสอบแผงโซลาร์เซลล์ที่ติดตั้งฮีทไปป์

เมื่อทำการติดตั้งท่อฮีทไปป์เข้ากับแผงโซลาร์เซลล์แล้ว ทำการทดสอบแผงโซลาร์เซลล์แบบปกติ และแผงโซลาร์เซลล์ที่ติดตั้งฮีทไปป์ไปวางบนชั้นดาดฟ้าของอาคารโดยให้แผงโซลาร์เซลล์ทำมุมเอียง 15 ° กับแนวระดับและหันหน้าไปทางทิศใต้ จากนั้นต่อกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงโซลาร์เซลล์เข้ากับโหลดที่เป็น หลอดไฟกระแสตรง ขนาด 120 โวลต์ ดังแสดงในรูปที่ 3.14 พร้อมต่ออุปกรณ์วัดไพราโนมิเตอร์สำหรับวัดรังสีแสงอาทิตย์แบบรวม เครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอลสำหรับวัดแรงดันไฟฟ้า ดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์สำหรับวัดอุณหภูมิสภาพแวดล้อม อุณหภูมิด้านหลังพื้นผิวของแผงโซลาร์เซลล์ และอุณหภูมิที่ผิวของท่อฮีทไปป์ในขณะที่ใช้งาน แล้วบันทึกผลทุกๆ 15 นาที โดยเริ่มตั้งแต่วันที่ 8.00 ถึง 16.15 นาฬิกา ข้อมูลแสดงในภาคผนวก 1



รูปที่ 3.14 การวัดค่าพารามิเตอร์ ต่างๆ

### 3.8 วิเคราะห์ข้อมูล

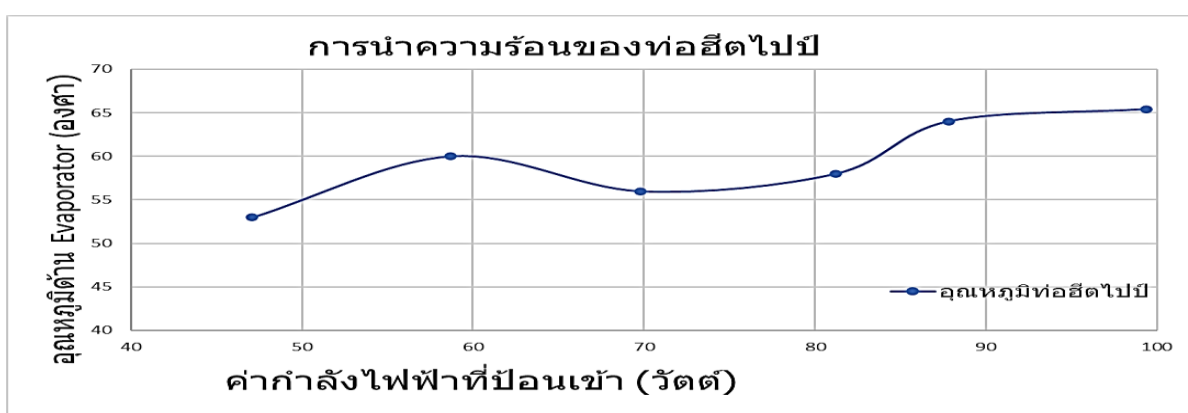
นำข้อมูลต่างๆที่วัดได้ มาคำนวณ วิเคราะห์ และสรุปผล

## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและเปรียบเทียบประสิทธิภาพ

#### 4.1 ผลการทำงานฮีทไปป์

จากการทดสอบฮีทไปป์ในห้องทดลองที่ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ทำมุมที่ 15 องศา บันทึกผลทุก 30 นาที จากนั้นนำมาพล็อตกราฟแสดงในรูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิเฉลี่ยของ ส่วนระเหยของฮีทไปป์ กับกำลังไฟฟ้าที่ป้อนเข้า (ความร้อนที่ฮีทไปป์รับเข้าไปในท่อ)



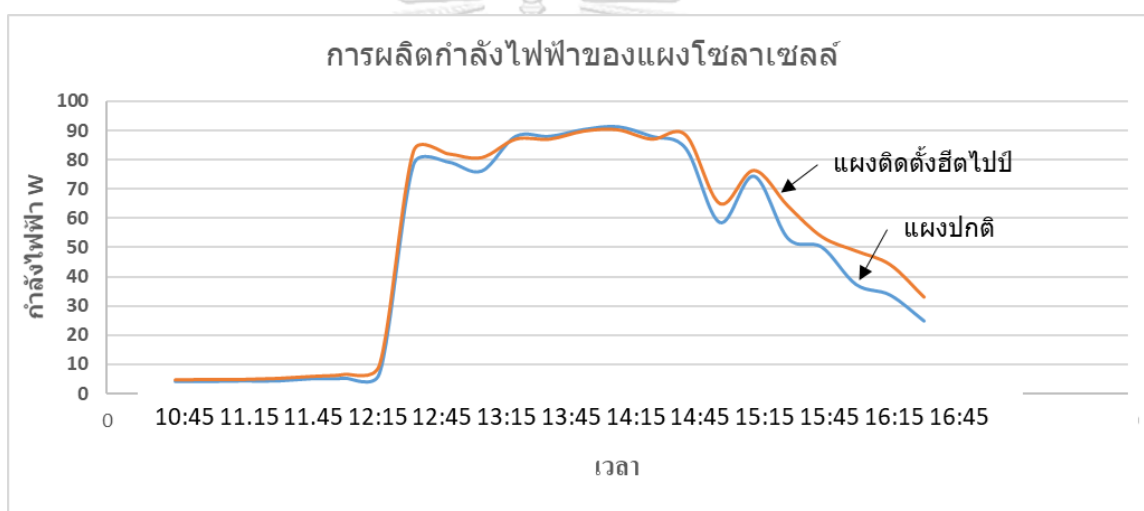
รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่วนระเหยกับกำลังไฟฟ้าป้อนเข้า

จากการรูปที่ 4.1 สามารถ แบ่งช่วงการทำงานของฮีทไปป์ ได้เป็น 3 ช่วง คือ 1.สถานะที่น้ำ กลั่นเริ่มสะสมความร้อน เกิดเมื่อส่วนระเหย ได้รับความร้อนแล้วเปลี่ยนสถานะเป็นไอ แต่ไอของไหล ใช้งานยังไม่ควบแน่นที่บริเวณส่วนควบแน่นส่งผลให้ไม่มีของเหลวไหลกลับมาที่ส่วนระเหย อุณหภูมิ จะสูงขึ้นเรื่อยๆ เมื่อได้รับความร้อนเพิ่มขึ้นจนถึงที่อุณหภูมิประมาณ 56 องศาเซลเซียส จะเข้าสู่ สถานะที่ 2 น้ำที่ระเหยเป็นไอแล้วจะควบแน่นเป็นของเหลวไหลกลับมาที่ส่วนระเหยเป็นวัฏจักร ช่วง ที่ 2 นี้จึงเป็นช่วงใช้งานของฮีทไปป์ เมื่อเพิ่มความร้อนเข้าไปอีกจนอุณหภูมิถึงประมาณ 80 องศา เซลเซียส จะเข้าสู่สถานะที่ 3 เป็นสถานะที่น้ำระเหยเป็นไอไอทั้งหมดและของเหลวไหลกลับมาไม่ทัน ทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น ดังนั้นอุณหภูมิทำงานของฮีทไปป์จะอยู่ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส และจะ สามารถถ่ายโอนความร้อนได้ในช่วง 60-80 W



#### 4.2 ผลการทดสอบแผงโซลาร์เซลล์ทั้งสองแผงขณะที่ไม่ได้ติดตั้งฮีทไปป์

การผลิตกำลังไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์ทั้งสองแผงตั้งแต่เวลา 10.45 ถึง 16.15 นาฬิกาของวันที่ 22 มีนาคม 2564 ดังแสดงในรูปที่ 4.2 จากการวิเคราะห์พบว่า แผงโซลาร์เซลล์ปกติผลิตกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยได้ 49.21 W พลังงานรายวันได้ 0.271 kWh และ อุณหภูมิเฉลี่ย 46.46 องศาเซลเซียส ส่วนแผงโซลาร์เซลล์ที่จะติดตั้งฮีทไปป์ผลิตกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยได้ 52.35 W พลังงานรายวันได้ 0.288 kWh และอุณหภูมิเฉลี่ย 46.34 องศาเซลเซียส ดังนั้นแผงโซลาร์เซลล์ทั้งสองมีอุณหภูมิต่างกันเพียง 0.12 องศาเซลเซียส หรือร้อยละ 0.25 เนื่องจากอุณหภูมิไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงตามเวลา ส่วนการผลิตกำลังไฟฟ้าต่างกัน 3.14 W หรือคิดเป็นร้อยละ 6.3 เนื่องจากกำลังไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงตามเวลาค่อนข้างมากขึ้นกับการเคลื่อนที่ของเมฆ

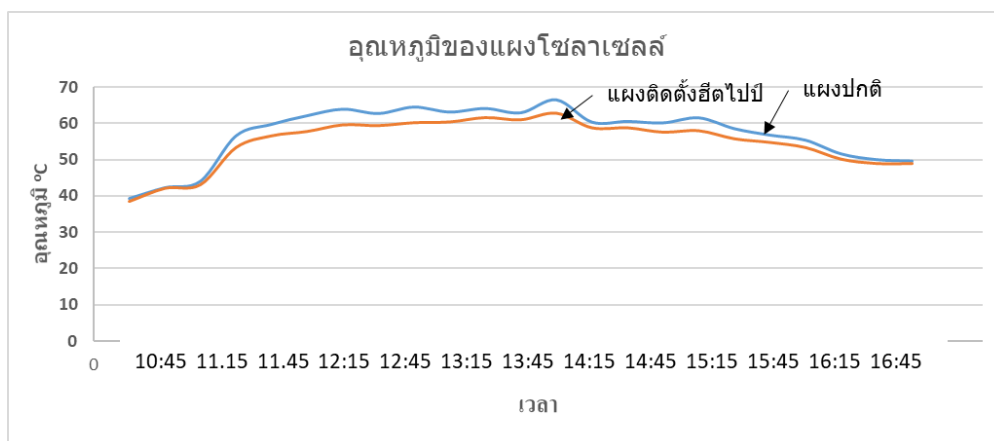


รูปที่ 4.2 การผลิตกำลังไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์

#### 4.3 ผลการทดสอบติดตั้งฮีทไปป์เข้ากับแผงโซลาร์เซลล์

##### 4.3.1 การเปรียบเทียบอุณหภูมิแผงโซลาร์เซลล์

รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของแผงโซลาร์เซลล์ปกติและแผงโซลาร์เซลล์ที่ติดตั้งฮีทไปป์กับช่วงเวลาที่เก็บข้อมูลทุกๆ 15 นาที ตั้งแต่เวลา 10.45 -16.15 นาฬิกา ของวันที่ 8 มีค 2564 ซึ่งมีแสงแดดตลอดทั้งวัน จากการวิเคราะห์พบว่าแผงปกติ มีอุณหภูมิ 57.27 องศาเซลเซียส และแผงที่ติดตั้งฮีทไปป์ มีอุณหภูมิ 54.88 องศาเซลเซียส จะเห็นว่าแผงที่ติดตั้งฮีทไปป์สามารถลดอุณหภูมิแผงได้ 2.39 องศาเซลเซียส



**รูปที่ 4.3** กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับช่วงเวลาของวันที่ 8 มีนาคม

สำหรับการเปรียบเทียบอุณหภูมิของแผงโซลาร์เซลล์ทั้ง 2 แผง ตั้งแต่ช่วงเวลา 10.45 – 16.15 นาฬิกาของวันที่ 1 มี.ค 2564 ถึง 14 มี.ค 2564 เป็นเวลา 14 วัน ดังแสดงในตารางที่ 4.1 พบว่าแผงโซลาร์เซลล์ที่ติดตั้งฮีทไปป์ มีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 51.1 องศาเซลเซียส ส่วนแผงโซลาร์เซลล์แบบปกติ มีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 52.5 องศาเซลเซียส ดังนั้นแผงโซลาร์เซลล์ที่ติดตั้งฮีทไปป์ จะช่วยลดอุณหภูมิแผงโซลาร์เซลล์เฉลี่ย 1.44 องศาเซลเซียส หรือร้อยละ 2.7 ในขณะที่อุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ยอยู่ที่ 35.2 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังพบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของส่วนระเหยของฮีทไปป์ต่ำกว่าอุณหภูมิแผงมากถึง 4.3 องศาเซลเซียส แสดงว่ายังมีความต้านทานความร้อนสูงระหว่างแผงกับท่อฮีทไปป์ เนื่องจากบริเวณพินของส่วนทำระเหย มีการอัดขึ้นรูปและติดตั้งที่ไม่ดีพอ ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างท่อฮีทไปป์กับด้านหลังแผงโซลาร์เซลล์ แม้ว่าจะได้มีการใช้สารระบายความร้อนช่วยแล้วก็ตาม

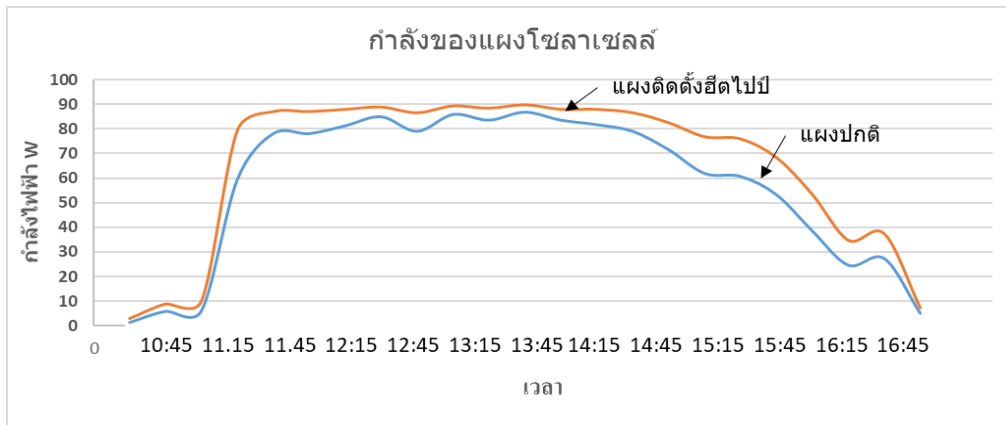
ตารางที่ 4.1 อุณหภูมิต่างๆ ตั้งแต่เวลา 10.45-16.15 น วันที่ 1 มี.ค ถึง 14 มี.ค 2564

วันที่	อุณหภูมิเฉลี่ย แผงปกติ °C	อุณหภูมิเฉลี่ย แผงติดตั้งฮีทไปป์ °C	อุณหภูมิเฉลี่ย ส่วนระเหยฮีทไปป์ °C	อุณหภูมิเฉลี่ย อากาศแวดล้อม °C
1	52.9	52.2	44.0	36
2	52.3	52.9	46.0	35.9
3 *	45.5	45.1	41.0	29.7
4	55.8	53.8	45.8	36.4
5	59.1	56.3	48.8	35.5
6	55.9	53.5	49.4	37.3
7	59.0	56.3	48.9	35.5
8	57.3	54.9	49.2	36
9 *	44.3	43.8	41.3	34.7
10 *	47.5	46.4	45.0	34.6
11	51.9	50.5	47.3	35.1
12	51.5	49.9	46.2	35
13	50.5	49.3	45.3	35.6
14	51.7	50.1	56.7	34.9
เฉลี่ย	52.51	51.07	46.78	35.16

หมายเหตุ \* เป็นวันฝนตก

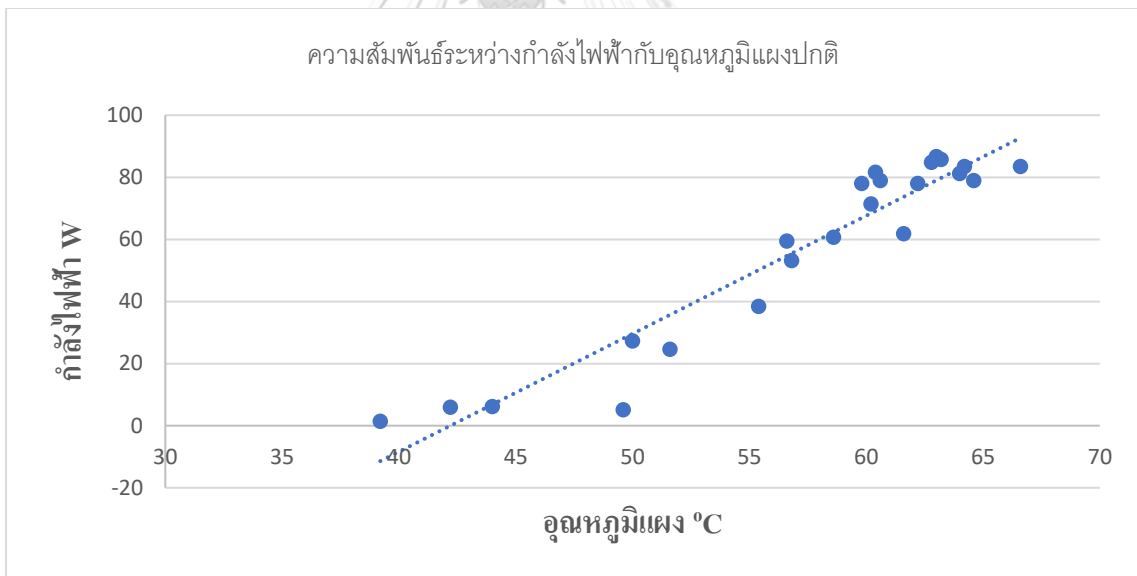
#### 4.3.2 การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงโซลาร์เซลล์

รูปที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ผลิตได้จากแผงโซลาร์เซลล์ปกติและแผงโซลาร์เซลล์ที่ติดตั้งฮีทไปป์ของวันที่ 8 มีนาคม 2564 จากการวิเคราะห์พบว่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของแผงปกติมีค่า 57.23 W ส่วนกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของแผงที่ติดตั้งฮีทไปป์ค่า 65.45 W ดังนั้นกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของแผงที่ติดตั้งฮีทไปป์สูงกว่าแผงปกติอยู่ 8.21 W หรือ 14.4 % รายละเอียดการคำนวณแสดงในภาคผนวก 3

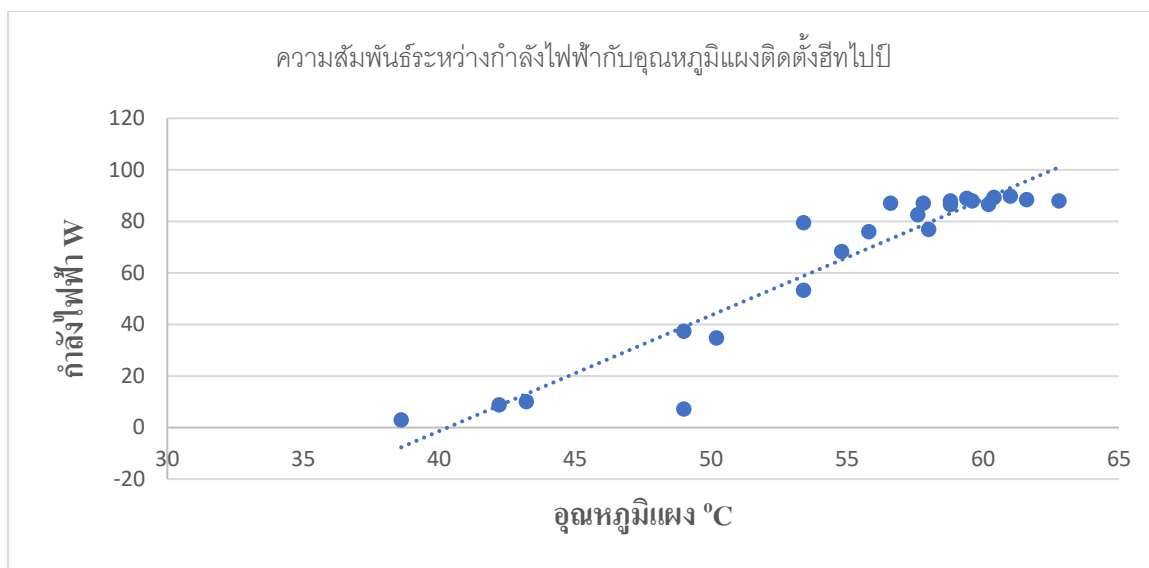


รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์กำลังไฟฟ้ากับช่วงเวลาของวันที่ 8 มีนาคม 2564

รูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับอุณหภูมิของแผงปกติกับแผงที่ติดตั้งฮีทไปป์ ตามลำดับ จะพบว่าเมื่อแผงทั้งสองผลิตกำลังไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้น ส่งผลให้อุณหภูมิของแผงจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับอุณหภูมิแผงปกติวันที่ 8 มีนาคม



**รูปที่ 4.6** ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับอุณหภูมิแผงที่ติดตั้งฮีทปั๊ในวันที่ 8 มีนาคม

#### 4.3.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโซล่าเซลล์

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของทั้ง 2 แผงในช่วงเวลาเดียวกันของวันที่ 8 มีนาคม 2564 ระหว่างแผงปกติกับแผงที่ติดตั้งฮีทปั๊ จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพพลังงานรายวันของแผงแบบปกติ อยู่ที่ร้อยละ 7.39 ส่วนแผงที่ติดตั้งฮีทปั๊มีประสิทธิภาพพลังงานรายวัน อยู่ที่ร้อยละ 8.45 ดังนั้นแผงที่ติดตั้งฮีทปั๊จะมีประสิทธิภาพพลังงานรายวันสูงกว่าแผงแบบปกติอยู่ที่ร้อยละ 1.06 ในขณะที่แผงโซล่าเซลล์ที่ติดตั้งฮีทปั๊ จะช่วยลดอุณหภูมิแผงโซล่าเซลล์เฉลี่ย 2.39 องศาเซลเซียส ดังนั้นประสิทธิภาพของแผงโซล่าเซลล์ที่ติดตั้งฮีทปั๊จะเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.44 ต่ออุณหภูมิที่ลดลง 1 องศาเซลเซียส

#### 4.3.4 พลังงานรายวันของแผงโซล่าเซลล์

ตารางที่ 4.2 แสดงพลังงานรายวันของแผงโซล่าเซลล์ ตั้งแต่ วันที่ 1 มี.ค 2563 ถึง 14 มี.ค 2564 รวมเวลา 14 วันในช่วงเวลา 10.45 – 16.15 น.เป็นช่วงระยะเวลา 5.5 ชั่วโมง ซึ่งเป็นช่วงเวลา ที่แผงโซล่าเซลล์ทั้ง 2 แผงได้รับรังสีดวงอาทิตย์พร้อมกันทั่วทั้งแผง ค่าพลังงานเฉลี่ยของแผงแบบปกติ ในช่วงระยะเวลา 5.5 ชั่วโมง อยู่ที่ 300.6 Wh หรือคิดเป็น 0.301 kWh ดังนั้นค่าเฉลี่ยใน 1 วัน (10 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 7.00 – 17.00 น) เป็น 0.547 kWh หรือ ใน 1 ปี อยู่ที่ 199.7 Kwh และค่าพลังงานเฉลี่ยของแผงที่ติดตั้งฮีทปั๊ในช่วงระยะเวลา 5.5 ชั่วโมง อยู่ที่ 334.6 Wh หรือคิดเป็น 0.335 kWh ดังนั้นค่าเฉลี่ยของแผงที่ติดตั้งฮีทปั๊ใน 1 วัน (10 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 7.00-17.00 น) เป็น 0.609 kWh หรือใน 1 ปี อยู่ที่ 222.3 Kwh ซึ่งมากกว่าแผงปกติอยู่ 22.6 kWh หรือคิดเป็นร้อยละ 11.3

ตารางที่ 4.2 พลังงานรายวันตั้งแต่ วันที่ 1 มี.ค 2564 ถึง 14 มี.ค 2564

วันที่	กำลังไฟฟ้า เฉลี่ยแผงปกติ (W)	พลังงานแผง ปกติ (Wh)	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย แผงติดตั้งฮีทไปป์ (W)	พลังงานแผง ติดตั้งฮีทไปป์ (Wh)	จำนวน ข้อมูล
1	51.88	285	57.53	316	23
2	75.91	418	76.89	423	23
3*	29.46	103	33.47	117	15
4	71.25	392	74.8	411	23
5	74.78	411	78.07	429	23
6	69.61	383	74.03	407	23
7	74.81	411	78.11	430	23
8	57.23	315	65.45	360	23
9*	28.96	130	30.33	136	19
10*	31.06	132	38.95	166	18
11	56.6	311	70.24	386	23
12	60.02	330	73.48	404	23
13	52.33	288	61.88	340	23
14	54.57	300	65.20	359	23
เฉลี่ย	56.32	300.6	62.75	334.6	

หมายเหตุ \* เป็นวันฝนตก

#### 4.4 ความคุ้มค่าในการลงทุน

ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งฮีทปั๊ม

● แผงระบายความร้อนพร้อมท่อทองแดง	ราคา 1700 บาท
● แผ่นอะลูมิเนียมแบบบาง	ราคา 300 บาท
● Heat Transfer Compound ชนิด Silicone	ราคา 600 บาท
● อุปกรณ์ประกอบโครง ข้อต่อ และลวดเชื่อม	ราคา 1000 บาท
รวมค่าใช้จ่ายที่เป็นเงินลงทุน (I)	3600 บาท

ประโยชน์จากการติดตั้งฮีทปั๊ม

พลังงาน (E) ที่ได้เพิ่มขึ้น	22.6 kWh
ค่าไฟฟ้า (C)	4.72 บาท/kWh
ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ ใน 1 ปี (B) = E×C	106.7 บาท

กำหนดให้

อายุของแผงโซลาร์เซลล์ที่ติดตั้งฮีทปั๊ม	20 ปี
ระยะเวลาคืนทุน (PB) = I/B	33.7 ปี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ดังนั้นจึงไม่คุ้มค่าในการลงทุนเนื่องจากระยะเวลาคืนทุนมากกว่าอายุการใช้งาน จึงควรมีงานวิจัยต่อยอดโดยมีการปรับปรุงประสิทธิภาพของฮีทปั๊มที่ใช้ในการลดอุณหภูมิแผงโซลาร์เซลล์ให้ดีขึ้น เช่น ควรปรับปรุงวิธีการยึดฮีทปั๊มกับแผงโซลาร์เซลล์เพื่อลดความต้านทานในการส่งผ่านความร้อน ควรเปลี่ยนรูปท่อกลมเป็นท่อแบนเพื่อให้สัมผัสกับแผงโซลาร์เซลล์ได้แนบสนิท หรือเปลี่ยนเป็นแบบ Multi channel ชนิดแผ่น หรือเปลี่ยนของไหลใช้งานเป็นชนิดอื่นเพื่อให้ความดันสูงกว่าบรรยากาศลดการเจือปนของอากาศในท่อฮีทปั๊ม

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้ฮีทไปป์แบบท่อกลมมีเกลียวภายในทำหน้าที่เป็นวิกใช้น้ำกลั่นเป็นของไหลใช้งานจำนวน 7 ท่อ ได้รับความร้อนจากแผงโซลาร์เซลล์ที่ส่วนระเหยและระบายความร้อนจากส่วนควบแน่นสู่อากาศแวดล้อม มีอุณหภูมิการทำงานเฉลี่ยที่ 46.8 องศาเซลเซียส ภายใต้อุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ย 35.2 องศาเซลเซียส

จากการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์ด้วยระบบฮีทไปป์คู่ลิ่ง พบว่าในวันที่ 8 มีนาคม 2564 ที่มีท้องฟ้าแจ่มใส อุณหภูมิเฉลี่ยของแผงโซลาร์เซลล์แบบปกติ และแผงโซลาร์เซลล์ที่ติดตั้งฮีทไปป์ มีค่า 57.27 และ 54.88 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ดังนั้นสามารถลดอุณหภูมิของแผงได้ 2.39 องศาเซลเซียส และ ประสิทธิภาพพลังงานรายวันของแผงโซลาร์เซลล์ปกติ และ ของแผงโซลาร์เซลล์ที่ติดตั้งฮีทไปป์ มีค่าร้อยละ 7.39 และ 8.45 ตามลำดับ ดังนั้นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานรายวันได้ร้อยละ 1.06 ต่อการลดอุณหภูมิของแผงโซลาร์เซลล์ 2.39 องศาเซลเซียส หรือร้อยละ 0.44 ต่อการลดอุณหภูมิของแผงโซลาร์เซลล์ 1 องศาเซลเซียส

ด้านความคุ้มค่าในการลงทุน พบว่า พลังงานรายปีของแผงโซลาร์เซลล์ปกติ และ ของแผงที่ติดตั้งฮีทไปป์ มีค่า 199.7 kWh และ 222.3 kWh ตามลำดับ ดังนั้นสามารถเพิ่มพลังงานรายปีได้ 22.6 kWh หรือร้อยละ 11.3 และมีระยะเวลาคืนทุน อยู่ที่ 33.7 ปี จึงไม่คุ้มค่าในการลงทุน อย่างไรก็ตามในอนาคตหากมีงานวิจัยต่อยอด ควรมีการปรับปรุงประสิทธิภาพของท่อฮีทไปป์ที่ใช้ในการลดอุณหภูมิแผงโซลาร์เซลล์ให้ดีขึ้น เช่น ควรปรับปรุงวิธีการยึดติดฮีทไปป์กับแผงโซลาร์เซลล์เพื่อลดความต้านทานในการส่งผ่านความร้อน ควรเปลี่ยนรูปท่อกลมเป็นท่อแบนเพื่อให้สัมผัสกับแผงโซลาร์เซลล์ได้แนบสนิท หรือเป็น Multi channel แบบแผ่น หรือเปลี่ยนของไหลใช้งานเป็นชนิดอื่นเพื่อให้ความดันสูงกว่าบรรยากาศลดการเจือปนของอากาศเข้าสู่ท่อฮีทไปป์

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ข้อมูลในงานวิจัยนี้บันทึกผลจากแผงโซลาร์เซลล์แบบอะมอร์ฟัส ชนิดฟิล์มบาง (Thin Film) เท่านั้น หากมีการศึกษาเพิ่มเติมควรทดสอบกับแผงโซลาร์เซลล์ชนิดอื่นๆ เช่น แบบซิลิคอนแบบผลึกเดี่ยว (Monocrystalline Silicon) หรือ แบบซิลิคอนหลายผลึก (Polycrystalline Silicon)



5.2.2 ข้อมูลในงานวิจัยนี้บันทึกผลจากการใช้ของไหลใช้งาน คือ น้ำกลั่น เท่านั้น หากมีการศึกษาเพิ่มเติมควรทดสอบเก็บข้อมูลกับ ของไหลชนิดอื่นด้วย

5.2.3 ควรปรับปรุงให้อุณหภูมิทำงานของฮีทไปป์ลดลงโดยการขจัดอากาศในการทำสุญญากาศและการบรรจุน้ำกลั่นเข้าไปในฮีทไปป์

5.2.4 ควรปรับปรุงวิธีการยึดติดฮีทไปป์กับแผงโซลาร์เซลล์เพื่อลดความต้านทานในการส่งผ่านความร้อน



## บรรณานุกรม

Electrolube, A. d. o. H. K. W. (2011). Technical Data Sheet ISO 9001:2008.

Frontier, S. (2007). Product Data sheet SF140-L.

Hussam Jouhara, N. K. (2018). "Waste heat recovery technologies and applications." Thermal Science and Engineering Progress: 268-289.

Silverstein, C. C. (1992). Design and technology of heat pipes for cooling and heat exchange.

เกียรติศิริโรจน์, ท. (2559). "ระบบระบายความร้อน ด้วยอากาศในเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตกำลังไฟฟ้า." สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช25).

ชุมวิสูตร, ธ. (2546). การศึกษาและพัฒนาโครงสร้างสำหรับฮีตไปป์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

วิทยา ยงเจริญ และคณะ (2554). การเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบทำน้ำร้อนที่ใช้แผงรับแสงอาทิตย์แบบเรียบกับแบบท่อฮีตไปป์. วารสารวิจัยพลังงาน

สถิตพงศ์ เสงี่ยมศักดิ์ และคณะ (2561). "ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อท่อความร้อนที่ติดตั้งวิกชนิดวัสดุพูน." วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 12: หน้า 172-183.

อนรุรัตน์ เทวตา และคณะ (2561). การศึกษาเชิงทดลองการเพิ่มประสิทธิภาพแผงโซลาร์เซลล์โดยใช้ท่อความร้อนแบบแบน, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา



The logo of Chulalongkorn University, featuring a central emblem with a sunburst and a tiered base, surrounded by a circular arrangement of rays.

ภาคผนวก 1

ข้อมูลที่จัดบันทึกเปรียบเทียบแผงโซลาร์เซลล์ทั้ง 2 แผง ไปใช้ในงานวิจัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ในวันที่ 1 มีค 2563 โดยแสงอาทิตย์ตกกระทบแผงโซลาร์เซลล์ทั้ง 2 แผงที่เวลา 10.00 นาฬิกา

เวลา	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมปกติ (°C)	กำลังไฟฟ้าแผงปกติ (W)	อุณหภูมิแผงฮีตไปป์ (°C)	กำลังไฟฟ้าแผงฮีตไปป์ (W)	อุณหภูมิท่อฮีตไปป์ (°C)	ความเข้มรังสี (W/m <sup>2</sup> )	อุณหภูมิแวดล้อม (°C)
8.00น	28.4		28.6		27.5	68.36	27.6
8.15น	30.4		30.4		34.8	86.50	28.8
8.30น	31.2		31.2		30.4	90.74	29.4
8.45น	31.8		31.8		30.7	85.90	29.8
9.00น	32.4		32.4		30.9	99.81	30.4
9.15น	33		33		31.9	101.63	30.6
9.30น	33		33.2		31.8	117.36	30.8
9.45น	35		35.4		32.3	169.38	31
10.00น	37	0.32	37.4	1.73	34.4	217.78	31.4
10.15น	38	0.14	38.8	1.52	34.8	211.73	32.4
10.30น	38.8	1.22	39.8	2.94	35.7	232.30	32
10.45น	38.8	2.91	39	5.48	37.5	266.18	32.2
11.00น	41	5.10	40	7.25	38.3	308.52	33.2
11.15น	42.8	0.37	42.6	1.32	39.3	202.66	33.8
11.30น	43.8	2.72	44	5.05	41.3	269.20	34.6
11.45น	43.6	1.40	43.4	3.56	39.6	229.88	33.6
12.00น	53	94.31	52.2	91.67	47.1	813.06	37
12.15น	57.6	89.05	55.6	88.43	47.3	804.59	36.8
12.30น	62.4	82.54	61.8	85.24	59.5	756.20	40
12.45น	60	84.84	58.8	87.97	54.4	770.71	38
13.00น	59.4	84.38	59.2	87.97	49.3	768.30	38.8
13.15น	58.4	87.17	58	88.89	49.4	780.39	39
13.30น	58.6	86.24	58.2	88.43	49.4	762.25	39
13.45น	58.6	80.27	58.8	86.14	48.3	750.15	37.4
14.00น	59	71.02	58.4	81.65	46.2	707.80	38.2
14.15น	59.2	74.49	59	82.99	44.5	710.22	39.4
14.30น	55.2	70.59	52.6	80.76	46.4	689.65	37.2
14.45น	57.6	56.66	58	71.26	51.6	621.29	39.4

15.00น	57.2	68.04	57.2	79.00	24.2	659.40	37.2
15.15น	51.2	46.12	49	61.84	43.4	574.71	35.8
15.30น	51.6	44.33	49.6	55.21	25.1	547.48	37.4
15.45น	48.4	26.39	47.8	35.39	43.5	453.72	38.2
16.00น	50.4	22.35	48.8	30.61	45.7	435.57	38.8
16.15น	48.4	11.96	49	17.06	41	356.92	38.4

### ประสิทธิภาพ ในวันที่ 1 มีค 2563

แผงโซลาร์เซลล์แบบปกติ มีประสิทธิภาพ เฉลี่ย อยู่ที่ร้อยละ 5.36

แผงโซลาร์เซลล์ติดตั้งฮีตปั๊ม มีประสิทธิภาพ เฉลี่ย อยู่ที่ร้อยละ 6.18



ในวันที่ 2 มีค 2563 โดยแสงอาทิตย์ตกกระทบแผงโซลาร์เซลล์ทั้ง 2 แผงที่เวลา 10.00 นาฬิกา

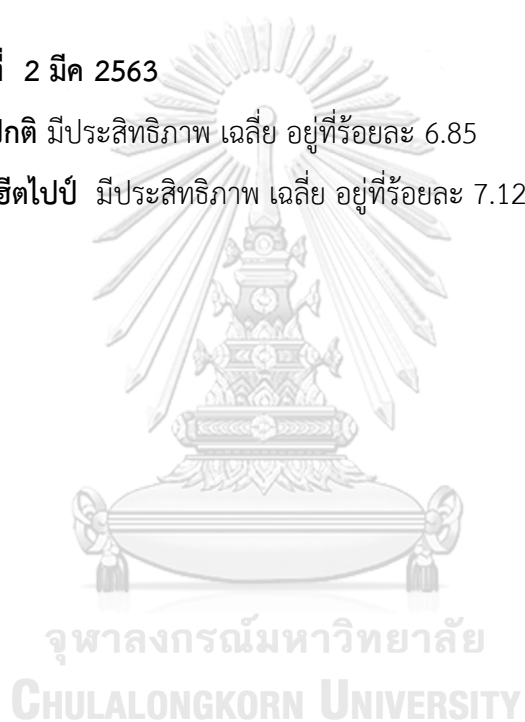
เวลา	อุณหภูมิเฉลี่ย แผงปกติ (°C)	กำลังไฟฟ้า แผงปกติ (W)	อุณหภูมิ แผงฮีตไปป์ (°C)	กำลังไฟฟ้า แผงฮีตไปป์ (W)	อุณหภูมิ ท่อฮีตไปป์ (°C)	ความเข้ม รังสี (W/m <sup>2</sup> )	อุณหภูมิ แวดล้อม (°C)
8.00น	31.6		31.6		30.9	71.99	29.4
8.15น	31.8		31.8		31.3	72.60	29.8
8.30น	32.6		32.2		31.7	79.85	30.2
8.45น	34		32.2		32.7	120.99	31
9.00น	35.2		35.4		34.4	157.29	31.6
9.15น	36.8		36.6		35.3	166.97	31.6
9.30น	37		37		36.2	193.59	32
9.45น	35.8		35.6		34.4	133.09	31.6
10.00น	38.6	1.22	38.6	2.32	37.8	229.89	32.4
10.15น	38.6	0.20	38.6	0.35	37.4	199.64	32.4
10.30น	38.8	1.77	38.6	2.53	37.6	239.56	32
10.45น	39.2	1.59	39	2.53	36.9	241.38	32.4
11.00น	41	5.10	40	7.25	38.5	308.53	33
11.15น	54.6	90.00	52.6	91.20	47.4	820.93	37.4
11.30น	51.6	90.47	49.2	91.20	45.2	822.75	35.6
11.45น	50.8	95.28	48.6	94.01	42.9	892.32	35.4
12.00น	45.2	99.71	44.8	95.91	40.5	893.53	34.4
12.15น	57.6	99.718	55.8	94.49	46.3	875.98	36.2
12.30น	57.8	104.72	55.8	97.82	47.7	916.52	37.2
12.45น	67	100.20	63.2	95.43	50.3	883.24	36.6
13.00น	64	99.71	59.8	94.49	47.8	804.60	37
13.15น	62	105.74	58	98.78	46.2	907.44	36.6
13.30น	54.6	109.84	51.6	101.20	44.3	919.54	36
13.45น	55.6	107.78	52.8	99.26	47.1	898.97	40
14.00น	63.2	98.72	58.4	94.49	50.4	845.13	37.6
14.15น	63	90.47	59.2	90.27	48.8	784.63	37.6

14.30น	58.8	90.47	58	90.27	49.8	783.42	38.2
14.45น	59	83.46	56.6	87.05	48.5	750.15	38.8
15.00น	58.4	68.04	57.2	79.00	48.2	659.41	37.2
15.15น	60	58.63	56.8	73.38	48.8	659.41	38.2
15.30น	57.2	50.16	53.2	64.24	48.2	580.76	37.2
15.45น	51.4	37.43	50.8	48.87	45.7	514.82	37
16.00น	51	33.82	49	44.21	45.3	502.12	36.6
16.15น	48.2	24.92	46.6	33.136	42.7	466.42	36.4

ประสิทธิภาพ ในวันที่ 2 มีค 2563

แผงโซลาร์เซลล์แบบปกติ มีประสิทธิภาพ เฉลี่ย อยู่ที่ร้อยละ 6.85

แผงโซลาร์เซลล์ติดตั้งฮีตปั๊ป มีประสิทธิภาพ เฉลี่ย อยู่ที่ร้อยละ 7.12





ในวันที่ 3 มีค 2563 โดยแสงอาทิตย์ตกกระทบแผงโซลาร์เซลล์ทั้ง 2 แผงที่เวลา 10.15 นาฬิกา และมี  
ฝนตกตั้งแต่วันที่ 14.30 ถึง 16.15 นาฬิกา

เวลา	อุณหภูมิผิว แผงปกติ (°C)	กำลังไฟฟ้า แผงปกติ (W)	อุณหภูมิ แผงฮีตไปป์ (°C)	กำลังไฟฟ้า แผงฮีตไปป์ (W)	อุณหภูมิท่อ ฮีตไปป์ (°C)	ความเข้ม รังสี (W/m <sup>2</sup> )	อุณหภูมิ แวดล้อม (°C)
8.00น	32.6		32.6		31.9	120.99	30
8.15น	34.4		34.6		33.4	165.15	30.6
8.30น	34.8		34.8		33.7	133.09	30.8
8.45น	35.4		35.6		34.2	148.22	31
9.00น	34.6		34.6		33.9	115.55	31.6
9.15น	35.2		35.6		34.9	147.01	31.8
9.30น	36.4		36.8		35.6	175.44	31.8
9.45น	37.6		38		36.3	190.56	32.4
10.00น	37.8		38		36.8	199.64	32.2
10.15น	38.8	1.40	39.2	3.15	36.8	240.77	32.2
10.30น	39.8	2.91	39.8	5.48	37.3	266.18	32.8
10.45น	40.2	2.91	39.8	5.26	38.2	269.81	33
11.00น	41	5.10	40	7.25	38.5	308.53	33
11.15น	42.8	1.89	42.6	2.01	39.3	145.19	32
11.30น	43.8	2.72	44	5.05	41.3	269.21	34.6
11.45น	43.6	1.40	43.4	3.56	39.4	229.89	33.6
12.00น	53	94.31	52.2	91.67	47.3	813.07	37.6
12.15น	55.4	91.91	55.2	91.20	51	828.80	36.2
12.30น	56.6	97.73	56	98.78	44.4	865.09	35
12.45น	47.6	51.66	47.2	72.10	42.8	644.28	36.6
13.00น	53.6	90.00	52.8	92.14	44.6	807.62	34.4
13.15น	52	52.04	50.8	79.88	42.5	701.75	33.8
13.30น	45.8	3.69	45.2	6.58	40.8	272.23	33.6
13.45น	40.4	0.32	40.6	1.72	38.4	205.69	35
14.00น	39.2	0.50	39.4	1.92	37	228.07	33
14.15น	39.2	0.32	39	1.32	37	219.60	32.8

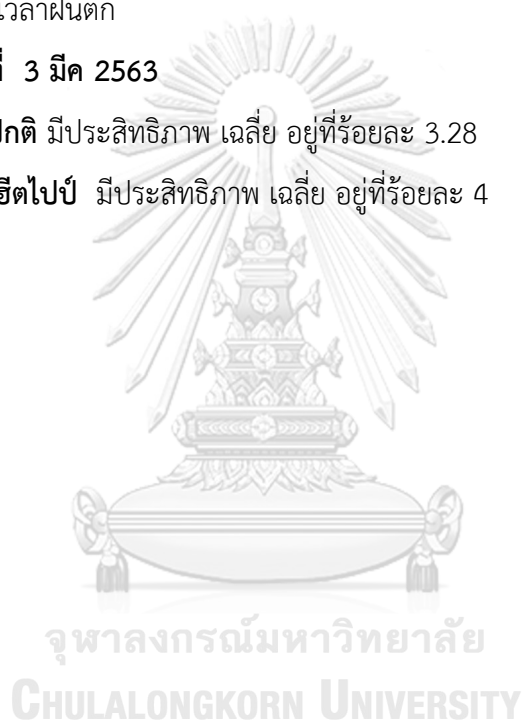
14.30น*							
14.45น*							
15.00น*							
15.15น*							
15.30น*							
15.45น*							
16.00น*							
16.15น*							

หมายเหตุ \* เป็นช่วงเวลาฝนตก

**ประสิทธิภาพ ในวันที่ 3 มีค 2563**

แผงโซลาร์เซลล์แบบปกติ มีประสิทธิภาพ เฉลี่ย อยู่ที่ร้อยละ 3.28

แผงโซลาร์เซลล์ติดตั้งฮีตปั๊ม มีประสิทธิภาพ เฉลี่ย อยู่ที่ร้อยละ 4



ในวันที่ 4 มีค 2563 โดยแสงอาทิตย์ตกกระทบแผงโซลาร์เซลล์ทั้ง 2 แผงที่เวลา 10.45 นาฬิกา

เวลา	อุณหภูมิ แผงปกติ (°C)	กำลังไฟฟ้า แผงปกติ (W)	อุณหภูมิ แผงฮีต ไปป์(°C)	กำลังไฟฟ้า แผงฮีตไปป์ (W)	อุณหภูมิ ท่อฮีตไปป์ (°C)	ความเข้ม รังสี (W/m <sup>2</sup> )	อุณหภูมิ แวดล้อม (°C)
8.00น	28.4		28.4		27.9	65.94	27.6
8.15น	28.4		28.6		28.3	68.36	27.6
8.30น	29.6		29.6		29.4	70.78	27.8
8.45น	31.2		31.4		31.1	108.89	29.2
9.00น	34.6		34.4		32	133.09	30.2
9.15น	34.8		34.6		33	102.84	30.8
9.30น	35.6		35.4		34	158.50	31
9.45น	35.6		35.8		34.4	148.82	31.8
10.00น	37.4		37.8		34.2	169.39	31.6
10.15น	39		39		37.7	193.59	33
10.30น	38.4		38.4		37.4	181.49	32
10.45น	39	0.03	39.2	1.13	37.4	219.00	32.6
11.00น	42	4.49	42.2	7.48	38	254.08	34.2
11.15น	59.4	82.54	56.4	87.51	46.1	768.30	36.2
11.30น	58.8	76.25	56.6	85.24	46.1	752.57	34
11.45น	59.2	88.58	56.8	89.81	48.7	806.41	35
12.00น	56	98.22	56.2	94.01	45.4	860.25	35
12.15น	56	71.45	53.6	82.09	45	709.62	35.8
12.30น	64.6	100.70	62.2	94.96	48	875.38	36.2
12.45น	63	95.28	62.8	92.14	54.7	832.43	38
13.00น	66	95.28	62.6	94.01	49.2	857.23	38.2
13.15น	60.8	105.74	57.4	97.82	48.7	895.34	38.2
13.30น	66.2	95.28	62.6	92.60	51.2	824.56	43.6
13.45น	64	95.77	60.2	93.07	49.1	831.82	42.6
14.00น	52.4	89.52	49.6	90.74	44.3	762.25	39.6
14.15น	55.4	90.47	52.8	91.20	45	775.56	38.6
14.30น	59.4	83.92	55.6	88.43	47.6	738.05	39.8

14.45น	50.4	82.09	49	87.05	43.8	767.70	39.8
15.00น	57.2	74.49	54	82.99	46	702.96	37.4
15.15น	50.2	60.22	49.8	74.66	44.4	629.16	37
15.30น	48	56.27	46.6	71.26	42	604.96	38.2
15.45น	52.6	42.91	50.6	59.07	45.8	542.04	40.6
16.00น	50.4	24.92	49.6	32.18	43.4	437.99	38.6
16.15น	51.4	24.34	50.4	30.92	43.9	421.66	38.6

ประสิทธิภาพ ในวันที่ 4 มีค 2563

แผงโซลาร์เซลล์แบบปกติ มีประสิทธิภาพ เฉลี่ย อยู่ที่ร้อยละ 7.87

แผงโซลาร์เซลล์ติดตั้งฮีตปั๊ป มีประสิทธิภาพ เฉลี่ย อยู่ที่ร้อยละ 8.5



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ในวันที่ 5 มีค 2563 โดยแสงอาทิตย์ตกกระทบแผงโซลาร์เซลล์ทั้ง 2 แผงที่เวลา 10.45 นาฬิกา

เวลา	อุณหภูมิ แผงปกติ (°C)	กำลังไฟฟ้า แผงปกติ (W)	อุณหภูมิ แผงฮีต ไปป์(°C)	กำลังไฟฟ้า แผงฮีตไปป์ (W)	อุณหภูมิ ท่อฮีตไปป์ (°C)	ความเข้ม รังสี (W/m <sup>2</sup> )	อุณหภูมิ แวดล้อม (°C)
8.00น	29.4		28.4		29.9	69.57	29.8
8.15น	30		30		30.8	84.69	30
8.30น	31.2		31.2		31.2	88.93	30.2
8.45น	32.6		32.6		32	3.63	30.6
9.00น	33.2		33.6		32.6	71.39	31
9.15น	33.6		33.6		32.8	81.67	31.6
9.30น	33.6		33.8		33.1	93.16	31.8
9.45น	36		36.2		34.8	131.88	32.2
10.00น	36.2		36.4		34.9	139.14	32
10.15น	38.2		38.8		36.6	209.32	33.2
10.30น	39.2		39.2		36.8	175.44	33
10.45น	40.6	3.69	40.8	6.14	38.1	260.13	33.2
11.00น	43.2	5.72	42.6	8.39	38.6	302.48	33.6
11.15น	45.6	51.66	45.8	65.87	42.2	629.16	34.8
11.30น	47.8	105.74	47.4	98.78	43.2	895.34	35
11.45น	61.6	92.87	59	92.60	53.7	836.06	36
12.00น	65.8	98.22	61.4	94.49	50.7	877.19	36.2
12.15น	62.2	102.20	56.6	96.38	47.3	883.24	35.2
12.30น	65.2	104.72	60.8	98.78	50.1	925.59	35.6
12.45น	66.6	106.25	62.2	101.20	55.2	932.85	36.2
13.00น	66.2	96.26	64.6	92.60	55.5	834.85	36.6
13.15น	66	95.28	64.2	91.67	55	825.17	36.2
13.30น	66	92.87	64	91.20	55.8	810.65	37.4
13.45น	60.8	92.38	56.8	91.67	48.8	832.43	36.2
14.00น	63.6	88.11	60.6	89.35	50.7	772.53	35.2
14.15น	62.2	85.77	58.6	88.43	49.9	766.49	35.4
14.30น	60.4	81.18	57.6	86.60	47.5	733.21	36

14.45น	62	78.47	58.4	85.24	50.1	712.64	36.8
15.00น	63.2	69.31	59.2	79.88	51.7	667.88	38
15.15น	62.4	67.20	58.6	78.56	51.5	653.36	37.2
15.30น	60.4	65.95	56.6	77.69	49.45	651.54	35.4
15.45น	56.2	54.33	52.8	69.17	45.3	600.12	35.6
16.00น	58	45.76	54.8	63.44	49.1	542.04	37.2
16.15น	52.2	36.10	50.6	47.41	43.7	497.88	35.4

ประสิทธิภาพ ในวันที่ 5 มีค 2563

แผงโซลาร์เซลล์แบบปกติ มีประสิทธิภาพ เฉลี่ย อยู่ที่ร้อยละ 7.85

แผงโซลาร์เซลล์ติดตั้งฮีตปั๊ป มีประสิทธิภาพ เฉลี่ย อยู่ที่ร้อยละ 8.38



ในวันที่ 6 มีค 2563 โดยแสงอาทิตย์ตกกระทบแผงโซลาร์เซลล์ทั้ง 2 แผงที่เวลา 10.45 นาฬิกา

เวลา	อุณหภูมิ แผงปกติ (°C)	กำลังไฟฟ้า แผงปกติ (W)	อุณหภูมิ แผงฮีตไปป์ (°C)	กำลังไฟฟ้า แผงฮีตไปป์ (W)	อุณหภูมิ ฮีตไปป์ (°C)	ความเข้ม รังสี (W/m <sup>2</sup> )	อุณหภูมิ แวดล้อม (°C)
8.00น	29.8		29.6		29.9	60.50	28.2
8.15น	30.2		30.2		30.5	55.66	29
8.30น	30.4		30.4		30.9	78.64	29.4
8.45น	31.8		32.2		31.7	104.05	30
9.00น	32.6		32.6		32.1	120.99	30.2
9.15น	33		33.2		32.8	87.72	30.8
9.30น	32.8		33		32.6	113.13	30.4
9.45น	34.6		34.4		34.5	181.49	31.4
10.00น	34		33.8		34.6	120.99	31
10.15น	36		36.4		35.1	131.28	31.8
10.30น	36.4		37		35.5	163.34	32.4
10.45น	36.4	0.55	36.6	12.21	37.7	641.26	32.8
11.00น	42	34.14	42.6	63.84	38.6	562.61	33.4
11.15น	49.8	76.69	47.6	82.09	39.4	730.79	35.6
11.30น	50.8	76.25	47.7	82.09	47.9	744.10	35.8
11.45น	57.8	88.11	51.4	88.43	51.4	804.60	37.6
12.00น	56.4	93.35	54.8	93.54	49.3	830.01	37.2
12.15น	57.2	94.80	55.2	91.67	51.4	840.90	38.4
12.30น	59.6	90.00	54.6	89.81	51.9	834.85	38.8
12.45น	61.6	94.80	57.2	89.81	51.5	840.90	38.2
13.00น	57.4	99.71	55	98.78	55.7	846.94	39.4
13.15น	59	99.71	58	98.78	53.5	852.99	40
13.30น	62.4	94.80	60.6	89.81	53.7	816.70	41.6
13.45น	63	90.00	60.6	87.51	58.7	798.55	40.6
14.00น	58.2	85.31	58.4	85.24	58.6	762.25	40.2
14.15น	60.2	81.18	56	82.99	50	732.00	39.2
14.30น	60.4	78.47	57.6	81.65	50.9	724.14	38.4

14.45น	60.6	69.31	56.6	77.69	51.4	677.56	40
15.00น	60.6	61.03	57.4	70.84	49.1	635.21	41.4
15.15น	61.4	54.33	59.2	65.46	50.4	592.86	42.2
15.30น	56.8	42.56	55.6	52.94	48.2	538.42	43.8
15.45น	53.6	37.43	53.2	46.34	46.1	508.17	42.8
16.00น	49.4	30.96	47.8	38.03	44	471.87	38.8
16.15น	51	27.59	47.8	33.13	46.3	447.67	39.2

**ประสิทธิภาพ ในวันที่ 6 มีค 2563**

แผงโซลาร์เซลล์แบบปกติ มีประสิทธิภาพ เฉลี่ย อยู่ที่ร้อยละ 7.61

แผงโซลาร์เซลล์ติดตั้งฮีตปั๊ป มีประสิทธิภาพ เฉลี่ย อยู่ที่ร้อยละ 8.25





ในวันที่ 7 มีค 2563 โดยแสงอาทิตย์ตกกระทบแผงโซลาร์เซลล์ทั้ง 2 แผงที่เวลา 10.45 นาฬิกา

เวลา	อุณหภูมิ แผงปกติ (°C)	กำลังไฟฟ้า แผงปกติ (W)	อุณหภูมิ แผงฮีตไปป์ (°C)	กำลังไฟฟ้า แผงฮีตไปป์ (W)	อุณหภูมิ ฮีตไปป์ (°C)	ความเข้ม รังสี (W/m <sup>2</sup> )	อุณหภูมิ แวดล้อม (°C)
8.00น	29.4		28.4		29.9	69.57	29.8
8.15น	30		30		30.8	84.69	30
8.30น	31.2		31.2		31.2	88.93	30.2
8.45น	32.6		32.6		32	3.63	30.6
9.00น	33.2		33.6		32.6	71.39	31
9.15น	33.6		33.6		32.8	81.67	31.6
9.30น	33.6		33.8		33.1	93.16	31.8
9.45น	36		36.2		34.8	131.88	32.2
10.00น	36.2		36.4		34.9	139.14	32
10.15น	38.2		38.8		36.6	209.32	33.2
10.30น	39.2		39		36.8	175.44	33
10.45น	40.6	3.69	40.8	6.14	38.1	260.13	33.2
11.00น	43.2	5.72	42.6	8.39	38.6	302.48	33.6
11.15น	45.6	51.66	45.8	65.87	42.2	629.16	34.8
11.30น	47.8	105.74	47.4	98.78	43.2	895.34	35
11.45น	61.6	93.35	59	93.54	53.7	830.01	36
12.00น	65.8	98.22	61.4	94.49	50.7	877.19	36.2
12.15น	62.2	102.20	56.6	96.38	47.3	883.24	35.2
12.30น	65.2	104.72	60.8	98.78	50.1	925.59	35.6
12.45น	66.6	106.25	62.2	101.20	55.2	932.85	36.2
13.00น	66.2	96.26	64.6	92.60	55.5	834.85	36.6
13.15น	66	95.28	64.2	91.67	55	825.17	36.2
13.30น	66	92.87	64	91.20	55.8	810.65	37.4
13.45น	58.8	92.38	56.8	91.67	48.8	832.43	36.2
14.00น	63.6	88.11	60.6	89.35	50.7	772.53	35.2
14.15น	62.2	85.77	58.6	88.43	49.9	766.49	35.4
14.30น	60.4	81.18	57.6	86.60	47.5	733.21	36

14.45น	62	78.47	58.4	85.24	50.1	712.64	36.8
15.00น	63.2	69.31	59.2	79.88	51.7	667.88	38
15.15น	62.4	67.20	58.6	78.56	51.5	653.36	37.2
15.30น	60.4	65.95	56.6	77.69	49.5	651.54	35.4
15.45น	56.2	54.33	52.8	69.17	45.3	600.12	35.6
16.00น	58	45.76	54.8	63.44	50	542.04	37.2
16.15น	52.2	36.10	50.6	47.41	43.7	497.88	35.4

ประสิทธิภาพ ในวันที่ 7 มีค 2563

แผงโซลาร์เซลล์แบบปกติ มีประสิทธิภาพเฉลี่ย อยู่ที่ร้อยละ 7.22

แผงโซลาร์เซลล์ติดตั้งฮีตปั๊ป มีประสิทธิภาพเฉลี่ย อยู่ที่ร้อยละ 7.72



ในวันที่ 8 มีค 2563 โดยแสงอาทิตย์ตกกระทบแผงโซลาร์เซลล์ทั้ง 2 แผงที่เวลา 10.45 นาฬิกา

เวลา	อุณหภูมิเฉลี่ย แผงปกติ (°C)	กำลังไฟฟ้า แผงปกติ (W)	อุณหภูมิ แผงฮีตไปป์ (°C)	กำลังไฟฟ้า แผงฮีตไปป์ (W)	อุณหภูมิท่อ ฮีตไปป์ (°C)	ความเข้ม รังสี (W/m <sup>2</sup> )	อุณหภูมิ แวดล้อม (°C)
8.00น	29.4		28.4		29.9	69.57	29.6
8.15น	30		30		30.8	84.69	30
8.30น	31.2		31.2		31.2	88.93	30.2
8.45น	32.8		33		31.7	72.60	31.2
9.00น	33.6		33.6		32.1	81.06	31.6
9.15น	34		34		32.8	81.67	32.4
9.30น	34.2		34		32.6	84.69	32
9.45น	34.6		34.6		34.5	90.74	32.4
10.00น	34.2		35.6		34.6	111.92	32.8
10.15น	36.4		36.4		35.1	127.04	32.6
10.30น	37		37		35.5	142.17	32.6
10.45น	39.2	1.40	38.6	2.94	37.7	225.65	34.4
11.00น	42.2	5.92	42.2	8.85	38.6	297.04	35
11.15น	44	6.13	43.2	10.03	39.4	305.51	33.4
11.30น	56.6	59.42	53.4	79.44	47.9	695.70	36.6
11.45น	59.8	78.02	56.6	87.05	51.4	759.23	36.6
12.00น	62.2	78.02	57.8	87.05	49.3	753.78	36.8
12.15น	64	81.18	59.6	87.97	51.4	764.67	36.6
12.30น	62.8	84.84	59.4	88.89	51.9	776.77	37
12.45น	64.6	78.92	60.2	86.60	51.5	750.15	36.2
13.00น	63.2	85.77	60.4	89.35	55.7	772.53	38.4
13.15น	64.2	83.46	61.6	88.43	53.5	761.04	38.6
13.30น	63	86.70	61	89.81	53.7	779.19	36.6
13.45น	66.6	83.46	62.8	87.97	58.7	768.30	37.2
14.00น	60.4	81.63	58.8	87.97	54.1	753.18	36.6
14.15น	60.6	78.92	58.8	86.60	50	736.84	37
14.30น	60.2	71.45	57.6	82.54	50.9	699.94	37.6

14.45น	61.6	61.84	58	76.82	51.4	647.31	37.2
15.00น	58.6	60.63	55.8	75.95	49.1	642.47	37.4
15.15น	56.8	53.18	54.8	68.34	50.4	595.89	37.2
15.30น	55.4	38.44	53.4	53.31	48.2	532.37	37.8
15.45น	51.6	24.63	50.2	34.74	46.1	447.67	35.2
16.00น	50	27.29	49	37.37	44	465.82	35.6
16.15น	49.6	5.10	49	7.25	46.3	326.68	35.4

ประสิทธิภาพ ในวันที่ 8 มีค 2563

แผงโซลาร์เซลล์แบบปกติ มีประสิทธิภาพ เฉลี่ย อยู่ที่ร้อยละ 6.6

แผงโซลาร์เซลล์ติดตั้งฮีตปั๊ป มีประสิทธิภาพ เฉลี่ย อยู่ที่ร้อยละ 7.7



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ในวันที่ 9 มีค 2563 โดยแสงอาทิตย์ตกกระทบแผงโซลาร์เซลล์ทั้ง 2 แผงที่เวลา 10.45 นาฬิกา และมีฝนตกตั้งแต่วันที่ 13.00 - 13.45 นาฬิกา

เวลา	อุณหภูมิผิวแผงปกติ (°C)	กำลังไฟฟ้าแผงปกติ (W)	อุณหภูมิแผงฮีตไปป์ (°C)	กำลังไฟฟ้าแผงฮีตไปป์ (W)	อุณหภูมิท่อฮีตไปป์ (°C)	ความเข้มรังสี (W/m <sup>2</sup> )	อุณหภูมิแวดล้อม (°C)
8.00น	32.8		33.6		32.8	114.94	31.6
8.15น	32.8		34		32.9	127.04	31.6
8.30น	35.8		35.8		34.4	116.76	31.6
8.45น	35		35		33.8	100.42	31.8
9.00น	35		35		33.7	78.64	31.6
9.15น	35.7		35.4		33.9	101.03	31.6
9.30น	35.2		35		33.9	110.71	31.6
9.45น	35.8		35.8		34.3	122.81	32.4
10.00น	36		36.2		35.3	127.65	32.2
10.15น	37.2		37.4		35.7	136.72	32.8
10.30น	36.8		37.2		35.6	128.25	32.6
10.45น	38.4	1.39	38.6	1.34	36.7	166.36	33.8
11.00น	41.8	1.04	41.8	2.32	39.2	217.79	34.2
11.15น	41.8	1.40	42	2.53	39	226.86	34.2
11.30น	56	86.70	53.6	91.20	49.2	802.78	38.6
11.45น	52	93.35	50.8	94.01	46	845.13	37
12.00น	57.6	91.91	55.4	93.07	48.2	832.43	37.6
12.15น	47.6	79.82	46.2	87.97	41.9	744.10	34.2
12.30น	46	2.70	44.8	2.96	44.15	104.66	35.6
12.45น	39.4	2.85	39.6	3.48	39.4	101.03	34.6
13.00น*							
13.15น*							
13.30น*							
13.45น*							
14.00น	58.8	85.77	59	88.89	56.4	774.35	40.6
14.15น	61.6	89.05	60.2	90.74	59.2	789.47	39

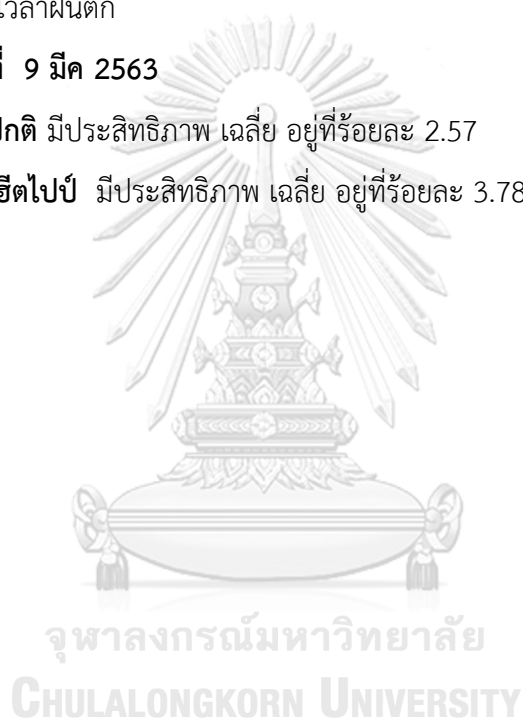
14.30น	42	1.06	41.6	0.78	38.8	198.43	32.6
14.45น	38	2.38	37	2.60	34.5	145.19	31
15.00น	39.2	0.50	39.4	1.92	37	227.47	33
15.15น	39.2	0.32	39	1.32	37.1	219.60	32.6
15.30น	36.6	2.05	36.6	2.07	35.2	160.31	32.2
15.45น	36.4	2.38	36.6	2.78	35.1	144.59	31.6
16.00น	35.4	2.70	35.4	2.96	34	133.09	32
16.15น	34.6	2.85	34.4	3.31	32.9	119.18	31.4

หมายเหตุ \* เป็นช่วงเวลาฝนตก

**ประสิทธิภาพ ในวันที่ 9 มีค 2563**

แผงโซลาร์เซลล์แบบปกติ มีประสิทธิภาพ เฉลี่ย อยู่ที่ร้อยละ 2.57

แผงโซลาร์เซลล์ติดตั้งฮีตปั๊ม มีประสิทธิภาพ เฉลี่ย อยู่ที่ร้อยละ 3.78



ในวันที่ 10 มีค 2563 โดยแสงอาทิตย์ตกกระทบแผงโซลาร์เซลล์ทั้ง 2 แผงที่เวลา 10.45 นาฬิกา และมีฝนตกตั้งแต่วเวลา 12.45 – 13.45 นาฬิกา

เวลา	อุณหภูมิ ลึยแผง ปกติ (°C)	กำลังไฟฟ้า แผงปกติ (W)	อุณหภูมิ แผงฮีตไปป์ (°C)	กำลังไฟฟ้า แผงฮีตไปป์ (W)	อุณหภูมิท่อ ฮีตไปป์ (°C)	ความเข้ม รังสี (W/m <sup>2</sup> )	อุณหภูมิ แวดล้อม (°C)
8.00น	27.6		28		27.8	62.31	27
8.15น	29.6		29.8		29.5	68.97	28.2
8.30น	32.8		32.6		30.6	78.64	30.2
8.45น	33.8		34		33	82.27	31.2
9.00น	34		34		33.1	87.72	31.4
9.15น	34.2		34.4		33.6	99.82	31.2
9.30น	37.2		37.4		36.6	196.01	32.4
9.45น	37.6		37.8		36.7	193.59	32.8
10.00น	39.2		38.8		38	184.51	32.8
10.15น	40		40		38.6	171.81	33.6
10.30น	40		40		39	180.88	33.2
10.45น	40.2	1.408	40	2.94	38.3	165.15	33.4
11.00น	41.8	1.04	41.4	2.32	40.2	214.16	34.8
11.15น	52	56.66	50.6	74.23	46.4	677.56	36
11.30น	53.6	55.49	51.8	73.38	47.7	669.69	36.4
11.45น	49	44.33	46.6	63.44	43	601.33	34.6
12.00น	47.4	3.89	47	6.58	44.5	508.17	34.6
12.15น	56.6	90.95	56	91.67	53.6	817.30	35.8
12.30น	56.6	87.17	56	90.27	52.1	804.60	37
12.45น*							
13.00น*							
13.15น*							
13.30น*							
13.45น*							
14.00น	33	1.39	33	0.97	32.4	163.34	29.4

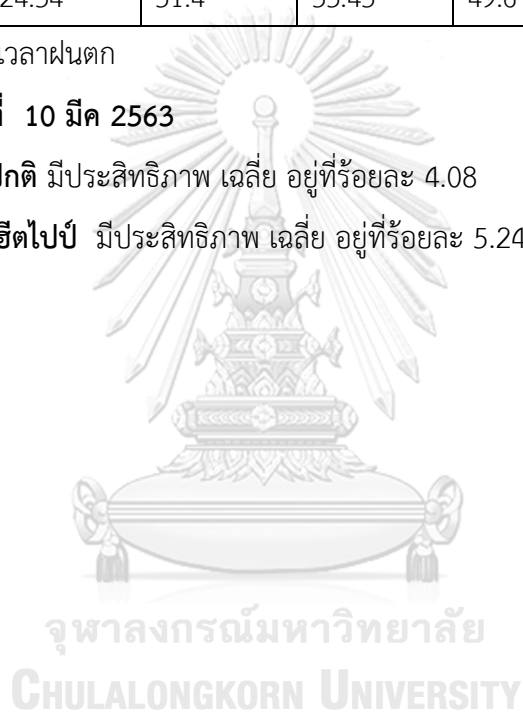
14.15น	33.6	0.89	33.8	0.22	33.1	181.49	29.8
14.30น	34.2	0.37	34.4	0.35	33.6	189.35	29.6
14.45น	42.8	24.63	42.8	34.74	42	447.67	32.6
15.00น	48	18.25	47.2	26.35	45.4	418.03	39.2
15.15น	49.4	43.27	49.4	56.74	44.9	586.81	35.2
15.30น	51.2	37.43	50.6	52.19	46.7	549.30	35.8
15.45น	54.8	34.46	51.8	47.05	49.3	528.74	38.6
16.00น	55.6	33.17	52.2	44.21	50.1	518.45	37
16.15น	54.6	24.34	51.4	33.45	49.6	460.98	36.6

หมายเหตุ \* เป็นช่วงเวลาฝนตก

**ประสิทธิภาพ ในวันที่ 10 มีค 2563**

แผงโซลาร์เซลล์แบบปกติ มีประสิทธิภาพ เฉลี่ย อยู่ที่ร้อยละ 4.08

แผงโซลาร์เซลล์ติดตั้งฮีตปั๊ป มีประสิทธิภาพ เฉลี่ย อยู่ที่ร้อยละ 5.24





ในวันที่ 11 มีค 2563 โดยแสงอาทิตย์ตกกระทบแผงโซลาร์เซลล์ทั้ง 2 แผงที่เวลา 11.15 นาฬิกา

เวลา	อุณหภูมิ แผงปกติ (°C)	กำลังไฟฟ้า แผงปกติ (W)	อุณหภูมิ แผงฮีตไปป์ (°C)	กำลังไฟฟ้า แผงฮีตไปป์ (W)	อุณหภูมิท่อ ฮีตไปป์ (°C)	ความเข้ม รังสี (W/m <sup>2</sup> )	อุณหภูมิ แวดล้อม (°C)
8.00น	25.4		25.6		25.3	60.50	26.4
8.15น	27.6		27.6		27.5	62.31	26.2
8.30น	28.4		28.4		27.7	63.52	26.8
8.45น	30.6		30.4		30.1	71.99	29.8
9.00น	31		31		30.7	78.04	30
9.15น	32.8		32.8		32.1	92.56	31
9.30น	34.2		34		32.7	108.89	31.6
9.45น	36		35.8		34.5	156.08	31.6
10.00น	39.6		39.4		37.9	201.45	32.8
10.15น	39.6		39.6		37.9	211.74	32.2
10.30น	40.6		41		39.2	205.69	34.6
10.45น	41.2		41.2		39.4	208.71	33.4
11.00น	40.6		40.8		39.2	181.49	34
11.15น	44.8	34.14	44.2	41.42	42	568.66	34
11.30น	50.4	60.22	49.8	77.25	47.4	677.56	36
11.45น	57.2	57.05	55.4	75.09	51.2	671.51	36.2
12.00น	50.8	56.66	49	75.09	46.8	669.09	35.4
12.15น	54	59.42	51.8	76.38	49	683.61	36
12.30น	53	71.88	51.8	84.33	48.9	744.10	37.2
12.45น	52.6	46.12	51.2	65.05	47.3	604.96	35
13.00น	52.8	93.35	52.4	93.54	49	830.01	36.2
13.15น	53.2	83.46	52	89.81	49.4	777.98	36
13.30น	55	91.43	54	92.14	49.6	816.70	36.6
13.45น	50.8	69.31	49.8	83.43	47.2	694.49	36.6
14.00น	55.6	57.05	53.8	73.80	49.5	638.23	36.2
14.15น	51.2	48.68	49.8	67.51	47	604.96	35.6
14.30น	53	50.53	51.4	69.17	48.7	635.21	36

14.45น	51.4	52.42	50	69.17	47.3	617.06	36.6
15.00น	56	56.27	54	72.10	50.1	629.16	37
15.15น	56.8	50.53	54	67.51	50.4	601.94	37.2
15.30น	56.4	45.04	54	61.84	49.3	577.74	36.2
15.45น	55.4	53.18	53.2	68.34	48.5	595.89	36.6
16.00น	51.6	27.29	50.2	37.37	46.3	465.82	35
16.15น	49.6	24.63	48	34.74	44.3	447.67	35.2

**ประสิทธิภาพ ในวันที่ 11 มีค 2563**

แผงโซลาร์เซลล์แบบปกติ มีประสิทธิภาพ เฉลี่ย อยู่ที่ร้อยละ 6.85

แผงโซลาร์เซลล์ติดตั้งฮีตปั๊ป มีประสิทธิภาพ เฉลี่ย อยู่ที่ร้อยละ 8.61



ในวันที่ 12 มีค 2563 โดยแสงอาทิตย์ตกกระทบแผงโซลาร์เซลล์ทั้ง 2 แผงที่เวลา 11.15 นาฬิกา

เวลา	อุณหภูมิ แผงปกติ (°C)	กำลังไฟฟ้า แผงปกติ (W)	อุณหภูมิ แผงฮีตไปป์ (°C)	กำลังไฟฟ้า แผงฮีตไปป์ (W)	อุณหภูมิท่อ ฮีตไปป์ (°C)	ความเข้ม รังสี (W/m <sup>2</sup> )	อุณหภูมิ แวดล้อม (°C)
8.00น	26.6		26.6		26.2	61.10	26
8.15น	27.8		27.4		27.5	63.52	26.2
8.30น	28.6		28.6		28.7	65.34	27.4
8.45น	30.6		30.4		30.5	72.60	29.8
9.00น	31.4		31		31.1	78.04	30
9.15น	33.2		33		32.5	93.77	30.8
9.30น	33.8		33.6		32.8	107.68	30.8
9.45น	36.6		36		34.9	157.29	32.4
10.00น	39.6		39.4		38.1	202.66	32.6
10.15น	39.6		39.8		38.1	202.06	32.8
10.30น	40.6		41		39.4	207.50	35
10.45น	41.2		41.4		39.4	208.71	33.6
11.00น	40.6		40		39.5	199.64	33.8
11.15น	48.6	59.42	47.6	77.25	45.5	672.11	34.6
11.30น	52.8	70.59	51.4	83.43	49.2	725.95	35.6
11.45น	56.8	55.10	54.8	73.38	51.2	669.09	34.8
12.00น	50	66.78	48.6	81.65	46.3	715.06	35.2
12.15น	53.2	65.95	51.6	80.76	49	701.75	35.8
12.30น	54	71.88	52	84.33	49.1	744.10	36
12.45น	52.6	46.12	51.2	65.05	47.3	604.96	35
13.00น	52.8	93.35	52.4	94.01	49	830.01	36.2
13.15น	55	83.46	52	89.81	49.4	777.98	36
13.30น	55	91.43	54	92.14	49.6	816.70	36.2
13.45น	52	81.63	50.8	83.88	26.3	718.69	35.6
14.00น	55.6	57.05	53.6	73.80	49.3	695.70	37
14.15น	52.4	50.16	50.4	67.92	46.5	611.01	35
14.30น	49.6	50.53	48	69.17	46.3	635.21	35.6

14.45น	51.4	48.68	49.8	67.51	47.3	604.96	36
15.00น	52.4	53.94	50.2	70.42	48.8	621.29	38
15.15น	55.4	58.63	53	74.66	50.1	641.26	36.8
15.30น	52.6	49.05	51.2	67.10	47.8	601.94	36.4
15.45น	51	46.48	48	64.65	46.3	595.89	36
16.00น	50.4	33.82	48.2	46.69	45.5	490.02	35.8
16.15น	49.6	26.39	48.4	35.39	44.3	453.72	36

ประสิทธิภาพ ในวันที่ 12 มีค 2563

แผงโซลาร์เซลล์แบบปกติ มีประสิทธิภาพ เฉลี่ย อยู่ที่ร้อยละ 7.09

แผงโซลาร์เซลล์ติดตั้งฮีตปั๊ป มีประสิทธิภาพ เฉลี่ย อยู่ที่ร้อยละ 8.8



ในวันที่ 13 มีค 2563 โดยแสงอาทิตย์ตกกระทบแผงโซลาร์เซลล์ทั้ง 2 แผงที่เวลา 11.30 นาฬิกา

เวลา	อุณหภูมิห้อง แผงปกติ (°C)	กำลังไฟฟ้า แผงปกติ (W)	อุณหภูมิ แผงฮีตไปป์ (°C)	กำลังไฟฟ้า แผงฮีตไปป์ (W)	อุณหภูมิท่อ ฮีตไปป์ (°C)	ความเข้ม รังสี (W/m <sup>2</sup> )	อุณหภูมิ แวดล้อม (°C)
8.00น	32.8		33.6		32.8	114.94	31.6
8.15น	32.8		33.6		32.9	127.04	31.6
8.30น	35.8		35.8		34.4	116.76	31.6
8.45น	35		35		33.8	100.42	31.8
9.00น	35.2		35		33.7	78.64	31.6
9.15น	35.8		35.4		33.9	101.03	31.6
9.30น	35.2		35		33.9	110.71	31.6
9.45น	35.8		35.8		34.3	122.81	32.4
10.00น	36.2		36.2		35.3	127.65	32.2
10.15น	37.2		37.4		35.7	136.72	32.8
10.30น	36.8		36.2		35.6	128.25	32.6
10.45น	38.4	1.39	38.6	1.35	36.7	166.36	33.8
11.00น	41.8	1.04	41.8	2.32	39.2	217.79	34.2
11.15น	42	1.40	41.8	2.53	39	226.86	34.2
11.30น	56	86.70	53.6	91.20	49.2	802.78	38.6
11.45น	52	93.35	50.8	94.01	46	845.13	37
12.00น	57.6	91.91	55.4	93.07	48.2	832.43	37.6
12.15น	47.6	79.82	46.2	87.97	41.9	744.10	34.2
12.30น	47	93.35	44.8	93.54	44.15	830.01	35.6
12.45น	47.6	51.66	46.8	72.10	42.8	644.28	36.6
13.00น	53.6	90.00	52.8	92.14	44.6	807.62	36.4
13.15น	52	52.04	50.8	79.88	42.5	701.75	35.8
13.30น	55	91.43	53	92.14	49.6	816.70	36.6
13.45น	50.8	69.31	49.8	83.43	47.2	694.49	36.6
14.00น	55.6	57.05	53.8	73.80	49.5	638.23	36.2
14.15น	51.2	46.12	49.8	65.05	47	604.96	35.6
14.30น	53	50.53	51.4	69.17	48.7	635.21	36

14.45น	51.4	52.42	50	69.17	47.3	617.06	36.6
15.00น	56	56.27	54	72.10	50.1	629.16	37
15.15น	50	43.27	49.4	56.74	44.9	586.81	35.2
15.30น	51.2	37.43	50.6	52.19	46.7	549.30	35.8
15.45น	51.6	24.63	50.2	34.74	46.1	447.67	35.2
16.00น	50	27.29	49	37.37	44	465.82	35.6
16.15น	49.6	5.10	49.2	7.25	46.3	326.68	35.4

ประสิทธิภาพ ในวันที่ 13 มีค 2563

แผงโซลาร์เซลล์แบบปกติ มีประสิทธิภาพ เฉลี่ย อยู่ที่ร้อยละ 6.28

แผงโซลาร์เซลล์ติดตั้งฮีตปั๊ป มีประสิทธิภาพ เฉลี่ย อยู่ที่ร้อยละ 7.61



ในวันที่ 14 มีค 2563 โดยแสงอาทิตย์ตกกระทบแผงโซลาร์เซลล์ทั้ง 2 แผงที่เวลา 10.45 นาฬิกา

เวลา	อุณหภูมิ แผงปกติ (°C)	กำลังไฟฟ้า แผงปกติ (W)	อุณหภูมิ แผงฮีตไปป์ (°C)	กำลังไฟฟ้า แผงฮีตไปป์ (W)	อุณหภูมิท่อ ฮีตไปป์ (°C)	ความเข้ม รังสี (W/m <sup>2</sup> )	อุณหภูมิ แวดล้อม (°C)
8.00น	26.6		26.8		26.2	61.10	26
8.15น	27.8		27.6		27.5	63.52	26.2
8.30น	28.6		28.8		28.7	65.34	27.4
8.45น	30.6		30.6		30.5	72.60	29.8
9.00น	31.4		31		31.1	78.04	30
9.15น	33.2		33		32.5	93.77	30.8
9.30น	33.8		33.6		32.8	107.68	30.8
9.45น	36.6		36.2		34.9	157.29	32.4
10.00น	39.6		39		38.1	202.66	32.6
10.15น	39.6		39.8		38.1	202.06	32.8
10.30น	40.6		41		39.4	207.50	35
10.45น	41.2	0.20	41.4	1.72	39.4	208.71	33.6
11.00น	40.6	0.55	40	0.93	39.5	199.64	33.8
11.15น	48.6	59.42	47.8	77.25	45.5	672.11	34.6
11.30น	52.8	70.59	51.6	83.43	49.2	725.95	35.6
11.45น	56.8	55.10	54.8	73.38	51.2	669.09	34.8
12.00น	50	66.78	48.6	81.20	46.3	715.06	35.2
12.15น	53.2	65.95	51.6	80.76	49	701.75	35.8
12.30น	54	71.88	51.2	84.33	49.1	744.10	36
12.45น	52.6	46.12	51.2	65.05	47.3	604.96	35
13.00น	52.8	92.87	52.4	93.54	49	830.01	36.2
13.15น	55	83.46	52	89.81	49.4	777.98	36
13.30น	55	91.43	53.6	92.14	49.6	816.70	36.2
13.45น	52	81.63	50.8	83.88	263	718.69	35.6
14.00น	55.6	65.95	53.6	80.76	49.3	701.75	37
14.15น	52.4	50.16	50.4	67.92	46.5	611.01	35
14.30น	49.6	50.53	48	69.17	46.3	635.21	35.6

14.45น	51	48.68	49.8	67.51	47.3	604.96	36
15.00น	49	61.03	47.2	70.84	45.4	635.21	35.2
15.15น	50.4	54.33	49.4	65.46	44.9	592.86	35.2
15.30น	51.2	42.56	50.6	52.94	46.7	538.42	35.8
15.45น	54.8	37.43	51.8	46.34	49.3	508.17	36.6
16.00น	55.6	30.96	52	38.03	50.1	471.87	37
16.15น	54.6	27.59	51.4	33.13	49.6	447.67	36.6

ประสิทธิภาพ ในวันที่ 14 มีค 2563

แผงโซลาร์เซลล์แบบปกติ มีประสิทธิภาพ เฉลี่ย อยู่ที่ร้อยละ 7.14

แผงโซลาร์เซลล์ติดตั้งฮีตปั๊ป มีประสิทธิภาพ เฉลี่ย อยู่ที่ร้อยละ 8.61





ในวันที่ 22 มีค 2564 โดยแสงอาทิตย์ตกกระทบแผงโซลาร์เซลล์ทั้ง 2 แผงที่เวลา 10.45 นาฬิกา  
สำหรับการทดสอบตอนที่ยังไม่ได้ติดตั้งฮีตปั๊ม

เวลา	อุณหภูมิผิว แผงปกติ (°C)	กำลังไฟฟ้า แผงปกติ (W)	อุณหภูมิ แผงฮีตปั๊ม (°C)	กำลังไฟฟ้า แผงฮีตปั๊ม (W)	อุณหภูมิท่อ ฮีตปั๊ม (°C)	ความเข้ม รังสี (W/m <sup>2</sup> )	อุณหภูมิ แวดล้อม (°C)
8.00น							
8.15น							
8.30น							
8.45น							
9.00น							
9.15น							
9.30น							
9.45น	27.2		27			43.56	27.2
10.00น	27.5		27.4			49.00	27.4
10.15น	27.5		27.4			53.24	28
10.30น	28.8		28.8			60.50	28.6
10.45น	29.2	4.24	29.1	4.83		67.15	28.8
11.00น	29.7	4.24	29.7	5.00		68.97	29.4
11.15น	30.4	4.39	30.5	5.00		73.81	29.4
11.30น	31.2	4.39	31.6	5.34		124.02	30
11.45น	31.8	5.18	32.8	6.04		137.93	30.2
12.00น	33	5.34	32.9	6.74		148.22	30.8
12.15น	34.3	7.01	34.4	9.93		208.71	32.2
12.30น	36.3	78.48	36.1	82.99		679.37	32.4
12.45น	42.8	79.37	42.6	82.10		713.85	32.8
13.00น	46.9	76.25	46.7	80.76		701.75	34.4
13.15น	56	88.11	58.7	87.06		774.35	37.8
13.30น	55.9	88.11	55.8	87.06		780.40	35.2
13.45น	55.8	90.48	55.9	89.82		786.45	36.4
14.00น	55	91.43	54.2	90.28		807.62	35.2
14.15น	58.2	88.11	58	87.06		774.35	36.8

14.30น	59.3	83.93	58.8	88.43		777.98	37
14.45น	60.3	58.63	59.9	65.06		659.41	38.2
15.00น	57.9	74.49	57.6	76.39		701.75	37.2
15.15น	56.2	53.18	56	64.25		595.89	36.8
15.30น	55.9	50.16	55.1	53.70		580.76	37.2
15.45น	53.2	37.43	51.1	48.87		514.82	37
16.00น	51.2	33.82	50.5	44.21		502.12	36.6
16.15น	48	24.93	47.8	33.14		466.42	36.4



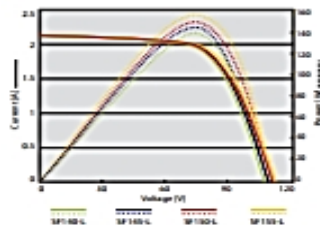
ภาคผนวก 2  
Data Specification



## Data Sheet Solar SF140-L (Frontier 2007)



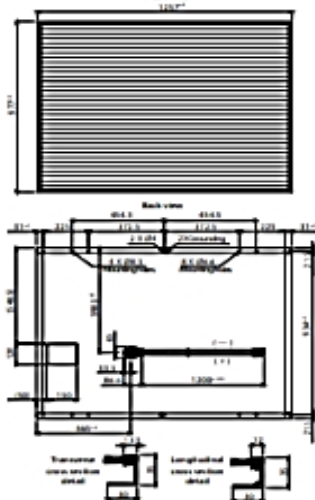
## I-V Curve



## Certificates and Compliance\*



## Module Drawing



## Contact Information

**Solar Frontier K.K.**  
 (HQ, Asian Sales Office)  
 Tokyo, Japan  
 Tel: +81-3-5531-5626

**Solar Frontier Americas**  
 Santa Clara, CA, USA  
 Tel: +1-408-916-4150

**Solar Frontier Europe**  
 Munich, Germany  
 Tel: +49-89-92-86-142-22  
 www.solar-frontier.com

## STC Characteristics

		SF140-L	SF145-L	SF150-L	SF155-L
Maximum power	P <sub>max</sub>	140 W	145 W	150 W	155 W
Module efficiency	%	11.4%	11.8%	12.2%	12.6%
Tolerance of P <sub>max</sub>		+10%/-5%			
Factory binning		±2.5 W	±2.5 W	±2.5 W	±2.5 W
Open circuit voltage	V <sub>oc</sub>	109.0 V	110.0 V	110.0 V	108.0 V
Short circuit current	I <sub>sc</sub>	2.10 A	2.10 A	2.10 A	2.20 A
Voltage at maximum power	V <sub>mpp</sub>	77.0 V	78.0 V	79.0 V	80.0 V
Current at maximum power	I <sub>mpp</sub>	1.82 A	1.86 A	1.90 A	1.95 A

Standard Test Conditions (STC): 1,000 W/m<sup>2</sup> irradiance, module temperature 25 °C, air mass 1.5. I<sub>sc</sub> and V<sub>oc</sub> are ±10% tolerance of STC rated values. Module output may rise after light soaking due to its unique characteristics.

## NOCT Characteristics

		SF140-L	SF145-L	SF150-L	SF155-L
Maximum power	P <sub>max</sub>	102 W	106 W	109 W	113 W
Open circuit voltage	V <sub>oc</sub>	97.8 V	98.7 V	98.7 V	96.9 V
Short circuit current	I <sub>sc</sub>	1.66 A	1.66 A	1.66 A	1.74 A
Voltage at maximum power	V <sub>mpp</sub>	72.7 V	73.6 V	74.5 V	75.5 V
Current at maximum power	I <sub>mpp</sub>	1.41 A	1.44 A	1.47 A	1.50 A

Nominal Operating Cell Temperature Conditions: Module operating temperature at 800 W/m<sup>2</sup> irradiance, air temperature 20 °C, wind speed 1 m/s and open circuit condition.

## Performance at Low Irradiance

Efficiency reduction of maximum power from an irradiance of 1,000 W/m<sup>2</sup> to 200 W/m<sup>2</sup> at 25 °C is typically 3.0%. The standard deviation for the reduction of efficiency is 2.6%.

## Temperature Characteristics

NOCT		47 °C
Temperature coefficient of I <sub>sc</sub>	α	+0.01%/K
Temperature coefficient of V <sub>oc</sub>	β	-0.30%/K
Temperature coefficient of P <sub>max</sub>	δ	-0.31%/K

## Mechanical Characteristics

Dimensions (L x W x H)	1,257 x 977 x 35 mm (49.5 x 38.5 x 1.4 in.)
Weight	20 kg (44.1 lbs)
Application class (IEC 61730)	A
Fire rating (IEC 61730)	Class C
Safety class (IEC 61140)	II
Snow/wind load*	2,400 Pa (IEC 61646) / 1,600 Pa design load (UL 1703)
Cell type	CTS glass substrate (cadmium free)
Front cover	Clear tempered glass, 3.2 mm
Encapsulant	EVA
Back sheet	Weatherproof plastic film (color: black & silver)
Frame	Anodized aluminum alloy (color: black)
Edge sealant	Butyl rubber
Junction box	Protection rating: IP 67 (with bypass diode)
Adhesive	Silicone
Output cables (conductor)	2.5 mm <sup>2</sup> / 14 AWG (halogen free)
Cable lengths (symmetrical)	1,200 mm (47.2 in.)
Packing information	25 panels/pallet + 36 pallets/40' container (900 panels)

\*UL 1.5 x design load is applied to the module, i.e. 2,400 Pa (53.1 lbf/ft<sup>2</sup>) is applied to meet the 1,600 Pa UL design load standard.

This preliminary data sheet is provided to assist you in evaluating this product that is under development. Solar Frontier K.K. reserves the right, at its sole discretion, to change, modify, add or delete portions of the content at any time without notice.

## Technical Data Sheet Silicone Heat Transfer Compound (Electrolube 2011)



### Technical Data Sheet

## HTSP Silicone Heat Transfer Compound Plus

### Product Description

HTSP provides the ultimate in thermal conductivity together with the very wide temperature range obtained by using silicone base oils. The exceptional properties obtained from HTSP are due to the novel use of various metal oxide (ceramic) powders. These materials are electrically insulative to ensure that leakage currents can not be formed if the paste should come into contact with other parts of the assembly.

HTSP should be used where a large amount of heat needs to be dissipated quickly and effectively. The heat dissipation from the source (e.g. semiconductor barrier layer) is achieved through many layers of different material before the heat is dissipated through free or forced convection. It should be noted that the use of a thermally conductive paste will only aid the dissipation of heat if the interface where it is used has the lowest thermal conductivity within the system, i.e. is the rate determining step. This is usually the case.

HTSP is a non-setting compound which allows easy rework of the components should this be necessary.

A full range of heat transfer products are available from Electrolube: non-silicone based pastes for very applications sensitive to silicone (HTC, HTCP, HTCX, HTCXPX, HTCXPX\_LV), RTV rubbers (TCOR, TCER), adhesive epoxy (TBS) and an epoxy based potting resin (ER2074).

### Features

- Superior thermal conductivity even at high temperatures.
- Wide operating temperature range.
- Low evaporation weight loss.
- Economic in use.
- Low in toxicity.

<b>Approvals:</b>	<b>RoHS Compliant</b>	<b>Yes</b>
<b>Typical Properties:</b>	Colour:	White
	Base	Silicone Oil
	Thermo-conductive Component:	Powdered metal oxides
	Thermal Conductivity (Guarded Hot Plate):	3.0 W/m <sup>2</sup> ·K
	Thermal Conductivity (Heat Flow):	2.0 W/m <sup>2</sup> ·K (calculated)
	Density @ 20 °C:	3 g/cm <sup>3</sup>
	Temperature Range:	-50 °C to +200 °C
	Weight Loss after 96 hours @ 100 °C:	<0.8%
	Permittivity @ 106Hz:	4.9
	Specific Resistance:	1 x 10 <sup>15</sup> Ohms/cm
	Dielectric Strength:	18 kV/mm
	Viscosity:	Paste

---

Electrolube, A division of H K Werworth, Ashby Business Park, Coalfield Way, Ashby de la Zouch, Leicestershire LE65 1JF  
Tel: +44 (0)844 375 9700 Fax: +44(0)844 375 9799 www.electrolube.com  
BS EN ISO 9001:2008 Certificate No. FM 32082

ภาคผนวก 3

ตัวอย่างการคำนวณ



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**

## ภาคผนวก 3

## ตัวอย่างการคำนวณ

แผงโซลาร์เซลล์ กว้าง 100 cm ยาว 125 cm ฮีทไปป์ใช้ท่อทองแดงที่มีในตลาดขนาด เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 9.54 mm เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 8 mm หนา 0.77 mm มีเกลียวภายในท่อ เป็นส่วนระเหย และใช้ท่อทองแดงขนาด เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 12.7 mm เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 11.1 mm หนา 0.8 mm มีเกลียวภายในท่อ เป็นส่วนควบแน่น

## การความยาวท่อส่วนควบแน่น

เพื่อลดความยาวของส่วนควบแน่นจึงเลือกให้ขนาดของส่วนควบแน่นใหญ่กว่าส่วนระเหยแต่ให้มีปริมาตรเท่ากัน

$$\text{สูตร} \quad \pi r^2 h = \pi R^2 H \quad (1)$$

$$\pi = 3.14$$

$$R = \text{รัศมีท่อส่วนควบแน่น mm}$$

$$H = \text{ความยาวท่อส่วนควบแน่น cm}$$

$$r = \text{รัศมีท่อส่วนระเหย mm}$$

$$h = \text{ความยาวท่อส่วนระเหย cm}$$

แทนค่า

$$\pi(8)^2 125 = \pi(11.1)^2 H$$

$$H = 64.9 \text{ cm}$$

ดังนั้น ความยาวของท่อคอนเดนเซอร์ เป็น 65 cm และ ความยาวของท่อส่วนระเหย 125 cm

### การหาปริมาตรของไหลใช้งาน

สูตร 
$$V = \frac{\pi D^2 h}{4} \quad (2)$$

h = ความยาวท่อส่วนระเหย

D = เส้นผ่านศูนย์กลางท่อส่วนระเหย

ให้เติมปริมาตรของไหล ที่ร้อยละ 60 ของท่อส่วนระเหย

h = 60% ของ 125

h = 75

$$V = \frac{\pi(0.8^2)75}{4}$$

$$V = 37.6 \text{ cm}^3$$

ดังนั้น เติมน้ำของไหลใช้งานที่  $37.6 \text{ cm}^3$

ปริมาตรของน้ำที่ใช้เป็นของไหลใช้งาน

สูตร 
$$\rho = \frac{m}{V} \quad (3)$$

$\rho$  = ความหนาแน่น (ให้ความหนาแน่นของน้ำ เท่ากับ  $1 \text{ g/cm}^3$ )

m = มวล

V = ปริมาตร

$$1 \text{ g/cm}^3 = \frac{m}{37.6 \text{ cm}^3}$$

$$m = 37.6 \text{ g}$$



ตัวอย่างการคำนวณค่าประสิทธิภาพพลังงานของวันที่ 8 มีนาคม 2564

ข้อมูลวันที่ 8 มี.ค 2563 แสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4 3 เป็นตัวอย่างชุดข้อมูลของวันที่ 8 มี.ค 2563

เวลา	ความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ย $W/m^2$	กำลังไฟฟ้าแผงปกติ W	กำลังไฟฟ้าแผงติดตั้งยึดไปป์ W
10.45น	225	1.40	2.94
11.00น	297	5.92	8.85
11.15น	305	6.13	10.03
11.30น	695	59.42	79.44
11.45น	759	78.02	87.05
12.00น	753	78.02	87.05
12.15น	764	81.18	87.97
12.30น	776	84.84	88.89
12.45น	750	78.92	86.60
13.00น	772	85.77	89.35
13.15น	761	83.46	88.43
13.30น	779	86.70	89.81
13.45น	768	83.46	87.97
14.00น	753	81.63	87.97
14.15น	736	78.92	86.60
14.30น	699	71.45	82.54
14.45น	647	61.84	76.82
15.00น	642	60.63	75.95
15.15น	595	53.18	68.34
15.30น	532	38.44	53.31
15.45น	447	24.63	34.74
16.00น	465	27.29	37.37
16.15น	326	5.10	7.25
เฉลี่ย	619.39	57.23	65.45

โดยทำการเลือกข้อมูลในช่วงเวลา 13.30 เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่มีความเข้มของแสงมากที่สุดในวันที่ 8 มี.ค 2563 เพื่อหาค่าประสิทธิของทั้ง 2 แผง

ประสิทธิภาพแผงโซลาร์เซลล์แผงปกติ

$$\eta = \frac{86.70}{779 \times 1.25} \times 100\% \\ = 8.9 \%$$

ประสิทธิภาพแผงโซลาร์เซลล์แผงติดตั้งฮีตไปป์

$$\eta = \frac{89.81}{779 \times 1.25} \times 100\% \\ = 9.22 \%$$

ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยทั้งวันของวันที่ 8 มี.ค 2563

ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยแผงปกติ อยู่ที่ 57.23 วัตต์

ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยแผงติดตั้งฮีตไปป์ อยู่ที่ 65.45 วัตต์

ค่า พลังงานรายวัน

สูตร  $E = t(n-1)\bar{P}$

โดยช่วงเวลาที่เก็บข้อมูล ทุกๆ 15 นาที เมื่อแปลงเป็น 1 ชั่วโมง เท่ากับ 0.25 เริ่มบันทึกตั้งแต่ช่วงเวลา 10.45 -16.15 น. สามารถแบ่งได้เป็น 23 ช่วง

ค่าพลังงานรายวันของแผงปกติ  $E = 0.25 (23-1) 57.23$

$$E = 314.78 \text{ wh}$$

ค่าพลังงานรายวันของแผงติดตั้งฮีตไปป์  $E = 0.25 (23-1) 65.45$

$$E = 359.98 \text{ wh}$$

ค่าความเข้มแสงอาทิตย์รายวัน  $G = 0.25 (23-1) 619.39$

$$G = 3406.65 \text{ Wh}$$

ประสิทธิภาพรายวันของแผงปกติ

$$\eta_d = \frac{\bar{P}}{GA} \times 100$$

$$\eta_d = \frac{314.78}{3406.65 \times 1.25} \times 100\%$$

$$\eta_d = 7.39 \%$$

ประสิทธิภาพรายวันของแผงติดตั้งฮีตปั๊

$$\eta_d = \frac{359.98}{3406.65 \times 1.25} \times 100\%$$

$$\eta_d = 8.45 \%$$



## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ชนกฤต ลาภวุฒิพจน์
วัน เดือน ปี เกิด	03 ตุลาคม 2540
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษา	วิทยาลัยเทคโนโลยีจิตรลดา
ที่อยู่ปัจจุบัน	8/218 ซ.ประชาอุทิศ 86 ถนนประชาอุทิศ เขตทุ่งครุ แขวงทุ่งครุ กรุงเทพมหานคร 10140



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY