

การประยุกต์ฮีทไปป์แบบแบนเพื่อใช้ระบายความร้อนจากแผงโซลาร์เซลล์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน (สหสาขาวิชา) สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัด

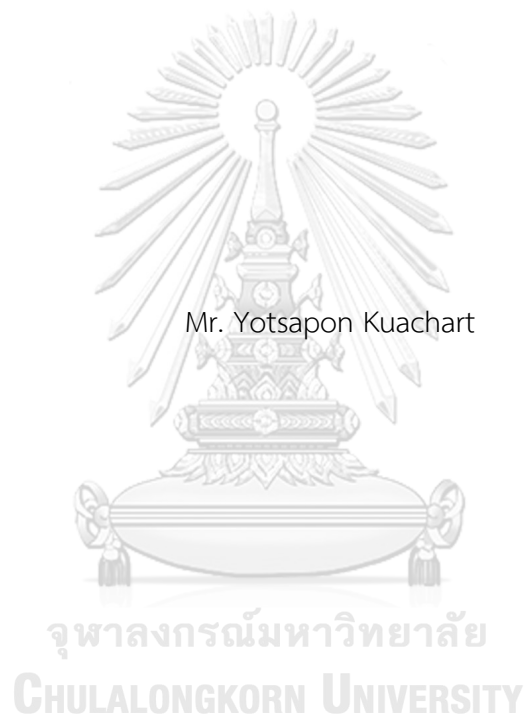
การพลังงาน

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2565

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Flat Heat Pipe Application on Solar Cell Cooling



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 2022

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์ฮีทไปป์แบบแบนเพื่อใช้ระบายความร้อนจากแผงโซลาร์เซลล์
โดย	นายยศพล เกื้อชาติ
สาขาวิชา	เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน (สหสาขาวิชา)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ

---

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

.....	คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.ยุทธนา ฉัพพรรณรัตน์)	
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	
.....	ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.พิชญ รัชฎาวงศ์)	
.....	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ)	
.....	กรรมการ
(ดร.วีรินทร์ หวังจิรนิรันดร์)	
.....	กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.อมรรัตน์ แก้วประดับ)	

ยศพล เกื้อชาติ : การประยุกต์ฮีทไปป์แบบแบนเพื่อใช้ระบายความร้อนจากแผงโซลาร์เซลล์. ( Flat Heat Pipe Application on Solar Cell Cooling) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ.ดร.วิทยา ยงเจริญ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการประยุกต์ฮีทไปป์แบบแบนเพื่อใช้ระบายความร้อนจากแผงโซลาร์เซลล์ โดยแผงโซลาร์เซลล์ที่ใช้เป็นแบบอะมอर्फัส (ฟิล์มบาง) ขนาดยาว 1.25 เมตร และกว้าง 1 เมตร พิกัดกำลังไฟฟ้า 140 วัตต์ ทดสอบที่อุณหภูมิมาตรฐาน 25 องศาเซลเซียส จนกระทั่งเมื่อนำแผงโซลาร์เซลล์ไปใช้งานจริงจะเกิดความร้อนสะสมทำให้แผงโซลาร์เซลล์มีอุณหภูมิสูงขึ้น ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ลดลง จึงเป็นเหตุให้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาในครั้งนี้เพื่อต้องการลดอุณหภูมิแผง และเพิ่มการผลิตกำลังไฟฟ้าให้สูงขึ้น โดยได้ทำการทดลองเปรียบเทียบแผงโซลาร์เซลล์แบบปกติกับแผงโซลาร์เซลล์ที่ติดตั้งฮีทไปป์แบบแบน ซึ่งฮีทไปป์เป็นท่อทองแดง ภายในท่อบรรจุwickแบบเกลียวทำหน้าที่ดูดของเหลวทำงานจากส่วนควบแน่นกลับไปยังส่วนระเหย โดยติดตั้งทั้งหมดจำนวน 7 ท่อ แต่ละท่อประกอบด้วยท่อแบนส่วนระเหย ต่อเชื่อมกับ ท่อกลมส่วนควบแน่น มีน้ำกลั่นบรรจุอยู่ภายในท่อ ท่อแบนส่วนระเหยจะยึดติดกับด้านหลังของแผงโซลาร์เซลล์ และมีซิลิโคนอยู่ระหว่างกลางเพื่อเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน ในการทดสอบได้วางแผงโซลาร์เซลล์ทั้งสองแผงให้ได้รับแสงอาทิตย์เท่ากันตลอดเวลา และได้บันทึกค่าพลังงานแสงอาทิตย์ กำลังไฟฟ้าและอุณหภูมิแผงโซลาร์เซลล์ของทั้ง 2 แผง และอุณหภูมิแวดล้อม การบันทึกค่าทำทุกเวลา 15 นาทีระหว่าง 11:30 น. ถึง 15:30 น. เป็นระยะเวลา 11 วัน ผลการทดสอบพบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยแผงโซลาร์เซลล์ปกติเท่ากับ 59.7 องศาเซลเซียส และผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 2,090 วัตต์-ชม. ตามลำดับ อุณหภูมิเฉลี่ยแผงโซลาร์เซลล์ติดตั้งฮีทไปป์เท่ากับ 57.3 องศาเซลเซียส และผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 2,340 วัตต์-ชม.ตามลำดับ โดยมีอุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ย 37.4 องศาเซลเซียส โดยสรุป แผงโซลาร์เซลล์ติดตั้งฮีทไปป์สามารถลดอุณหภูมิหลังแผงโซลาร์เซลล์ลงได้ 2.4 องศาเซลเซียส และผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้น 250 วัตต์-ชม. หรือ 12 % จากแผงโซลาร์เซลล์ปกติ

สาขาวิชา เทคโนโลยีและการจัด ลายมือชื่อนิสิต .....

การผลิตงาน (สหสาขาวิชา)

ปีการศึกษา 2565

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

# # 6380128020 : MAJOR ENERGY TECHNOLOGY AND MANAGEMENT

KEYWORD:

Yotsapon Kuachart : Flat Heat Pipe Application on Solar Cell Cooling.  
 Advisor: Assoc. Prof. Withaya Yongchareon, Ph.D.

The application of flat heat pipes on solar panel cooling was studied. The solar panels used in the test were amorphous type (thin film) of 1.25 m X 1 m size and the rated power was 140 watts at the standard temperature of 25 °C. However, when the solar panels were used in actual conditions, the solar panel temperature was higher due to accumulated heat. As a result, the power production was reduced. So the objective of this study was to reduce the solar panel temperature and to increase the power of generation by comparative testing between the normal solar panel and the solar panel equipped with flat heat pipes. The heat pipes were copper pipe with inner thread acting as a wick for pumping liquid from evaporator portion back to the condenser portion. The heat pipe of 7 units were used. Each heat pipe consisted of a flat evaporator portion jointed with a round condenser portion. The distilled water was used as the working fluid. The evaporator was attached to the back of the solar panel with the silicone in between as the heat transfer paste. In testing, the normal solar panel and the solar panel equipped with heat pipes were placed in the area where both panels received the same solar radiation at all time. The solar intensity, the temperature and power of both panels, and the ambient temperature were recorded at every 15 minute between 11:30 am and 15:30 pm for a period of 11 days. From the result. it was found that the temperature and electric energy of

Field of Study: Energy Technology and Student's Signature .....

Management

Academic Year: 2022

Advisor's Signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความกรุณาเป็นอย่างสูงจาก รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ให้คำแนะนำในการศึกษาค้นคว้าแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ สนับสนุนเครื่องมือ ข้อเสนอแนะในการจัดทำวิทยานิพนธ์ จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และคณะ วิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนพื้นที่ และอุปกรณ์สำหรับการวิจัยใน ครั้งนี้

ผู้วิจัยขอขอบคุณ บริษัท ทีพีไอโพลีน จำกัด (มหาชน) ที่มอบทุนสนับสนุนการศึกษาด้าน พลังงานตลอดหลักสูตรเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน คณะบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย

ผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะอาจารย์ประจำหลักสูตร เจ้าหน้าที่บริหารหลักสูตร และบริษัท กันกุล เอ็นจิเนียริง จำกัด (มหาชน) สำหรับการอนุเคราะห์แผงโซลาร์เซลล์อะมอร์ฟัส ชนิดบาง ขนาด 140 วัตต์ จำนวน 2 แผง

ท้ายนี้ขอขอบคุณครอบครัวเกื้อชาติ ที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจ รวมทั้งพี่ น้อง เพื่อน ร่วมหลักสูตรที่คอยช่วยเหลือในทุกๆด้าน ในการทำโครงการให้สำเร็จตามวัตถุประสงค์ทุกประการ ผู้วิจัย จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ยศพล เกื้อชาติ

## สารบัญ

	หน้า
.....	ค
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 สมมุติฐาน.....	2
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่จะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีสำคัญและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย.....	4
2.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์.....	5
2.2.1 ประเภทแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	5
2.2.2 ลักษณะการยึดและการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์.....	8
2.2.3 ความเข้มของแสงอาทิตย์.....	8
2.2.4 อุณหภูมิของแผงโซลาร์เซลล์.....	9

2.3 ฮีทไปป์ (Heat Pipe) .....	9
2.3.1 ทฤษฎีและหลักการทำงานของฮีทไปป์ (Heat Pipe).....	9
2.3.2 เลือกวัสดุที่เหมาะสมสำหรับทำฮีทไปป์ .....	10
2.3.3 โครงสร้าง Wick(Wick) ภายในท่อฮีทไปป์ .....	12
2.3.4 การเลือกของไหลทำงาน (Working fluid) .....	15
2.4 วัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์ .....	18
2.5 การคำนวณที่เกี่ยวข้อง .....	18
2.5.1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโซลาร์เซลล์ปกติ กับแผงที่ติดตั้งฮีทไปป์ .....	18
2.5.2 ความคุ้มค่าในการลงทุน .....	21
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	21
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย .....	24
3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ .....	25
3.1.1 อุปกรณ์ .....	25
3.1.2 เครื่องมือวัด .....	28
3.2 การวางแผนระบบ .....	28
3.3 ขั้นตอนการขึ้นรูปแม่พิมพ์กดอัดฮีทไปป์ส่วนระเหยแบบแบน .....	29
3.3.1 การออกแบบขนาดแม่พิมพ์กดอัดฮีทไปป์.....	29
3.3.2 ครีบอลูมิเนียมบาง .....	30
3.4 ขั้นตอนการทำฮีทไปป์และเติมของเหลวทำงาน (น้ำกลั่น).....	31
3.5 การทดสอบฮีทไปป์.....	33
3.6 การติดตั้งฮีทไปป์ร่วมกับแผงโซลาร์เซลล์.....	33
3.7 การทดสอบแผงโซลาร์เซลล์ที่ติดตั้งฮีทไปป์และไม่ติดตั้งฮีทไปป์ .....	34
บทที่ 4 ผลการวิจัย .....	34
4.1 ผลการทดสอบการทำงานของฮีทไปป์แบบแบน .....	34



4.2 ผลการผลิตกำลังไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์ .....	35
4.3 ผลการทดลองอุณหภูมิแผงโซลาร์เซลล์ .....	37
4.4 การหาความสัมพันธ์อุณหภูมิแผงโซลาร์เซลล์ที่ลดลงกับความเข้มแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิ อากาศภายนอก .....	39
4.5 ผลประสิทธิภาพพลังงานรายวันของแผงโซลาร์เซลล์แผงปกติและแผงติดตั้งฮีทปั๊ม .....	40
4.6 ความคุ้มค่าในการลงทุน .....	40
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ .....	41
บรรณานุกรม .....	10
ประวัติผู้เขียน .....	13



## สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 อธิบายค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันต่อปีควบคู่กับเปอร์เซ็นต์พื้นที่ทั้งหมดของประเทศไทยที่ได้รับรังสีในประเทศไทย .....	4
ตารางที่ 2 แสดงค่าการนำความร้อนของวัสดุที่ใช้ทำท่อฮีทไปป์ .....	11
ตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบการทำปฏิกิริยาระหว่างของเหลวทำงานกับวัสดุที่นำมาใช้ทำท่อ..	11
ตารางที่ 4 ค่า Merit Number (Liquid transport Factor) ของแต่ละของไหลทำงานในช่วงอุณหภูมิใช้งาน $-200^{\circ}\text{C}$ ถึง $1500 (^{\circ}\text{C})$ [14].....	16
ตารางที่ 5 แสดงไอน้ำอิ่มตัว Steam Table (Silverstein 1992) .....	17
ตารางที่ 6 พลังงานที่ผลิตได้ของแผงโซลาร์เซลล์ปกติ และแผงโซลาร์เซลล์ติดฮีทไปป์ .....	36
ตารางที่ 7 แสดงอุณหภูมิระหว่างแผงเซลล์แผงโซลาร์เซลล์ปกติและแผงโซลาร์เซลล์ติดฮีทไปป์ .....	38
ตารางที่ 8 แสดงข้อมูลอุณหภูมิที่ได้ทำการตรวจวัดในแต่ละท่อฮีทไปป์ .....	42
ตารางที่ 9 ข้อมูลแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า ขาเข้า(input) กับ แรงดันไฟฟ้า ขาออก (output) ของหลอดไฟฟ้า.....	45
ตารางที่ 10 แสดงข้อมูลแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า ขาเข้า(input) กับ แรงดันไฟฟ้า ขาออก (output) ของหลอดไฟแผงโซลาร์เซลล์ Experiment (ติดตั้งระบบฮีทไปป์) .....	1
ตารางที่ 11 แสดงการเก็บข้อมูลระหว่างแผงโซลาร์เซลล์ Standard (ไม่ติดตั้งฮีทไปป์)กับแผงโซลาร์เซลล์ Experiment (ติดตั้งฮีทไปป์) วันที่ 25 เมษายน 2565.....	1
ตารางที่ 12 แสดงการเก็บข้อมูลระหว่างแผงโซลาร์เซลล์ Standard (ไม่ติดตั้งฮีทไปป์)กับแผงโซลาร์เซลล์ Experiment (ติดตั้งฮีทไปป์) วันที่ 27 เมษายน 2565.....	2
ตารางที่ 13 แสดงการเก็บข้อมูลระหว่างแผงโซลาร์เซลล์ Standard (ไม่ติดตั้งฮีทไปป์)กับแผงโซลาร์เซลล์ Experiment (ติดตั้งฮีทไปป์) วันที่ 28 เมษายน 2565.....	3
ตารางที่ 14 แสดงการเก็บข้อมูลระหว่างแผงโซลาร์เซลล์ Standard (ไม่ติดตั้งฮีทไปป์)กับแผงโซลาร์เซลล์ Experiment (ติดตั้งฮีทไปป์) วันที่ 29 เมษายน 2565.....	4

ตารางที่ 15 แสดงการเก็บข้อมูลระหว่างแผงโซลาร์เซลล์ Standard (ไม่ติดตั้งฮีทไปป์)กับแผงโซลาร์เซลล์ Experiment (ติดตั้งฮีทไปป์) วันที่ 30 เมษายน 2565.....	5
ตารางที่ 16 แสดงการเก็บข้อมูลระหว่างแผงโซลาร์เซลล์ Standard (ไม่ติดตั้งฮีทไปป์)กับแผงโซลาร์เซลล์ Experiment (ติดตั้งฮีทไปป์) วันที่ 1 พฤษภาคม 2565 .....	6
ตารางที่ 17 แสดงการเก็บข้อมูลระหว่างแผงโซลาร์เซลล์ Standard (ไม่ติดตั้งฮีทไปป์)กับแผงโซลาร์เซลล์ Experiment (ติดตั้งฮีทไปป์) วันที่ 2 พฤษภาคม 2565 .....	7
ตารางที่ 18 แสดงการเก็บข้อมูลระหว่างแผงโซลาร์เซลล์ Standard (ไม่ติดตั้งฮีทไปป์)กับแผงโซลาร์เซลล์ Experiment (ติดตั้งฮีทไปป์) วันที่ 5 พฤษภาคม 2565 .....	8
ตารางที่ 19 แสดงการเก็บข้อมูลระหว่างแผงโซลาร์เซลล์ Standard (ไม่ติดตั้งฮีทไปป์)กับแผงโซลาร์เซลล์ Experiment (ติดตั้งฮีทไปป์) วันที่ 6 พฤษภาคม 2565 .....	9
ตารางที่ 20 แสดงการเก็บข้อมูลระหว่างแผงโซลาร์เซลล์ Standard (ไม่ติดตั้งฮีทไปป์)กับแผงโซลาร์เซลล์ Experiment (ติดตั้งฮีทไปป์) วันที่ 8 พฤษภาคม 2565 .....	10
ตารางที่ 21 แสดงการเก็บข้อมูลระหว่างแผงโซลาร์เซลล์ Standard (ไม่ติดตั้งฮีทไปป์)กับแผงโซลาร์เซลล์ Experiment (ติดตั้งฮีทไปป์) วันที่ 9 พฤษภาคม 2565 .....	11
ตารางที่ 22 ตัวอย่างชุดข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์(input) และพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (output) ระหว่างแผงโซลาร์เซลล์ปกติ กับโซลาร์เซลล์ติดตั้งฮีทไปป์ ของวันที่ 6 พ.ค 2565.....	3

## สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1 ภาพแสดงแผนที่ศักยภาพพระดับความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดปีของประเทศ ไทย ในหน่วยเมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน (MJ/m <sup>2</sup> /day).....	5
รูปที่ 2 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์ .....	6
รูปที่ 3 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิคอนโพลีคริสตัลไลน์.....	7
รูปที่ 4 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบาง.....	7
รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ของกระแสกับแรงดันไฟฟ้า ของแผงโซลาร์เซลล์ที่ความเข้มของแสงที่ต่างกัน ...	9
รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ของกระแสกับแรงดันไฟฟ้า ที่อุณหภูมิแผงโซลาร์เซลล์แตกต่างกัน .....	9
รูปที่ 7 แสดงกระบวนการทำงานของฮีทไปป์ (Heat Pipe).....	10
รูปที่ 8 ภาพแสดงวิก(wick) แบบร่อง (Grooved wick) ภายในท่อทองแดง.....	13
รูปที่ 9 ภาพแสดงวิก(wick) แบบตาข่าย (mesh wick) ภายในท่อทองแดง.....	14
รูปที่ 10 ภาพแสดงวิก(wick) แบบผงอัด (Sintered powder wick) ภายในท่อทองแดง .....	14
รูปที่ 11 ค่า Liquid transport Factor หรือ Merit Number (kW/m <sup>2</sup> ) ของของไหลต่างๆ.....	16
รูปที่ 12 กราฟเปรียบเทียบระหว่างความร้อนแฝงของน้ำกับอุณหภูมิ(ก) และ แรงดึงผิวของน้ำกับ อุณหภูมิ(ข).....	17
รูปที่ 13 กราฟการกระจายข้อมูลของกำลังไฟฟ้า(ก) และความเข้มแสงอาทิตย์รายวัน (ข).....	20
รูปที่ 14 แผงโซลาร์เซลล์ที่ใช้ทดสอบ รุ่น SF 140-L แบบอะมอर्फัส ฟิล์มบาง ขนาด 140 วัตต์ .....	25
รูปที่ 15 แสดงท่อฮีทไปป์ทองแดงหน้าตัดกลมมีเกลียวภายใน (ก) และลักษณะเกลียวภายในท่อฮีท ไปป์เมื่อคลี่เป็นแผ่น(ข) .....	26
รูปที่ 16 แผงระบายความร้อนส่วนควบแน่นอัดติดกับครีบอลูมิเนียมกับท่อฮีทไปป์ขนาด 4 หุนจำนวน 7 ท่อ .....	27
รูปที่ 17 แสดงวาล์วรูปตัวที ใช้สำหรับทำสุญญากาศและเติมของเหลวทำงานเข้าท่อฮีทไปป์.....	27

รูปที่ 18 แสดงสารนำความร้อนที่ใช้พาความร้อนระหว่างแผงโซลาร์เซลล์ไปยังท่อฮีทไปป์ส่วนระเหย .....	28
รูปที่ 19 แสดงภาพจำลองลักษณะรูปร่างการยุบตัวของชิ้นงานทดสอบการกดด้วยเครื่องไฮโดรลิก .	29
รูปที่ 20 แสดงขึ้นรูปแม่พิมพ์เหล็กด้วยเครื่องกัดที่ใช้ในการกดอัดอลูมิเนียม(ก) และแสดงขึ้นหน้าตัดชิ้นทดสอบของท่อฮีทไปป์ 1, 1.5, 2, 2.5 เรียงจากซ้ายไปขวา (ข).....	30
รูปที่ 21 แม่พิมพ์อัดครีบอลูมิเนียมบางเพื่อช่วยระบายความร้อน และยึดท่อฮีทไปป์ให้ติดกับหลังแผงโซลาร์เซลล์ .....	30
รูปที่ 22 แสดงการดูความชื้นภายในระบบและเติมน้ำกลั่น เข้าในท่อฮีทไปป์ .....	32
รูปที่ 23 การใช้แม่พิมพ์กดอัดท่อฮีทไปป์ทองแดง 3 หนุ่ บริเวณส่วนระเหย .....	33
รูปที่ 24 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับให้ความร้อน และแสดงข้อมูลอุณหภูมิ(ก) และภาพรวมการทดสอบการทำงานของท่อฮีทไปป์ (ข) .....	33
รูปที่ 25 การติดตั้งครีบอลูมิเนียมบางระหว่างท่อฮีทไปป์กับหลังแผงโซลาร์เซลล์.....	34
รูปที่ 26 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์เครื่องมือวัดสำหรับเก็บข้อมูลของแผงโซลาร์เซลล์ติดตั้งฮีทไปป์(ก) และการเปรียบเทียบระหว่างโซลาร์เซลล์ไม่ติดตั้งฮีทไปป์กับติดตั้งฮีทไปป์(ข) .....	34
รูปที่ 27 กราฟแสดงการทำงานของท่อฮีทไปป์ ทั้ง 3 ช่วง .....	35
รูปที่ 28 กราฟแสดงกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงโซลาร์เซลล์ปกติกับแผงโซลาร์เซลล์ติดตั้งฮีทไปป์ .	36
รูปที่ 29 กราฟอุณหภูมิการทำงานของฮีทไปป์ที่ติดตั้งกับแผงโซลาร์เซลล์ .....	37
รูปที่ 30 การเปรียบเทียบอุณหภูมิแผงโซลาร์เซลล์ปกติ กับแผงโซลาร์เซลล์ติดฮีทไปป์.....	38
รูปที่ 31 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงอาทิตย์กับผลต่างอุณหภูมิแผงโซลาร์เซลล์ .....	39
รูปที่ 32 ความสัมพันธ์ระหว่าง ผลต่างอุณหภูมิแผงโซลาร์เซลล์กับอุณหภูมิอากาศโดยรอบ.....	39
รูปที่ 33 ไดอะแกรมการทดสอบหลอดไฟฟ้า .....	45
รูปที่ 34 แสดงเปรียบเทียบกราฟระหว่างกำลังไฟฟ้าขาเข้า (W) กับ แรงดันไฟฟ้าขาออก (V) สำหรับหลอดไฟที่เป็นโหลดของแผงโซลาร์เซลล์ปกติ .....	46
รูปที่ 35 แสดงเปรียบเทียบกราฟระหว่างกำลังไฟฟ้าขาเข้า (W) กับ แรงดันไฟฟ้าขาออก (V) สำหรับหลอดไฟที่เป็นโหลดของแผงโซลาร์เซลล์ติดตั้งฮีทไปป์ .....	1



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในหลายอุตสาหกรรมได้พึ่งพาการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการผลิต ซึ่งเกิดจากการเผาเชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน และน้ำมัน ที่ส่งผลกระทบต่อชั้นบรรยากาศจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจก แต่อย่างไรก็ตามสิ่งที่จะมาทดแทนพลังงานเหล่านี้ คงหนีไม่พ้นพลังงานจากธรรมชาติ อย่างเช่นพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานสะอาด ไม่ก่อมลภาวะ ช่วยชะลอการใช้ทรัพยากรฟอสซิล สามารถลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงจำนวนมากในแต่ละปี เนื่องจากประเทศไทยอยู่ใกล้บริเวณเส้นศูนย์สูตร มีศักยภาพในการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาผลิตพลังงานสูงถึง 5 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน ( $\text{kWh}/\text{m}^2/\text{day}$ ) หรือค่าเฉลี่ยความเข้มของรังสีอาทิตย์ในทุกพื้นที่เท่ากับ 18 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน ( $\text{MJ}/\text{m}^2/\text{day}$ ) [1] โดยทั่วไปค่าประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์อ้างอิงจากผู้ผลิตที่อุณหภูมิใช้งาน 25 องศาเซลเซียส แต่อย่างไรก็ตามอุณหภูมิสูงขึ้น ทุกๆ 1 องศาเซลเซียส จะมีผลต่อแรงดันไฟฟ้าลดลงร้อยละ 0.4 ดังนั้นอุณหภูมิโซลาร์เซลล์ทำงานจริงอยู่ที่ประมาณ 50-60 องศาเซลเซียส จะมีผลต่อแรงดันไฟฟ้าลดลงประมาณ 10-15 % [2] จากปัญหาความร้อนของแผงโซลาร์เซลล์ข้างต้นจึงทำให้นักวิจัย ทำการศึกษา หาแนวทางการลดอุณหภูมิของแผงโซลาร์เซลล์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์ โดยสามารถแบ่งออกเป็น 2 ระบบ คือ ระบบใช้พลังงานในการลดอุณหภูมิ (Active cooling system) และระบบไม่ใช้พลังงานในการลดอุณหภูมิ (Passive cooling system) [3] ระบบใช้พลังงานในการลดอุณหภูมิแผง เช่น การระบายความร้อนด้วยของเหลว (พ่นสเปย์น้ำ) หรือการระบายความร้อนด้วยอากาศ (พัดลมเป่า) ซึ่งต้องการพลังงานภายนอกมากระทำเพื่อให้เกิดการทำงานของระบบระบายความร้อน จากการสำรวจพบว่า มีผู้วิจัยที่ใช้อากาศระบายความร้อนจากแผงโซลาร์เซลล์ที่ติดตั้งระบบระบายความร้อนด้วยอากาศหลังแผงโซลาร์เซลล์ โดยการติดตั้งพัดลมระบายอากาศ 10 ตัว และช่องระบายอากาศ 16 ครีบ สามารถลดอุณหภูมิแผงโซลาร์เซลล์ได้ 9.6 องศาเซลเซียส หรือ 15.8 % และกำลังการผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 21W หรือ 11.5 % [2] และผู้วิจัยที่ใช้การระบายความร้อนด้วยของเหลว (พ่นสเปย์น้ำ) โดยติดตั้งระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ 2 รูปแบบ คือ ระบายความร้อนด้านหน้าแผงลดอุณหภูมิได้ถึง 20 องศาเซลเซียสหรือ 42% ทำให้เพิ่มกำลังไฟฟ้า 7.9% และระบบระบายความร้อนด้านหลังแผงลดอุณหภูมิแผงลดอุณหภูมิ 12.8 องศาเซลเซียสหรือ 26%ทำให้เพิ่ม

กำลังไฟฟ้า 4.3% เทียบกับอุณหภูมิแฝงปกติ รูปแบบการระบายความร้อนด้านหน้าของแผงสามารถลดอุณหภูมิได้ดีที่สุด แต่อาจสูญเสียปริมาณน้ำหล่อเย็นบางส่วนจากการระเหย และพลังงานไฟฟ้าให้แก่ระบบ แต่อย่างไรก็ตามยังมีอีกหนึ่งวิธีที่น่าสนใจกล่าวคือ ไม่ต้องใช้พลังงานภายนอกใส่เข้าไปในระบบระบายความร้อนนั้นคือการใช้ท่อฮีทไปป์ในการแลกเปลี่ยนความร้อน ในปัจจุบันฮีทไปป์นิยมใช้ระบายความร้อนกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากมีประสิทธิภาพการนำความร้อน (Effective thermal conductivity,  $k_{eff}$ ) สูง หรือต้านทานความร้อน ( $R_{th}$ ) ต่ำ [4] จึงเป็นอุปกรณ์ระบายความร้อนที่น่าสนใจที่นำมาต่อยอดใช้กับแผงโซลาร์เซลล์ ต่อมาผู้วิจัยก่อนหน้า [5] ได้เปรียบเทียบสมรรถนะทางความร้อนระหว่างท่อหน้าตัดกลมกับท่อหน้าตัดแบนพบว่า ช่วยลดอุณหภูมิแผงได้ 1.44 องศาเซลเซียสหรือร้อยละ 2.7 และผลิตพลังงานได้มากกว่าแผงปกติ 22 kWh หรือร้อยละ 11.3 % แต่การติดตั้งท่อฮีทไปป์ร่วมกับแผงโซลาร์เซลล์นั้นจะใช้ฮีทไปป์หน้าตัดวงกลม ทำให้ยังคงมีอุปสรรคของพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างท่อฮีทไปป์กับแผงโซลาร์เซลล์ทำให้ความร้อนที่ถ่ายเทจากแผงโซลาร์เซลล์ไปยังท่อฮีทไปป์ไม่เต็มประสิทธิภาพ และเมื่ออุณหภูมิสิ่งแวดล้อมต่ำกว่า 55 องศาเซลเซียส อัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อหน้าตัดแบน จะสูงกว่าหน้าตัดกลม [6] ทั้งนี้ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาการประยุกต์ใช้ท่อฮีทไปป์เพื่อระบายความร้อนแผงโซลาร์เซลล์และปรับปรุงแก้ไขท่อฮีทไปป์ทองแดงเป็นแบบหน้าตัดแบน เพิ่มพื้นที่หน้าสัมผัสในการถ่ายเทความร้อนกับหลังแผงโซลาร์เซลล์มากขึ้น เพื่อเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะเพิ่มประสิทธิภาพกำลังไฟฟ้าให้กับแผงโซลาร์เซลล์ โดยท่อฮีทไปป์แบบแบนสำเร็จรูปไม่มีในท้องตลาดจะต้องนำเข้ามาในประเทศจีน รวมทั้งความยาวสูงสุดที่ประเทศจีนผลิตอยู่ที่ 0.4 เมตร ซึ่งมีความยาวที่ไม่เพียงพอต่อการติดตั้งหลังแผงโซลาร์เซลล์ที่ใช้ทดสอบเนื่องจากมีความยาวจะอยู่ที่ 1.25 เมตร จึงทำให้ต้องกัดอัดท่อฮีทไปป์หน้าตัดกลมให้กลายเป็นหน้าตัดแบน

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาการลดอุณหภูมิแผงโซลาร์เซลล์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตกำลังไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์ โดยใช้ท่อฮีทไปป์ทองแดงขึ้นรูปเป็นแบบแบน (Flatten)

## 1.3 สมมุติฐาน

พื้นที่ผิวสัมผัสของท่อทองแดงที่เพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนของแผงโซลาร์เซลล์ได้ดีขึ้น ส่งผลให้อุณหภูมิแผงลดลงและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตกำลังไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์



#### 1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1.4.1 ทดสอบแผงโซลาร์เซลล์อะมอฟส ชนิดThin fin รุ่น SF-140L ขนาด140 วัตต์ โดยทำการติดตั้งแผงบนดาดฟ้าของอาคาร แผงหันหน้าไปทางทิศใต้ทำมุม 15 องศากับแนวระดับ

1.4.2 ฮีทไปป์ (Heat Pipe) วัสดุทองแดงขึ้นรูปแบบแบน จากเดิมเป็นหน้าตัดวงกลม เส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่า 3 หุน แบบร่อง (Grooved wick) ใช้ทั้งหมด 7 ท่อ

1.4.3 ใช้ของเหลวใช้งาน (Working fluid) เป็นน้ำกลั่น เดิมในท่อฮีทไปป์

1.4.4 ดำเนินการทดสอบ 11 วัน โดยทดสอบตั้งแต่เวลา 11.30 – 15.30 น.

1.4.5 เก็บข้อมูลทุกๆ 15 นาที (ความเข้มรังสี, อุณหภูมิท่อทองแดง, อุณหภูมิแผงโซลาร์เซลล์, อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม กำลังไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์)

#### 1.5 ประโยชน์ที่จะได้รับ

1. เพื่อลดอุณหภูมิและเพิ่มประสิทธิภาพให้กับแผงโซลาร์เซลล์ โดยการประยุกต์ใช้ฮีทไปป์แบบแบน

2. เป็นแนวทางในการศึกษาและพัฒนาการประยุกต์ใช้ฮีทไปป์แบบแบนกับแผงโซลาร์เซลล์



## บทที่ 2

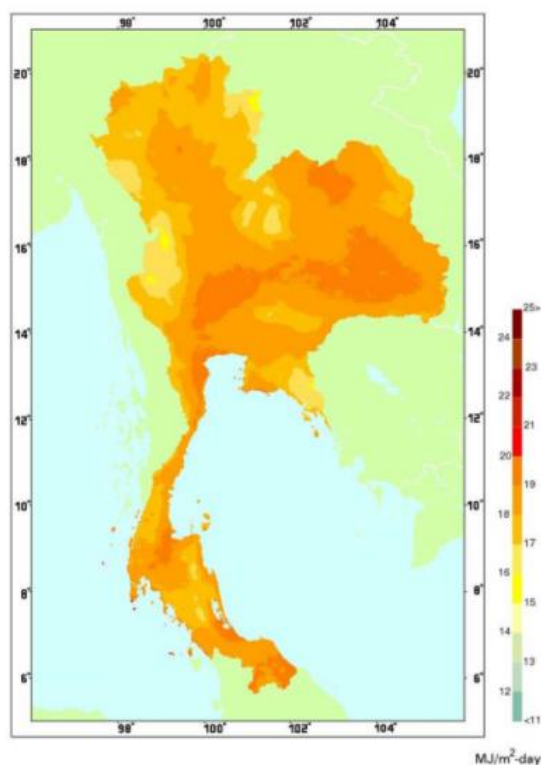
### ทฤษฎีสำคัญและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย

พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานถือเป็นหนึ่งในพลังงานหมุนเวียนจากธรรมชาติที่มีความยั่งยืน และปราศจากเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ในปัจจุบันได้มีการสำรวจติดตั้งเครื่องมือวัด ศึกษา และรวบรวมข้อมูลค่าพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดทั้งปีพบว่าในประเทศไทยมีศักยภาพในการนำพลังงานแสงอาทิตย์ ในการผลิตพลังงานสูงถึง 5 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน (kWh/m<sup>2</sup>/day) หรือค่าเฉลี่ยความเข้มของรังสีอาทิตย์ในทุกพื้นที่เท่ากับ 18 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน (MJ/m<sup>2</sup>/day) ดังรูปที่ 1 อยู่ในอันดับ 5 ของโลก [1] โดยบริเวณที่มีศักยภาพความเข้มของรังสีอาทิตย์สูงสุด คือ ตอนล่างของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่จังหวัดนครราชสีมา บุรีรัมย์ สุรินทร์ ศรีสะเกษ ร้อยเอ็ด ยโสธร อุบลราชธานี และตอนบนของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดอุดรธานี รวมทั้งบางส่วนของภาคกลาง 50% ของพื้นที่ ได้แก่จังหวัดสุพรรณบุรี ชัยนาท อุดรธานี และลพบุรี มีค่าเฉลี่ยความเข้มของรังสีในช่วง 19-20 เมกะจูล/ตารางเมตร-วัน (MJ/m<sup>2</sup>/day) คิดเป็น 14.3 % ของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศไทย [7] ดังตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** อธิบายค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันต่อปีควบคู่กับเปอร์เซ็นต์พื้นที่ทั้งหมดของประเทศไทยที่ได้รับรังสีในประเทศไทย

ช่วงความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ รายวันเฉลี่ยต่อปี (MJ/m <sup>2</sup> /day)	พื้นที่ที่ได้รับรังสีเมื่อเทียบกับพื้นที่ทั้งหมดของประเทศไทย (%)
15-16	0.5 %
16-17	7.1 %
17-18	27.9 %
18-19	50.2 %
19-20	14.3 %



**รูปที่ 1** ภาพแสดงแผนที่ศักยภาพระดับความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดปีของประเทศไทย ในหน่วยเมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน (MJ/m<sup>2</sup>/day)

(ที่มา : <http://www2.dede.go.th/solarmap/fullmapyear.html>) [1]

## 2.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์

รังสีแสงอาทิตย์ประกอบด้วยสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่น 0.3 ถึง 3 ไมโครเมตร ซึ่งแผงโซลาร์เซลล์แต่ละชนิดตอบสนองต่อสเปกตรัมได้แตกต่างกัน ดังนั้นต้องพิจารณาการเลือกใช้ งานตามลักษณะของโซลาร์เซลล์ชนิดต่างๆ [8]

### 2.2.1 ประเภทแผงเซลล์แสงอาทิตย์

- แบบโมโนคริสตัลไลน์ Monocrystalline (Mono c-Si PV)

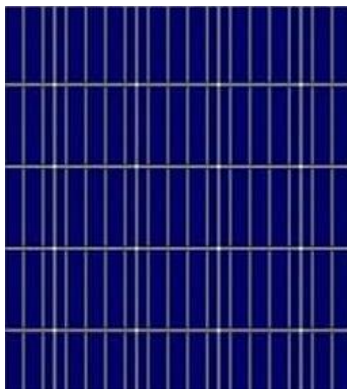
ทำจากซิลิคอนมีความบริสุทธิ์สูง ทำให้ได้แผงโซลาร์เซลล์ที่มีประสิทธิภาพสูง อยู่ที่ 15-20% มีการเสียพื้นที่บางส่วนระหว่างเซลล์เมื่อนำมาประกอบเป็นแผงโซลาร์เซลล์ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์

ข้อดี	ข้อเสีย
ประสิทธิภาพสูง ร้อยละ 15-20 เนื่องจากทำจากซิลิคอนเกรดสูงสุด	มีราคาสูง
ประหยัดพื้นที่ เนื่องจากผลิตไฟฟ้ามากถึง 4 เท่าของแผงโซลาร์เซลล์แบบฟิล์มบาง(พื้นที่เท่ากัน)	ส่วนมากจะต้องวงจรแบบอนุกรม เมื่อมีเงาหรือฝุ่น บดบังเกิดแค่บางส่วนทำในกระแสไฟฟ้าในระบบหยุดไหล ต้องติดตั้งไมโครอินเวอร์เตอร์ ทำให้แผงอื่นยังสามารถใช้งานได้
มีอายุการใช้งานนานที่สุด 25 ปี	กระบวนการดึงผลึกซิลิคอน ในการผลิตโมโนคริสตัลไลน์ ส่งผลให้เกิดแท่งทรงกระบอกขนาดใหญ่ ด้านทั้งสี่ถูกตัดออกเพื่อสร้างแผ่นเวเฟอร์ซิลิคอนซิลิคอนส่วนที่เหลือจะเป็นขยะจำนวนมาก
ทำงานได้ดีกว่าแบบโพลีคริสตัลไลน์ ในสภาวะแสงน้อย	

- แบบซิลิคอนโพลีคริสตัลไลน์ Polycrystalline (Poly c-Si PV)  
แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิคอนโพลีคริสตัลไลน์ ดังรูปที่ 3 จะมีประสิทธิภาพรองลงมาจากแบบโมโนคริสตัลไลน์ ประสิทธิภาพอยู่ที่ 10 – 15 %

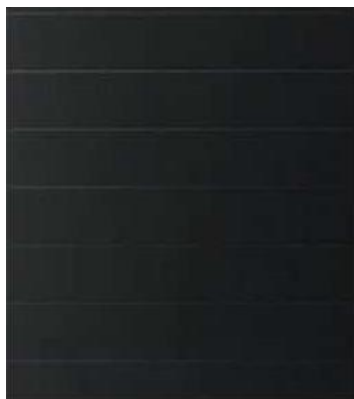


**รูปที่ 3** แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิคอนโพลีคริสตัลไลน์

ข้อดี	ข้อเสีย
ผลิตง่ายกว่า ค่าใช้จ่ายน้อยกว่า และเสียปริมาณซิลิคอนน้อยกว่าแบบโมโนคริสตัลไลน์	ประสิทธิภาพอยู่ที่ร้อยละ 10-15 เนื่องจากความบริสุทธิ์ของซิลิคอนที่ต่ำกว่าแบบโมโนคริสตัลไลน์
ความคลาดเคลื่อนความร้อนที่น้อยกว่า แบบโมโนคริสตัลไลน์	ใช้พื้นที่มากกว่า เมื่อเทียบกับแบบโมโนคริสตัลไลน์

➤ **แบบอะมอร์ฟิสฟิล์มบาง (Thin film)**

แตกต่างจากแบบโมโนคริสตัลไลน์ และแบบโพลีคริสตัลไลน์กล่าวคือ การผลิตแบบฟิล์มบางจะไม่ได้ใช้การเลื่อยซิลิคอนก้อนใหญ่ๆ แต่จะเป็นการพ่นซิลิคอนลงฟิล์ม เซลล์ที่ผลิตจากอะมอร์ฟิสซิลิคอนที่ไม่เป็นรูปผลึก(a-Si) แคดเมียมเทลลูไรด์ (CdTe) และคอปเปอร์อินเดียมไดเซเลไนด์ (CIGS) ใช้พื้นที่มากกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนหรือโพลีคริสตัลไม่เหมาะสำหรับครัวเรือนส่วนใหญ่ ประสิทธิภาพอยู่ที่ 6-10 % ดังรูปที่ 4



**รูปที่ 4** แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบาง

ข้อดี	ข้อเสีย
-------	---------

ผลิตง่ายได้จำนวนมาก ราคาถูก	ประสิทธิภาพเพียงครึ่งหนึ่งของแผงแบบผลึก (ใช้พื้นที่บนหลังคาสองเท่า)
กำลังไฟฟ้าได้รับผลกระทบน้อยจากอุณหภูมิที่สูง	กระบวนการผลิตที่เป็นพิษมากขึ้น
ปรับรูปทรงโค้งงอได้	ราคาถูก
ทำงานได้ในสภาพแสงน้อย	
หากมีเงาบดบังบางส่วนจะผลิตพลังงานได้ลดลงน้อยกว่าแผงผลึก	

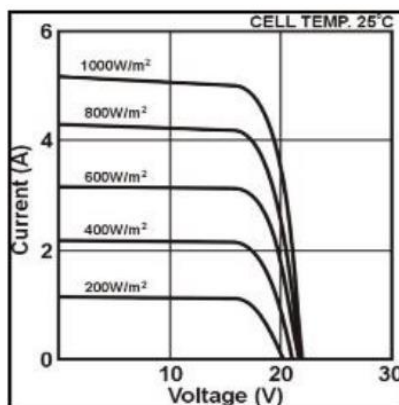
ในการทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเพิ่มขึ้นกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ระหว่างแผงโซลาร์เซลล์ติดตั้งชี้ไปแบบแบน กับแผงโซลาร์เซลล์ปกติ ต้องโซลาร์เซลล์แบบเดียวกัน จากชนิดของโซลาร์เซลล์ข้างต้นผู้วิจัยเลือกชนิดโซลาร์เซลล์แบบอะมอฟสฟิล์มบาง เนื่องจากมีราคาถูก

### 2.2.2 ลักษณะการยึดและการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์

ประเทศไทยตั้งอยู่ซีกโลกเหนือ ทำให้ดวงอาทิตย์เคลื่อนที่จากทิศตะวันออกไปสู่ทิศตะวันตก โดยเคลื่อนตัวอ้อมได้ ดังนั้นควรหันหน้าแผงไปทางทิศใต้ ทำมุม 15-20 องศากับพื้นดิน เพื่อให้ทำมุมตั้งฉากกับแสงอาทิตย์

### 2.2.3 ความเข้มของแสงอาทิตย์

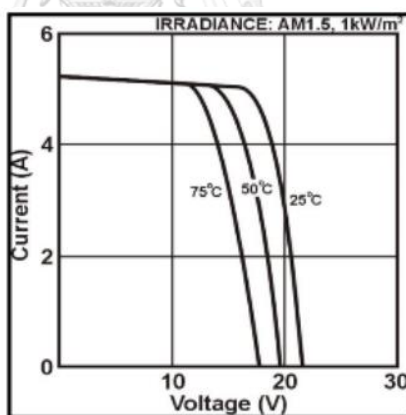
ความเข้มของแสงแปรผันตรงกับกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ กล่าวคือ ถ้าความเข้มแสงอาทิตย์สูง กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้สูงขึ้น แต่แรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้จะไม่แปรผันตามความเข้มแสงมากนัก ดังรูปที่ 5 โดยค่ามาตรฐาน (STC, Standard Test Conditions) ความเข้มของแสงที่ใช้ทดสอบแผงโซลาร์เซลล์ บนพื้นโลกในสภาพอากาศปลอดโปร่ง ไม่มีเมฆหมอก และวัดในสภาพที่แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นโลก มีความเข้มมีค่าเท่ากับ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร ที่ Air Mass 1.5 หากแสงอาทิตย์ทำมุม 60 องศากับพื้นโลก ค่าความเข้มแสงอยู่ที่ 750 วัตต์ต่อตารางเมตร มีค่า Air Mass 2 [8]



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ของกระแสกับแรงดันไฟฟ้า ของแผงโซลาร์เซลล์ที่ความเข้มของแสงที่ต่างกัน

### 2.2.4 อุณหภูมิของแผงโซลาร์เซลล์

อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญต่อประสิทธิภาพการผลิตกำลังไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า (Current) ไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ แต่แรงดันไฟฟ้า (โวลต์) จะต่ำลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยเฉลี่ยแล้วทุกๆ 1 องศาที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าลดลง 0.4 % ดังรูปที่ 6 หากอุณหภูมิของแผงโซลาร์เซลล์ยิ่งสูง จะทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตกำลังไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์ลดลง [8]



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ของกระแสกับแรงดันไฟฟ้า ที่อุณหภูมิแผงโซลาร์เซลล์แตกต่างกัน

## 2.3 ฮีทไปป์ (Heat Pipe)

### 2.3.1 ทฤษฎีและหลักการทำงานของฮีทไปป์ (Heat Pipe)

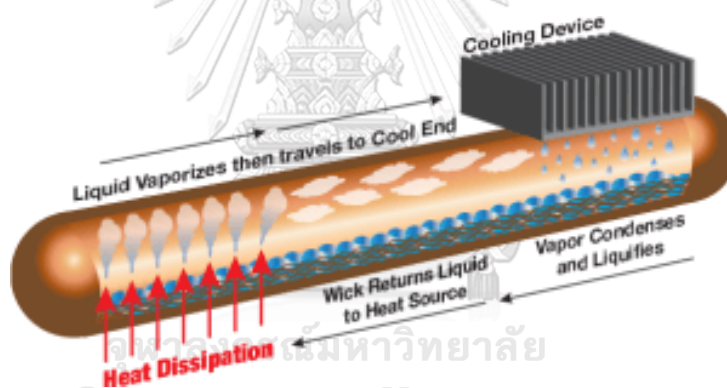
ฮีทไปป์ เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน โดยใช้ทฤษฎี Capillary Effect ด้วย Heat flux ที่สูงมากภายใต้ผลต่างของอุณหภูมิที่น้อย ลักษณะของฮีทไปป์เป็นท่อปิดผลึกบรรจุของเหลวใช้งาน (Working fluid) (ไม่มีก๊าซอื่นเหลืออยู่) มีวัสดุพอรัน (Wick) มีลักษณะเหมือนฟองน้ำรอบผิวภายใน

ท่อ ทำหน้าที่ดูดซับของเหลวจากการควบแน่น โดยมีหลักการทำงานแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนดังนี้ ดังรูปที่ 7

ส่วนระเหย (Evaporation Section) ความร้อนจากสิ่งแวดล้อมภายนอกท่อถ่ายเทสู่ท่อฮีทไปป์(Heat pipe) ส่งผลให้ของเหลวทำงาน (Working fluid) เกิดการระเหยกลายเป็นไอ สร้างแรงดันไอเคลื่อนที่ไปยังส่วนคอนเดนเซอร์ (Condenser Section)

ส่วนไม่มีการสูญเสียความร้อน (Adiabatic Section) ( $q=0$ ) ไอระเหยเคลื่อนที่จากส่วนระเหย (Evaporation Section) ไปยังส่วนคอนเดนเซอร์ (Condenser Section) ซึ่งมีที่ความดันต่ำลง ส่งผลให้อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงลดลงเล็กน้อย

ส่วนคอนเดนเซอร์ (Condenser Section) เกิดการควบแน่นกลายเป็นของเหลว เนื่องจากสูญเสียความร้อนแฝงจากการถ่ายเทความร้อนไปยังครีป (Fin type) ทำหน้าที่แผ่รังสีความร้อนให้สัมผัสกับลมเกิดการควบแน่นกลายเป็นน้ำซึมผ่านรูพรุน(Wick) ไหลลงมาตามแรงโน้มถ่วงของโลกสู่ส่วนระเหย (Evaporation Section) ตามเดิมวนเป็นวัฏจักร



รูปที่ 7 แสดงกระบวนการทำงานของฮีทไปป์ (Heat Pipe)

นอกจากต้นทุนของฮีทไปป์แล้วยังมีปัจจัยอื่นที่ต้องคำนึงถึง คือ วัสดุที่เหมาะสมสำหรับทำท่อฮีทไปป์ ประเภทของวิกภายในผิวท่อฮีทไปป์ และการเลือกของเหลวทำงานให้เหมาะสมกับที่ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ทำงาน

### 2.3.2 เลือกวัสดุที่เหมาะสมสำหรับทำท่อฮีทไปป์

ท่อฮีทไปป์ แบ่งแยกระหว่างของไหลที่อยู่ภายในท่อกับของไหลที่อยู่ภายนอกท่อ ดังนั้นจึงต้องป้องกันการรั่วซึม เพื่อรักษาความแตกต่างของความดันตลอดผนังท่อ จึงทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าและออกจากของเหลวทำงาน โดยการเลือกวัสดุที่จะนำมาทำท่อฮีทไปป์ต้องพิจารณาคุณสมบัติต่อไปนี้



1) การนำความร้อนของวัสดุที่ใช้ทำท่อ

การเลือกวัสดุที่ใช้ทำท่อฮีทไปป์ โดยเลือกจากค่าการนำความร้อน (K, Thermal conductivity หน่วย  $W/m\ ^\circ C$ ) ค่าการนำความร้อนของทองแดงมีค่าสูงสุด รองลงมาคืออลูมิเนียม เหมาะสำหรับนำมาใช้ในการถ่ายโอนความร้อนให้กับแผงโซลาร์เซลล์ ส่วนค่าการนำความร้อนต่ำสุดคือ สแตนเลสสตีล (type 304) [9] ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงค่าการนำความร้อนของวัสดุที่ใช้ทำท่อฮีทไปป์

วัสดุทำท่อฮีทไปป์	ค่าการนำความร้อน ( $W/m\ ^\circ C$ )
อลูมิเนียม	205
ทองแดง ( $0-100^\circ C$ )	394
เหล็กกล้าคาร์บอน	45
นิกเกิล ( $0-100^\circ C$ )	88
สแตนเลสสตีล (type 304)	17.3

การเลือกวัสดุที่ใช้ทำท่อฮีทไปป์ จากตารางข้างต้นจะเห็นได้ว่าคุณค่าการนำความร้อนของทองแดงมีค่าสูงสุด คือ  $394\ W/m\ ^\circ C$  ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกมาใช้ในการถ่ายโอนความร้อนให้กับแผงโซลาร์เซลล์

2) การทำปฏิกิริยาระหว่างของเหลวทำงานกับวัสดุที่นำมาใช้ทำท่อฮีทไปป์ (Heat pipe)

การเลือกวัสดุทำท่อฮีทไปป์ จะต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมระหว่างท่อกับของเหลวทำงาน (Working fluid) สามารถพิจารณาได้ดังตารางที่ 3 [10]

ตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบการทำปฏิกิริยาระหว่างของเหลวทำงานกับวัสดุที่นำมาใช้ทำท่อ

ของเหลวทำงาน	วัสดุที่นำมาใช้ทำท่อ					
	อลูมิเนียม (Al)	ทองแดง (Cu)	เหล็ก (Fe)	นิกเกิล (Ni)	สแตนเลสสตีล (SS)	ไทเทเนียม (Ti)
ไนโตรเจน	C	C	C	C	C	
มีเทน	C	C			C	
แอมโมเนีย	C		C		C	
เมทานอล	I	C	C	C	C	
น้ำ	I	C		C	C	C
โพแทสเซียม				C		I
โซเดียม				C	C	I
R- 12		C			C	

C = Compatible (เข้ากันได้), I = Incompatible(เข้ากันไม่ได้), Blank = Data not available (ไม่พบข้อมูล)

จากตารางข้างต้น ความเข้ากันไม่ได้ระหว่างของเหลวทำงานกับวัสดุที่นำมาทำท่อ อันเนื่องมาจากของเหลวทำงานไม่ควบแน่นเกิดเป็นก๊าซ (non- condensate gas) เกาะบริเวณผิวข้างในท่อทำให้เกิดการผุกร่อนเพียงเล็กน้อย เศษอนุภาคจากการผุกร่อนไปกีดขวางการไหลภายในท่อ ส่งผลให้ประสิทธิภาพของฮีทไปป์ต่ำลง

### 3) ความยากง่ายในการขึ้นรูป การเชื่อม

ท่อทองแดง เป็นวัสดุที่มีความหนาแน่นสูง มีความแข็งแรง และ นำความร้อนได้ดีขึ้นรูปโดยการดัด งอ ได้ง่าย

ดังนั้นผู้วิจัยขอเลือกวัสดุทองแดงในการใช้ทำท่อฮีทไปป์ เนื่องจาก ทองแดงมีประสิทธิภาพการถ่ายโอนความร้อนสูง (ค่าการนำความร้อน = 394 (W/m °C ) ทนทานต่อการกัดกร่อน สามารถเข้ากันได้กับของเหลวทำงาน คือ น้ำ จึงทำให้ไม่เกิดการควบแน่นเกิดเป็นก๊าซ (non- condensate gas) เกาะบริเวณผิวข้างในท่อทำให้เกิดการผุกร่อนเพียงเล็กน้อย เศษอนุภาคจากการผุกร่อนไปกีดขวางการไหลภายในท่อ นอกจากนี้ขึ้นรูปโดยการดัด งอ ได้ง่ายสุดทำยนี้สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึง คือ ราคาของวัสดุ ที่มีราคาไม่แพงและหาได้ง่ายตามท้องตลาด

### 2.3.3 โครงสร้างวิก(Wick) ภายในท่อฮีทไปป์

โครงสร้างของวิก(Wick) เป็นส่วนสำคัญของท่อฮีทไปป์ (Heat pipe) ช่วยทำให้เกิดการกระจายของน้ำเพื่อลดแรงตึงผิว ส่วนใหญ่น้ำจะถูกเลือกเป็นของเหลวทำงาน (Working fluid) เนื่องจากความร้อนแฝงสูง แรงตึงผิว การนำความร้อน อุดมหมู่เม็ดเลือด และมีต้นทุนต่ำ หลักการทำงานของวิกคือ เมื่อมีการควบแน่นไอรระเหยจากคอนเดนเซอร์กลายเป็นของเหลวซึมผ่านวิก(wick) เคลื่อนที่ไปยังส่วนระเหย โดยทิศทางการติดตั้งขึ้นอยู่กับประเภทของวิก(wick) โดยประเภทวิกที่มีการใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์มีดังต่อไปนี้ [11]

**แบบร่อง (Grooved wick)**

ลักษณะเป็นครีบทามแนวยาวของท่ออโรบรัคมีผิวภายในท่อทองแดง ดังรูปที่ 8 เหมาะสำหรับทำงานในแนวตั้งตามทิศทางของแรงโน้มถ่วง เนื่องจากติดตั้งในแนวนอนหรือต้านแรงโน้มถ่วง ส่งผลให้กำลังการไหลของของเหลวจากส่วนควบแน่นมายังส่วนระเหยต่ำ สามารถใช้กับฟลักซ์ความร้อนในแนวรัศมีสูงถึง  $40 \text{ W/cm}^2$

- ต้นทุนต่ำ
- ประสิทธิภาพต่ำ
- ทำงานไม่ได้ถ้าติดตั้งย้อนแรงดึงดูด



รูปที่ 8 ภาพแสดงwick (wick) แบบร่อง (Grooved wick) ภายในท่อทองแดง

#### แบบตาข่าย (Wire mesh wick)

ลักษณะเป็นเหมือนตาข่ายสานกันให้เกิดช่องว่างเล็กๆ บรรจุภายในท่อเว้นช่องว่างตรงกลาง สำหรับการระเหยของไอ ดังรูปที่ 9 ประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับชั้นตาข่ายว่ามีมากแค่ไหน ถ้ามีมากก็ถ่ายเทความร้อนได้ดี สามารถใช้กับฟลักซ์ความร้อนในแนวรัศมีสูงถึง  $40 \text{ W/cm}^2$

- เป็นที่นิยมใช้
- ต้นทุนไม่สูงมากนัก
- ประสิทธิภาพปานกลาง
- ทำงานแบบย้อนแรงดึงดูดได้ดี



รูปที่ 9 ภาพแสดงwick(wick) แบบตาข่าย (mesh wick) ภายในท่อทองแดง

### แบบผงอัด (Sintered powder wick)

แบบผงอัด (Sintered powder wick) เกิดจากการพ่นผงโลหะภายในท่อแล้วนำไปเผา เพื่อให้ผงโลหะยึดกับผนังภายในท่อ ภายในท่อมีความเป็นรูพรุนสูงขนาด 30 – 40 ไมโครเมตร ดังรูปที่ 10 ทำให้ประสิทธิภาพการซึมผ่านสูงกว่าแบบร่อง (Grooved wick) และแบบตาข่าย(Wire mesh wick) สามารถใช้กับฟลักซ์ความร้อนในแนวรัศมีสูงถึง  $250 \text{ W/cm}^2$

- ต้นทุนสูง
- ประสิทธิภาพสูง
- ทำงานได้ดีติดตั้งได้ทุกทิศทาง



รูปที่ 10 ภาพแสดงwick(wick) แบบผงอัด (Sintered powder wick) ภายในท่อทองแดง

จากประเภทwick (Wick) 3 แบบ ข้างต้น ผู้วิจัยเลือกใช้wickแบบร่องเกลียว (Grooved wick) เนื่องด้วยต้นทุนที่ต่ำเป็นหลัก และการติดตั้งท่อฮีทไปป์ให้ส่วนควบแน่น (Condenser Section) อยู่สูงกว่า ส่วนระเหยกลายเป็นไอ (Evaporation Section) โดยติดตั้งแนบกับหลังแผงโซลาร์เซลล์ซึ่งทำมุม 15 -20 องศา กับแนวระนาบ ทำให้มีแรงโน้มถ่วงช่วยในการไหลย้อนกลับของของเหลวทำงานโดยของเหลวทำงานที่ผ่านการควบแน่นจากคอนเดนเซอร์ซึมมายังwickไปสู่ส่วนระเหยได้ง่ายขึ้น

### 2.3.4 การเลือกของไหลทำงาน (Working fluid)

การเลือกใช้งานของไหลทำงานจะเลือกตามช่วงอุณหภูมิ และความเข้ากันได้กับวัสดุที่ใช้บรรจุเพื่อ ป้องกันการเกิดการกัดกร่อนต่อวัสดุ และการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีทำให้ไม่เกิดการควบแน่นของแก๊ส[12] เนื่องจากของเหลวที่เกิดจากส่วนควบแน่น (Condenser Section) สามารถไหลกลับมาในส่วนที่ระเหยกลายเป็นไอ (Evaporation Section) ได้รวดเร็ว หากตัวเลือกของไหลทำงานมีหลายชนิด เราอาจใช้ค่าเมอริทัมเบอร์ (Merit Number, M) หรือ Liquid transport Factor ดังสมการที่ (1) เป็นเกณฑ์ในการเลือกของเหลวทำงาน เมอริทัมเบอร์ สูงของไหลจะถ่ายเทความร้อนสูง[13]

$$N_l = \frac{\rho_l \sigma \lambda}{\mu_l} \quad (1)$$

โดยที่  $N_l$  = ค่าเมอริทัมเบอร์ ( $\text{kW}/\text{m}^2$ ,  $\text{kg}/\text{s}^3$ )

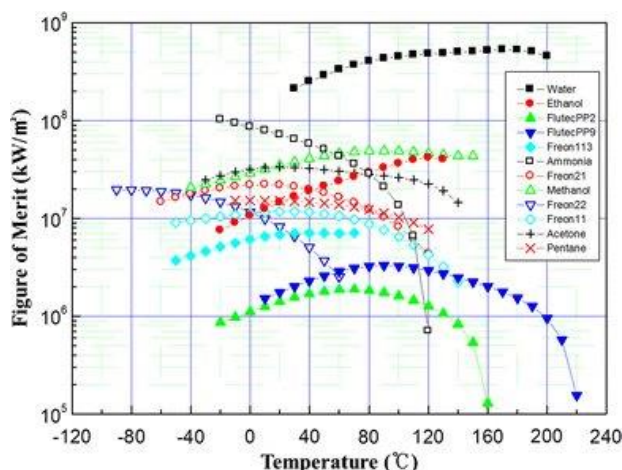
$\rho_l$  = ความหนาแน่นของของไหลทำงานในรูปของของเหลว ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$\sigma$  = ค่าแรงตึงผิวของของไหลทำงาน ( $\text{N}/\text{m}$ )

$\lambda$  = ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของของไหลทำงาน ( $\text{kJ}/\text{kg}$ )

$\mu_l$  = ค่าความหนืดของของไหลใช้งานในช่วงของของเหลว ( $\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ )

ความหนาแน่นของของเหลวสูง และความร้อนแฝงสูงทำให้อัตราการไหลน้อยง่ายต่อการไหลไปที่ส่วนควบแน่นส่งผลให้ใช้มวลน้อยในการรับความร้อนในการกลายเป็นไอ ในขณะที่แรงตึงผิวสูงจะเพิ่มความสามารถในการบีบของเหลวไปรับความร้อนที่ส่วนระเหย ความหนืดของเหลวต่ำช่วยลดแรงดันหรือต้านทานการไหลน้อย ทำให้เกิดการไหลเวียนในท่อได้เร็วขึ้น ซึ่งพารามิเตอร์ที่กล่าวมาข้างต้นจำเป็นต่อการถ่ายเทความร้อนได้ที่สูงขึ้นจะทำให้ ค่าเมอริทัมเบอร์สูง โดยขึ้นอยู่กับของเหลวทำงานภายในท่อความร้อน จากรูปที่ 11 จะเห็นได้ชัดว่าเหตุใดจึงเลือกน้ำเป็นสารทำงานของท่อความร้อน ค่าเมอริทัมเบอร์ของน้ำสูงกว่าเมื่อเทียบกับของไหลทำงานชนิดอื่น [13] รวมทั้งไม่ทำปฏิกิริยากับทองแดง ดังตารางที่ 4

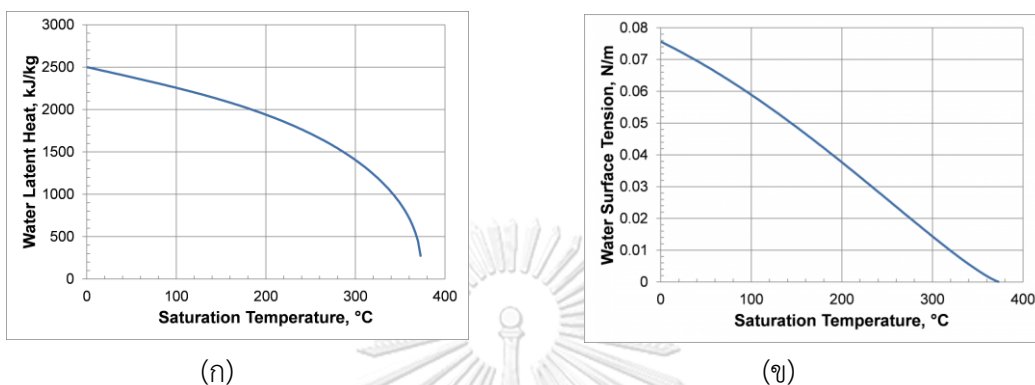


รูปที่ 11 ค่า Liquid transport Factor หรือ Merit Number ( $\text{kW/m}^2$ ) ของของไหลต่างๆ  
 ตารางที่ 4 ค่า Merit Number (Liquid transport Factor) ของแต่ละของไหลทำงานในช่วง  
 อุณหภูมิใช้งาน  $-200^\circ\text{C}$  ถึง  $1500^\circ\text{C}$  [14]

ช่วงอุณหภูมิใช้งาน( $^\circ\text{C}$ )	ของไหลทำงาน	คุณสมบัติที่ความดันบรรยากาศ		วัสดุทำท่อฮีทไปป์
		จุดเดือด( $^\circ\text{C}$ )	Liquid transport Factor ( $\text{kW/m}^2$ )	
-200 ถึง -170	ไนโตรเจนเหลว	-196	$9 \times 10^6$	สแตนเลสสตีล
-70 ถึง 50	แอมโมเนียเหลว	-33	$1 \times 10^8$	สแตนเลสสตีล, นิกเกิล, อลูมิเนียม
-30 ถึง 60	R-12	-30	$1 \times 10^7$	สแตนเลสสตีล, ทองแดง
-30 ถึง 100	เมทานอล	65	$5 \times 10^7$	ทองแดง
10 ถึง 200	น้ำ	100	$5 \times 10^8$	ทองแดง, นิกเกิล
190 ถึง 500	ปรอท	356	$2 \times 10^9$	สแตนเลสสตีล
400 ถึง 800	โพแทสเซียม	760	$5 \times 10^8$	สแตนเลสสตีล
500 ถึง 900	โซเดียม	883	$2 \times 10^9$	สแตนเลสสตีล
900 ถึง 1500	ลิเทียม	1330	$8 \times 10^9$	ไททาเนียม

นอกจากนี้ยังคำนึงถึงค่าความร้อนแฝงในการกลายเป็นไอของของเหลว ยิ่งของเหลวทำงานมีค่าความร้อนแฝงสูง เมื่อเปลี่ยนสถานะของเหลวกลายเป็นไอ จะสามารถถ่ายเทความร้อนได้ในอัตราที่สูง ทำให้มีการสูญเสียความดัน (Pressure drop) ลดลง ทั้งนี้ผู้วิจัยได้เลือกของเหลวทำงาน คือ น้ำกลั่น มีค่าเมอริทที่สูงที่สุด เข้ากันได้กับวัสดุทองแดงที่นำมาใช้ทำท่อฮีทไปป์ ซึ่งไม่ทำปฏิกิริยากัดกร่อนกับท่อทองแดง จากหัวข้อ 2.4.2 ข้างต้น เดิมได้ง่ายมีความปลอดภัย ต้นทุนต่ำ และอุณหภูมิของน้ำ

อยู่ในช่วงอุณหภูมิทำงานของแผงโซลาร์เซลล์อยู่ในช่วงประมาณ 30-60 องศาเซลเซียส เมื่อนำช่วงอุณหภูมิทำงานโซลาร์เซลล์มาเปรียบเทียบกับกราฟระหว่าง ความร้อนแฝงของน้ำ (Water Latent Heat, kJ/kg) กับอุณหภูมิ และแรงตึงผิวของน้ำ (Water Surface Tension, N/m) กับอุณหภูมิ ดังรูปที่ 12 พบว่าค่าความร้อนแฝงและค่าแรงตึงผิวของน้ำยังคงอยู่ในช่วงที่สูงอยู่



รูปที่ 12 กราฟเปรียบเทียบระหว่างความร้อนแฝงของน้ำกับอุณหภูมิ(ก) และ แรงตึงผิวของน้ำกับอุณหภูมิ(ข)

แต่ในระบบฮีทปั๊ม ความร้อนจากแผงโซลาร์เซลล์ 30-60 องศาเซลเซียส ไม่เพียงพอให้น้ำภายในท่อฮีทปั๊มเกิดการระเหยกลายเป็นไประลอกเปลี่ยนความร้อนยังส่วนของส่วนควบแน่น (Condensor) ได้ เนื่องจากน้ำมีจุดเดือดที่ความดันบรรยากาศ (1 บาร์) น้ำจะเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส แต่เมื่ออยู่ในสภาวะความดันที่ต่ำกว่าบรรยากาศ จะส่งผลให้น้ำเดือดได้ที่อุณหภูมิต่ำลง ดังตารางที่ 5 ดังนั้นผู้วิจัยต้องทำให้ท่อฮีทปั๊มที่บรรจุของไหลทำงานเป็นท่อสุญญากาศ

ตารางที่ 5 แสดงไอน้ำอิ่มตัว Steam Table (Silverstein 1992)

Absolute Pressure (bar)	Boiling Point (°C)	Specific Volume (steam) (m <sup>3</sup> /kg)	Density (steam) (kg/m <sup>3</sup> )
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

## 2.4 วัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์

เหล็กที่ใช้ทำแม่พิมพ์ผู้วิจัยเลือก เหล็กเกรด S50C ตามมาตรฐาน JIS เนื่องจากเป็น เหล็กกล้าคาร์บอนที่มีธาตุคาร์บอนผสมอยู่ 0.5% อยู่ในกลุ่มเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางซึ่งอยู่ในช่วง 0.2-0.5 % คาร์บอน เลือกเหล็กกลุ่มนี้เพราะมีความแข็งแรงสูง ทนทานการเสียดสี ทนแรงอัด กลึงได้ดี เหมาะทำโครงสร้างแม่พิมพ์ในการกดอัดท่อฮีทไปป์ทองแดงหน้าตัดวงกลมให้เป็นท่อหน้าฮีทไปป์ทองแดงแบบแบน

## 2.5 การคำนวณที่เกี่ยวข้อง

การวิเคราะห์ข้อมูลจะพิจารณาค่ากำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพที่ผลิตได้ ดังต่อไปนี้

### 2.5.1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโซลาร์เซลล์ปกติ กับแผงที่ติดตั้งฮีทไปป์

- 1) การคำนวณกำลังไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์ ดังสมการ (2)

$$P = IV$$

(2)

โดยที่ P = กำลังไฟฟ้า (Watts)

I = กระแสไฟฟ้าที่แผงโซลาร์เซลล์ผลิตได้ (A)

V = แรงดันไฟฟ้าที่แผงโซลาร์เซลล์ผลิตได้ (Volt)

- 2) การคำนวณประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์หาได้จาก ดังสมการที่ (3)

$$\eta = \frac{P}{AG} \times 100\%$$

(3)

โดย  $\eta$  = ประสิทธิภาพแผงโซลาร์เซลล์ (%)

P = กำลังไฟฟ้าที่โซลาร์เซลล์ผลิตได้ (W)

A = พื้นที่รับแสงอาทิตย์ของแผงโซลาร์เซลล์ ( $m^2$ )

G = ค่าความเข้มรังสีตกกระทบแผงโซลาร์เซลล์ ( $W/m^2$ )



3) การคำนวณประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์ที่เพิ่มขึ้น หาได้จากสมการ (4)

$$\eta_i = \left( \frac{\eta_2 - \eta_1}{\eta_1} \right) \times 100\% \quad (4)$$

โดยที่  $\eta_i$  = ประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์ที่เพิ่มขึ้น (%)

$\eta_1$  = ประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์ไม่ได้ติดตั้งฮีทไปป์

$\eta_2$  = ประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์ติดตั้งฮีทไปป์

เปรียบเทียบพลังงานต่อวันของโซลาร์เซลล์ปกติกับแผงที่ติดตั้งฮีทไปป์ หาได้จากสมการ (5) ถึง (9)

$$\eta_d = \frac{t(n-1)\bar{P}_i}{t(n-1)\bar{G}A} \times 100 = \frac{E_{p(i)}}{E_s A} \times 100 \quad (5)$$

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

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

$$E_{p(i)} = t(n-1)\bar{P} \quad (8)$$

$$E_s = t(n-1)\bar{G} \quad (9)$$

โดยที่  $\eta_d$  = ประสิทธิภาพพลังงานรายวัน (%)

$E_{p(i)}$  = พลังงานไฟฟ้ารายวัน (Wh)

$E_s$  = พลังงานแสงอาทิตย์รายวัน (Wh)

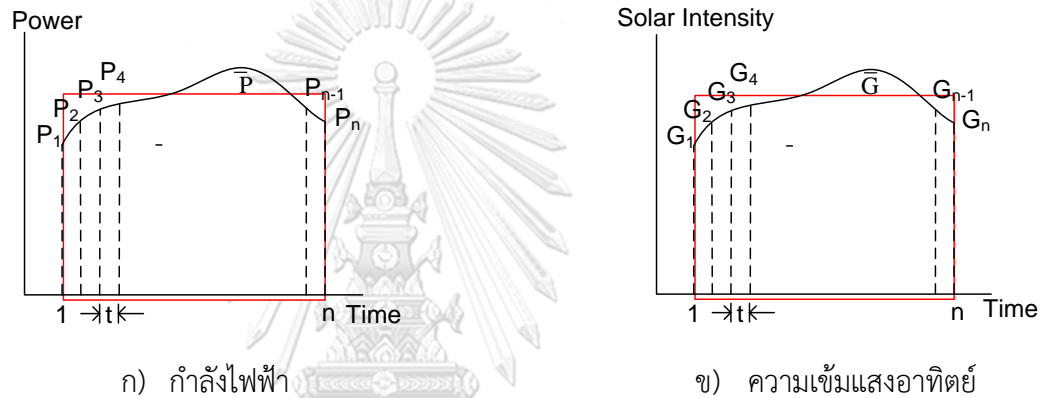
$\bar{P}$  = กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (W)

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

$n$  = จำนวนข้อมูลอุณหภูมิ

$t$  = ช่วงเวลาในการเก็บข้อมูลแต่ละค่า (Sampling Time) s

โดยช่วงเวลาที่เก็บข้อมูล ทุกๆ 15 นาที เมื่อแปลงเป็น 1 ชั่วโมง เท่ากับ 0.25 ( $t=0.25$  s) เริ่มบันทึกตั้งแต่ช่วงเวลา 11.30 น. - 15.30 น. สามารถแบ่งได้เป็น 17 ช่วง ( $n=17$  ข้อมูล) ซึ่งเป็นการกระจายของข้อมูลกำลังไฟฟ้า และความเข้มแสงอาทิตย์รายวัน ตามกราฟดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 กราฟการกระจายข้อมูลของกำลังไฟฟ้า(ก) และความเข้มแสงอาทิตย์รายวัน (ข)

เปรียบเทียบอุณหภูมิของโซลาร์เซลล์ปกติ กับแผงที่ติดตั้งฮีทไปป์ ดังสมการ (5)

$$\bar{T} = \frac{\sum T_i}{n} \quad (5)$$

โดยที่  $\bar{T}$  = อุณหภูมิเฉลี่ยหลังแผงโซลาร์เซลล์ ( $^{\circ}C$ )

$n$  = จำนวนข้อมูลอุณหภูมิ

## 2.5.2 ความคุ้มค่าในการลงทุน

การคำนวณความคุ้มค่าในการลงทุน สามารถพิจารณาระยะเวลาคืนทุน ได้จากสมการที่ (6)

$$PB = \frac{I}{B} \quad (6)$$

โดยที่  $PB$  = ระยะเวลาคืนทุน (ปี)

$I$  = เงินลงทุน (บาท)

$B$  = ผลประโยชน์รายปี (บาท)

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชนศักดิ์ ชุมวิสูตร 2546 [14] วิจัยเรื่องการศึกษาและพัฒนาโครงสร้างวิกสำหรับฮีทไปป์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารูปแบบวิกและข้อมูลสมรรถนะของฮีทไปป์แบบมีวิกสำหรับใช้ในการออกแบบและสร้างฮีทไปป์ โดยใช้ท่อฮีทไปป์ทำจากทองแดง ผิวภายนอกมีวิกชนิดตาข่าย (Wire mesh) ทำจากสแตนเลสเบอร์ 100 และ 120 ท่อเส้นผ่านศูนย์กลาง 18.7 mm. มีความยาว 1.25 m. บรรจุของไหลทำงาน คือ R-12 มีส่วนระเหย (Evaporation Section) 0.5 m. ส่วนควบแน่น (Condenser Section) 0.5 m. และส่วนไม่มีการถ่ายเทความร้อน (Adiabatic section) 0.25 m. ผลการทดลองพบว่าให้ค่า Heat flux สูงสุดเท่ากับ 823.345 kW/m<sup>2</sup> และ 1,546.945 kW/m<sup>2</sup> ของชนิดวิกตาข่ายเบอร์ 100 และ 200 ตามลำดับ โดยค่าสูงสุดดังกล่าวเกิดขึ้นที่มุมฮีทไปป์  $\phi$  ประมาณ -135 องศา ท่อฮีทไปป์จะทำงานได้ดีเมื่อมีแรงโน้มถ่วงมาช่วยกล่าวคือ ส่วนควบแน่น (Condenser Section) อยู่สูงกว่า ส่วนระเหยเป็นไอ (Evaporation Section)

การปรับปรุงฮีทไปป์ที่สามารถทำงานต้านแรงโน้มถ่วงได้ดี ต้องขึ้นอยู่กับการปรับปรุง mesh ให้ละเอียดขึ้น หรือการติดตั้งในองศาที่สูงขึ้น (ส่วนควบแน่นอยู่สูงกว่า ส่วนระเหย) หรือการเปลี่ยนชนิดวิก หรือการใช้ของไหลใช้งานที่มีจุดแข็งตัวและจุดไหลสูงขึ้น กล่าวคือค่าเมอริท [13] สูงขึ้น เกิดจากความร้อนแฝงสูงและเกิดแรงตึงผิวสูง ความหนืดต่ำ ส่งผลให้ของไหลไหลได้รวดเร็ว เนื่องจากความร้อนแฝงสูง ทำให้ไขมวลน้อยเมื่อเปลี่ยนสถานะของเหลวกลายเป็นไอ ในการระเหยเพื่อไปรับความร้อนในช่วงของการระเหย (Evaporation) ส่งผลให้ถ่ายเทความร้อนได้ในอัตราที่สูง แรงตึงผิวสูง ทำให้ของเหลวที่ส่วนระเหย (Evaporation) เกิดการดูดซึมขึ้นไปในวิกด้วยแรงตึงผิว และความหนืดต่ำ ทำให้ต้านทานการไหลน้อย ของเหลวไหลได้ง่ายขึ้น

สถิตพงศ์ และคณะ 2561 [15] วิจัยเรื่องการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อท่อความร้อนที่ติดตั้งวัสดุพรุนชนิดตาข่าย มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการถ่ายโอนความร้อนของฮีทไปป์ชนิดตาข่าย (Wire mesh) โดยมีตัวแปรคือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อทองแดงภายใน 10 และ 12 มิลลิเมตร ยาว 30 เซนติเมตร วิกชนิดตาข่าย (Wire mesh) บรรจุสารทำความเย็นน้ำกลั่น เอทานอล และ R-11 เติมของเหลวทำงานอัตราส่วนร้อยละ 50 ของส่วนทำระเหยกลายเป็นไอ โดยมีอุณหภูมิระเหยเท่ากับ 50, 70 และ 90 องศาเซลเซียส สรุปผลได้ว่า 1. ผลของของเหลวทำงานที่จุดเดือดต่ำ ความร้อนแฝงกลายเป็นไอสูง จะถ่ายเทความร้อนได้ดีเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเคลื่อนที่ไปยังส่วนควบแน่นได้เร็วคือ R-11 2. การติดตั้งวิคช่วยให้ของเหลวจากการควบแน่นกระจายตัวได้ดี ง่ายต่อการระเหยเมื่อถึงส่วนระเหย 3. ผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร สามารถถ่ายโอนความร้อนสูงสุด เนื่องจากพื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มขึ้น

สิ่งที่นำมาใช้ในการวิจัยครั้งนี้ จากข้างต้นตัวแปรที่มีผลต่อเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนการถ่าย ได้แก่ ชนิดของเหลวทำงาน (working fluid) จุดเดือดต่ำ มีค่าความร้อนแฝงกลายเป็นไอสูงสามารถถ่ายเทความร้อนได้ดี ได้แก่ R-11, เอทานอล และน้ำกลั่น ตามลำดับ การใช้ท่อแบบมีวิค และพื้นที่การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อฮีทไปป์ที่เพิ่มขึ้น[15]

อนุรัตน์ เทวตา และยุธนา ศรีอุดม, 2561 [16] ได้ศึกษาวิจัยเรื่องการศึกษาเชิงทดลองการเพิ่มประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ท่อความร้อนแบบแบน มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเพิ่มสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยการติดตั้งท่อความร้อนสำหรับระบายความร้อนออกจากแผงโซลาร์เซลล์ ใช้แผงโมโนคริสตัลไลน์ ขนาด 80 วัตต์ นำมาทดสอบ 3 แบบ คือ แบบที่ 1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่ติดตั้งท่อความร้อน พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เท่ากับ 52.9 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพผลิตกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ร้อยละ 9.3 ส่วนแบบที่ 2 และแบบที่ 3 จะติดตั้งท่อความร้อนทองแดงแบบตาข่ายทองแดง (Wiremesh) 100 Mesh มีขนาด เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกท่อ 18 มิลลิเมตร นำมาบีบให้มีขนาด 20 มิลลิเมตร และมีรัศมี 2.6 มิลลิเมตร โดยใช้ฮีทไปป์จำนวน 4 ท่อ บรรจุของเหลวใช้งาน ร้อยละ 40 โดยปริมาตรรวมของส่วนทำระเหย ซึ่งผู้วิจัยอ้างอิงการเติมสารทำงาน จากการทดลองสมรรถนะเชิงอุณหภาพของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อความร้อน โดยอัตราการเติมที่ร้อยละ 30, 40, 50, 60 และ 70 สรุปว่าอัตราการเติมสารใช้งานร้อยละ 40 จะให้ผลที่ดีที่สุด โดยแบบที่ 2 ใช้สารเอทานอล (จุดเดือด 78°C, อุณหภูมิใช้งาน 0 ถึง 130°C) พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เท่ากับ 50.7 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพผลิตกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ร้อยละ 10.2 แบบที่ 3 ใช้สารทำความเย็น R-11 (จุดเดือด 24°C, อุณหภูมิใช้งาน -40 ถึง 120°C) พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เท่ากับ 49.2 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพผลิตกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ร้อยละ 11.8

สิ่งที่นำมาใช้ในการวิจัยครั้งนี้ การเพิ่มสารทำงานในท่อฮีทไปป์แบบแบน ร้อยละ 40 โดยปริมาตรรวมของส่วนระเหย โดยอ้างอิงการเพิ่มสารทำงาน จากการทดลองสมรรถนะเชิงอุณหภาพของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อความร้อน ในอัตราการเติมที่ร้อยละ 30, 40, 50 , 60 และ 70 ของส่วนระเหย สรุปว่าอัตราการเพิ่มสารใช้งานร้อยละ 40 ของส่วนระเหย จะให้ผลที่ดีที่สุด ของส่วนระเหย ทำให้มีสมรรถนะเชิงอุณหภาพของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ดีที่สุด

วสันต์ ศรีเมือง และ ปรีชาขันตีโกมล,[6] ได้ศึกษาเรื่อง “การเปรียบเทียบสมรรถนะทางความร้อนของเครื่องอุ่นอากาศแบบท่อความร้อนวงรอบวางแนวนอนชนิดหน้าตัดแบนกับหน้าตัดกลม” โดยใช้ท่อทองแดงยาว 450 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 8.6 มิลลิเมตร ซึ่งทั้งสองต่างกันเฉพาะพื้นที่หน้าตัดของท่อ ท่อแบบกลมถูกปิดอัดเป็นแบบแบน  $y=4.6$  มิลลิเมตร เครื่องอุ่นอากาศยาว 450 มิลลิเมตร ส่วนทำระเหย ส่วนกันความร้อน และส่วนควบแน่น มีความยาวเท่ากัน ใช้น้ำเป็นสารทำความเย็น เติมในท่อในปริมาณร้อยละ 50 ของปริมาตรภายใน ใช้อุ่นหมุมทดลอง 30-85 องศาเซลเซียส ให้อากาศไหลผ่านส่วนควบแน่นด้วยความเร็ว 0.4 เมตร/วินาที ผลการทดลองพบว่า ท่อฮีทไปป์แบบแบน จะมีอัตราการถ่ายเทความร้อนได้ดีในช่วงอุณหภูมิ ต่ำกว่า 55 องศาเซลเซียส แต่เมื่ออุณหภูมิของน้ำร้อนสูงขึ้นจาก 65-85 องศาเซลเซียส อัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อฮีทไปป์แบบกลมจะสูงกว่า ท่อฮีทไปป์แบบแบน

สิ่งที่นำมาใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ท่อฮีทไปป์แบบแบน เนื่องจากมีอัตราการถ่ายเทความร้อนได้ดีในช่วงอุณหภูมิ ต่ำกว่า 55 องศาเซลเซียส ซึ่งตรงกับการนำมาประยุกต์ใช้ระบายความร้อนแผงโซลาร์เซลล์โดยอุณหภูมิแผงโซลาร์เซลล์อยู่ในช่วง 30- 60 องศาเซลเซียส

นำพน พิพัฒน์ไพบุลย์ และคณะ,2563 ได้ศึกษาเรื่อง “การเปรียบเทียบสมรรถนะทางความร้อนของท่อเทอร์โมไซฟอนแบบหน้าตัดกลมและแบบหน้าตัดเหลี่ยมด้วยเทคนิคการถ่ายภาพทางความร้อน” โดยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่ายความร้อนของท่อเทอร์โมไซฟอนหรือฮีทไปป์ทำจากสแตนเลสยาว 1,200 mm ท่อฮีทไปป์หน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 37.5 mm และท่อหน้าตัดกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 37.5 mm ใช้อีทานอลเป็นสารทำงาน ปริมาตรการเติม 50% ของส่วนระเหย และในความร้อนส่วนทำระเหย 60 องศาเซลเซียส ที่มุมเอียง 0,45 และ 90 องศาจากแนวระดับ ผลการทดลองพบว่า ท่อฮีทไปป์

ธนกฤต ลาภุฒิพจน์, 2563 [5] ได้ศึกษาเรื่อง “การเพิ่มประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์ด้วยระบบฮีทไปป์คูลิ่ง” โดยใช้ท่อฮีทไปป์ (Heatpipe) ทองแดง 3 หุน แบบหน้าตัดกลม ประเภทร่อง (Grooved wick) 7 ท่อติดตั้งใต้แผงโซลาร์เซลล์ภายในบรรจุน้ำกลั่นเป็นของเหลวทำงาน (Working fluid) ในการถ่ายเทความร้อนไปยังฟิน (Fin) ทำจากอลูมิเนียม ใช้อากาศเป็นตัวช่วยในการ

ระบายความร้อน โดยผลจากการศึกษาความสามารถในการผลิตกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ และการลดอุณหภูมิของแผงโซลาร์เซลล์แบบอะมอร์ฟัส ชนิดฟิล์มบาง (Thin Film) สรุปได้ว่าติดตั้งระบบฮีทไปป์สามารถลดอุณหภูมิไปได้ 1.44 องศาเซลเซียส (ร้อยละ 2.7) และผลิตกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 22.6 kWh (ร้อยละ 11.3) โดยอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเฉลี่ย 35.16 °C ,อุณหภูมิเฉลี่ยแผงปกติ 52.51 °C, อุณหภูมิแผงติดตั้งฮีทไปป์เฉลี่ย 51.07 °C และอุณหภูมิเฉลี่ยส่วนระเหยฮีทไปป์ 46.78 °C จากงานวิจัยข้างต้นนี้ยังคงมีข้อที่ควรระวังคือ การขจัดอากาศภายในท่อฮีทไปป์ทองแดงให้เป็นสุญญากาศในการบรรจุน้ำกลั่น และปัญหาในส่วนของ การติดยึดระหว่างท่อฮีทไปป์กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเดิมเป็นท่อฮีทไปป์หน้าตัดกลม ทำให้เกิดพื้นที่ผิวหน้าสัมผัสเป็นจุดยาวแนบตามแนวท่อกับหลังแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพียงเล็กน้อย ส่งผลต่อประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนที่ลดลง

สิ่งที่นำมาใช้ในการวิจัยครั้งนี้ จากบทความวิจัยข้างต้นจะเห็นได้ว่า ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิแผงติดตั้งฮีทไปป์เฉลี่ย 51.07 °C และอุณหภูมิเฉลี่ยส่วนระเหยฮีทไปป์ 46.78 °C แตกต่างกันมาก แสดงว่ามีความต้านทานความร้อนสูง (พื้นที่สัมผัสน้อย) ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจการปรับปรุงระบบฮีทไปป์ทองแดงจากเดิมเป็นหน้าตัดวงกลม ดัดแปลงท่อฮีทไปป์หน้าตัดกลมให้เป็นแบบแบน ในการเพิ่มพื้นที่สัมผัสถ่ายเทความร้อนระหว่างท่อทองแดงกับแผงโซลาร์เซลล์ ส่งผลต่อประสิทธิภาพแผงโซลาร์เซลล์ที่ โดยยังคงมีลักษณะร่อง (Grooved) ทั้งหมด 7 ท่อติดหลังแผงโซลาร์เซลล์ถ่ายเทความร้อนไปยังฟินระบายความร้อน

สรุปการทบทวนงานวิจัย

จากการที่ผู้วิจัยได้ศึกษาทบทวนผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่างๆ สามารถสรุปได้ว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพฮีทไปป์ ในการลดอุณหภูมิของแผงโซลาร์เซลล์ คือ วัสดุที่ใช้ทำท่อฮีทไปป์ในการถ่ายเทความร้อน ชนิดของวิก (Wick) ภายในท่อความร้อน จำนวนท่อในการติดตั้งฮีทไปป์ ปรับปรุงแก้ไขท่อฮีทไปป์ทองแดง 3 หุน ประเภทร่อง (Grooved wick) โดยการโดยการกดอัด (Compress) ให้หน้าตัดแบนตลอดความยาวท่อ เพื่อเพิ่มพื้นที่หน้าสัมผัสในการถ่ายเทความร้อน ของแผงโซลาร์เซลล์ภายในท่อบรรจุของเหลว คือ น้ำกลั่น ถ่ายเทความร้อนไปยังฟิน (Fin) ทำจากอลูมิเนียม

### บทที่ 3

#### วิธีการดำเนินงานวิจัย

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาทฤษฎี งานวิจัย และเอกสารต่างๆที่เกี่ยวข้อง เกี่ยวกับวิธีระบายความร้อนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ประกอบด้วย การเลือกใช้วัสดุทำท่อฮีทไปป์ การเลือกลักษณะรูพรุน

ภายในท่อ(Wick) และการเลือกใช้ของเหลวทำงาน ให้เหมาะสมกับงานวิจัยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตกำลังไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์ ดังนี้

### 3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

#### 3.1.1 อุปกรณ์

แผงโซลาร์เซลล์ รุ่น SF 140-L แบบอะมอร์ฟิส ฟิล์มบาง (Thin Film) จำนวน 2 แผง เนื่องจากเป็นการเปรียบเทียบระหว่างติดตั้งฮีทไปป์กับไม่ติดตั้งฮีทไปป์ ทำให้ต้องใช้โซลาร์เซลล์ชนิดเดียวกัน ดังนั้นผู้วิจัย เลือกราคาถูกที่สุด คือ แบบอะมอร์ฟิส ฟิล์มบาง โดยแต่ละแผงมีขนาดความกว้าง 1 เมตร และความยาว 1.25 เมตร มีพิกัดกำลังไฟฟ้า 140 วัตต์ แสดงดังรูปที่ 14



รูปที่ 14 แผงโซลาร์เซลล์ที่ใช้ทดสอบ รุ่น SF 140-L แบบอะมอร์ฟิส ฟิล์มบาง ขนาด 140 วัตต์

ท่อฮีทไปป์ทองแดงมีวิกแบบเกลียวภายในทำหน้าที่เป็นเหมือนฟองน้ำในการดูดซับของเหลวทำงาน เมื่อนำท่อฮีทไปป์มาผ่าเพื่อแผ่ออกให้เห็นถึงลักษณะวิก ดังรูปที่ 15 ซึ่งการเลือกใช้



ฮีทไปป์ นอกจากต้นทุนแล้วยังมีปัจจัยอื่นที่ต้องคำนึงถึง คือ วัสดุที่เหมาะสมสำหรับทำท่อฮีทไปป์ประเภทของวิกภายในผิวท่อฮีทไปป์ และการเลือกของเหลวทำงานให้เหมาะสมกับที่ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ทำงาน ค่าการนำความร้อนของทองแดงมีค่า  $394 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$  ซึ่งสูงสุด รองลงมาคืออลูมิเนียม ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้ท่อฮีทไปป์ทองแดง เพื่อใช้ในการรับการถ่ายโอนความร้อนด้วยวิธีการนำความร้อนจากแผงโซลาร์เซลล์ มายังท่อฮีทไปป์ ในส่วนลักษณะรูปแบบวิกของผิวภายในท่อฮีทไปป์เลือกใช้วิกชนิดเกลียว เนื่องจากองศาของการติดตั้งของท่อฮีทไปป์ที่ติดแนบชิดกับพื้นที่หลังแผงโซลาร์เซลล์โดยทำมุม 15 องศา กับแนวพื้นระนาบ ทำให้มีแรงโน้มถ่วงช่วยในการไหลของของเหลวที่ผ่านการกลั่นตัวจากส่วนควบแน่น ดังนั้นการเลือกใช้วิกชนิดร่องจึงเหมาะสมแก่การนำมาใช้งาน ส่วนของเหลวที่ใช้บรรจุภายในท่อฮีทไปป์ ของเหลวทำงานที่ใช้ทดลอง คือ น้ำกลั่น เนื่องจากมีราคาถูกสามารถมาง่ายในท้องตลาด ไม่ทำปฏิกิริยากับท่อฮีทไปป์ที่กับด้วยวัสดุทองแดง

(ก)

(ข)

**รูปที่ 15** แสดงท่อฮีทไปป์ทองแดงหน้าตัดกลมมีเกลียวภายใน (ก) และลักษณะเกลียวภายในท่อฮีทไปป์เมื่อคลี่เป็นแผ่น(ข)

ส่วนควบแน่น (Condenser) จะใช้เป็นแผงระบายความร้อนชนิดครีป เลือกใช้อลูมิเนียมเพราะไม่เกิดสนิม โดยใช้อากาศเป็นตัวพาความร้อน มีจำนวนฟินที่ใช้งาน 17-18 ครีปต่อนิ้ว (FPI) โดยอัดติดแน่นต่อกับท่อฮีทไปป์ทำให้ถ่ายเทความร้อนได้ดี เนื่องจากปริมาตรของท่อฮีทไปป์ส่วนควบแน่นต้องเท่ากับปริมาตรท่อฮีทไปป์ส่วนระเหย หากต้องการลดพื้นที่ส่วนควบแน่น ต้องใช้ความยาวท่อฮีทไปป์ของส่วนควบแน่นให้มีระยะที่สั้นกว่าความยาวท่อฮีทไปป์ส่วนระเหย ดังนั้น จึงเลือกขนาดท่อฮีทไปป์ส่วนควบแน่นให้ใหญ่กว่าท่อฮีทไปป์ส่วนระเหย โดยเลือกใช้ท่อฮีทไปป์ส่วนระเหยขนาด 3 หุน คำนวณปริมาตรของท่อฮีทไปป์ส่วนระเหยคือ  $62 \text{ cm}^3$  จึงได้ขนาดของท่อฮีทไปป์ส่วนควบแน่นอยู่ที่ 4 หุน แสดงดังรูปที่ 16





**รูปที่ 16** แผงระบายความร้อนส่วนควบแน่นอัดติดกับครีบอลูมิเนียมกับท่อฮีทไปป์ขนาด 4 หุน จำนวน 7 ท่อ

ชุดวาล์วรูปตัวที ทำหน้าที่ในการควบคุมการอัดก๊าซไนโตรเจน เข้าไปในท่อฮีทไปป์สำหรับทดสอบรอยรั่ว จากนั้นดูอากาศภายในท่อฮีทไปป์ให้เกิดสุญญากาศ ก่อนที่จะเติมของเหลวทำงานคือน้ำกลั่นเข้าไปภายในท่อฮีทไปป์ ดังรูปที่ 17



**รูปที่ 17** แสดงวาล์วรูปตัวที ใช้สำหรับทำสุญญากาศและเติมของเหลวทำงานเข้าท่อฮีทไปป์

สารนำความร้อน (Heat Transfer Compound) ใช้สารนำความร้อน Unick 150 กรัม ดังรูปที่ 18 เป็นตัวเชื่อมระหว่างท่อฮีทไปป์กับบริเวณหลังแผงโซลาร์เซลล์ เพื่อให้เกิดการแนบชิดส่งผลให้ความร้อนถ่ายเทความร้อนจากหลังแผงโซลาร์เซลล์ไปยังท่อฮีทไปป์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ



**รูปที่ 18** แสดงสารนำความร้อนที่ใช้พาความร้อนระหว่างแผงโซลาร์เซลล์ไปยังท่อฮีทไปป์ส่วนระเหย

### 3.1.2 เครื่องมือวัด

1) เครื่องวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ (Pyranometer) ใช้สำหรับวัดความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ที่ส่องมายังพื้นโลก โดยใช้หน่วยความเข้มแสงเป็น วัตต์/ตารางเมตร

2) เกจวัดความดัน ยี่ห้อ EMPEO ใช้สำหรับวัดความดันขณะเติมก๊าซไนโตรเจนขนาด 30 Psi วัดความดันสุญญากาศ 30 inHg ในขั้นตอนดูดด้วยเครื่องสุญญากาศ และตรวจสอบการรั่วของอากาศภายในระบบ

3) เครื่องบันทึกอุณหภูมิแบบเทอร์โมคัปเปิลแบบดิจิตอล ยี่ห้อ OMEGA 2176A สามารถอ่านค่าอุณหภูมิได้จากการต่อร่วมกับสายวัดอุณหภูมิเทอร์โมคัปเปิลชนิด K

4) สายวัดอุณหภูมิแบบเทอร์โมคัปเปิล ชนิด K แม่นยำ  $\pm 1$  องศาเซลเซียส ใช้สำหรับนำไปสัมผัสบริเวณที่ต้องการทราบถึงอุณหภูมิ โดยใช้การอ่านค่าผ่านเครื่องวัดอุณหภูมิแบบเทอร์โมคัปเปิล

5) เครื่องมัลติมิเตอร์ ยี่ห้อ Fluke 16 ใช้สำหรับวัดค่าแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ของโซลาร์เซลล์

6) เครื่องสุญญากาศ 1 stage ยี่ห้อ SECO VE115 ความสามารถดูดอากาศ 2 CFM ใช้สำหรับดูดอากาศภายในท่อฮีทไปป์ให้กลายเป็นสุญญากาศ (ความดัน 30 inHg)

## 3.2 การวางแผนระบบ

3.2.1 ศึกษาทฤษฎี งานวิจัย และเอกสารต่างๆที่เกี่ยวข้อง เกี่ยวกับวิธีระบายความร้อนของแผงโซลาร์เซลล์

3.2.2 ศึกษาการใช้เครื่องมือวัดที่เกี่ยวข้องกับแผงโซลาร์เซลล์

3.2.3 เลือกแบบแม่พิมพ์จากการเปรียบเทียบหน้าตัดหลังจากกดอัดท่อฮีทไปป์ขึ้นทดสอบระยะยู่ที่ 1, 1.5, 2 และ 2.5 มิลลิเมตร

3.2.4 นำที่ทำแม่พิมพ์ไปขึ้นรูปโดยการใส่เครื่องกัด กัดผิวแม่พิมพ์ตามแบบแม่พิมพ์ที่ได้

ออกแบบ

3.2.5 นำท่อทองแดงหน้าตัดวงกลมไปกดอัดให้กลายเป็นท่อทองแดงแบบแบน

3.2.6 นำท่อทองแดงที่ผ่านการกดอัดเป็นแบบแบน ไปติดตั้งเชื่อมต่อท่อทองแดงหน้าตัดกลม 4 หุน ที่ออกมาจากคอนเดนเซอร์ชนิดฟิน (Fin) ส่วนท่อทองแดงที่ผ่านการกดอัดเป็นแบบแบนติดตั้งแนบกับด้านหลังแผงโซลาร์เซลล์

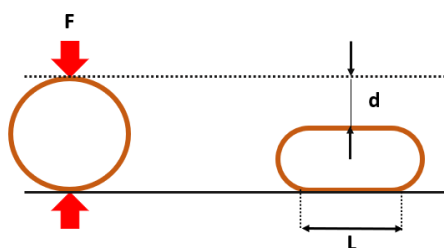
3.2.7 ติดตั้งเครื่องมือในการตรวจวัด และเก็บข้อมูลการทดลองจากการติดตั้งเครื่องวัดความเข้มแสง อุณหภูมิแผงโซลาร์เซลล์ กระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์ ในช่วงเวลาทดสอบ 11.30 นาฬิกา ถึง 15.30 นาฬิกา

3.2.8 การวิเคราะห์ข้อมูลจะพิจารณาค่ากำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพที่ผลิตได้ระหว่างโซลาร์เซลล์ปกติกับโซลาร์เซลล์ติดตั้งฮีทไปป์แบบแบน

### 3.3 ขั้นตอนการขึ้นรูปแม่พิมพ์กดอัดท่อฮีทไปป์ส่วนระเหยแบบแบน

3.3.1 การออกแบบขนาดแม่พิมพ์กดอัดท่อฮีทไปป์

เริ่มการทำขึ้นทดสอบของท่อฮีทไปป์ขนาด 6.5 เซนติเมตร (ขนาดความยาวเท่ากับแป้นกดของเครื่องพอดี้) หาระยะยุบตัวจากการกดแบบอิสระด้วยเครื่องกดไฮดรอลิกของท่อฮีทไปป์ขึ้นทดสอบที่ทำให้เกิดการพับเสียรูป กำหนดขนาดไว้คือ 1, 1.5, 2, 2.5 มิลลิเมตร ซึ่งจะแสดงแผนภาพจำลองการยุบตัวหลังจากกดอัดด้วยระยะยุบตัว (d) สังเกตการเปลี่ยนรูปและยุบตัวของหน้าตัดท่อแบน ระยะการแผ่ออกข้าง และความยาวของผิวสัมผัสหน้าตัด (L) ดังรูปที่ 19 เมื่อระยะยุบตัวเพิ่มขึ้นพื้นที่สัมผัสจะเพิ่มขึ้นตาม แต่ที่ระยะยุบ 2.5 มิลลิเมตรจะมีการเสียรูปเป็นรอยหักที่เป็นอุปสรรคต่อการไหลของของเหลว ผู้วิจัยจึงเลือกที่ระยะยุบ 2 มิลลิเมตร



รูปที่ 19 แสดงภาพจำลองลักษณะรูปร่างการยุบตัวของชิ้นงานทดสอบการกดด้วยเครื่องไฮดรอลิก

นำมาเขียนแบบแม่พิมพ์โดยใช้เครื่องกัดในการเจาะร่องแม่พิมพ์ กัดเจาะร่องกึ่งกลางตามแนวยาวของแท่งเหล็กด้วยความกว้าง ความยาว และความลึก 7.53 มิลลิเมตรโดยประมาณ เนื่องจาก

เครื่องกัดมีค่าความคลาดเคลื่อนที่ 0.03 มิลลิเมตร แม่พิมพ์เหล็กที่ใช้ในการกัดอัดท่อฮีทไปป์ให้แบนที่ ระยะยุบ 2 มิลลิเมตรพร้อมทั้งส่วนที่ใช้อัดครีบอลูมิเนียม ดังรูปที่ 20



(ก)



(ข)

รูปที่ 20 แสดงขึ้นรูปแม่พิมพ์เหล็กด้วยเครื่องกัดที่ใช้ในการกัดอัดอลูมิเนียม(ก) และแสดงขึ้นหน้าตัด ขึ้นทดสอบของท่อฮีทไปป์ 1, 1.5, 2, 2.5 เรียงจากซ้ายไปขวา (ข)

### 3.3.2 ครีบอลูมิเนียมบาง

ครีบอลูมิเนียมบาง เพื่อช่วยนำความร้อนจากแผงโซลาร์เซลล์ไปยังท่อฮีทไปป์ โดยสามารถ ครอบทับลงบนท่อฮีทไปป์กับหลังแผงโซลาร์เซลล์ได้อย่างแนบชิดยิ่งขึ้น โดยระหว่างแผ่นอลูมิเนียม บางกับท่อฮีทไปป์และหลังแผงโซลาร์เซลล์จะใช้ตัวประสานปิโตรยช่องว่าง มีการใช้เพื่อเพิ่ม ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน ดังรูปที่ 21



รูปที่ 21 แม่พิมพ์อัดครีบอลูมิเนียมบางเพื่อช่วยระบายความร้อน และยึดท่อฮีทไปป์ให้ติดกับหลังแผง โซลาร์เซลล์

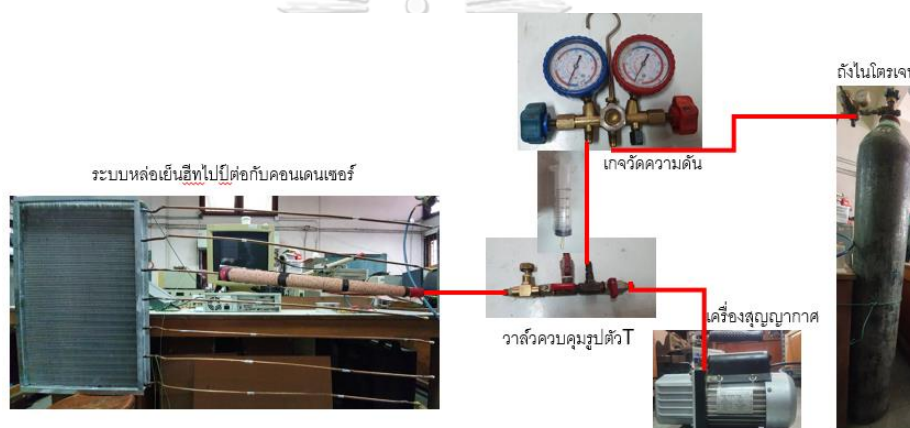
### 3.4 ขั้นตอนการทำท่อฮีทไปป์และเติมของเหลวทำงาน (น้ำกลั่น)

ส่วนควบแน่น(Condenser) ที่ผ่านการอัดร่วมกับท่อทองแดงขนาด 4 หุน นำมาต่อเชื่อมกับท่อทองแดงขนาด 3 หุน โดยท่อทองแดง 3 หุน ได้มีการตัดท่อทำมุม 45 องศา เพื่อหลบโครงเหล็กที่ยึดติดกับแผงโซลาร์เซลล์

การทำสุญญากาศ เริ่มจากดูดความชื้นภายในระบบฮีทไปป์ออก โดยการใส่โพลดทำความร้อนครอบท่อฮีทไปป์ส่วนที่เป็นส่วนระเหย ปรับกำลังไฟฟ้าที่ 60 วัตต์ สำหรับส่งความร้อนไปยังท่อฮีทไปป์เพื่อให้อากาศชื้นในระบบ ผ่านความวาล์วรูปตัว T ที่ปิดวาล์วเติมของเหลว และปิดวาล์วเกจวัดความดันไนโตรเจนที่ความดัน 100 Psi เปิดวาล์วเครื่องสุญญากาศ เพื่อดูดอากาศชื้นออกมาใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง 30 นาที เนื่องจากหากมีอากาศชื้นค้างภายในระบบจะทำให้ความดันในระบบเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนในระบบ



การเติมน้ำกลั่นเริ่มจากนำโพลิตทำความร้อนครอบท่อฮีทไปป์ ส่วน ระบายปรับกำลังไฟฟ้าที่ 60 วัตต์ สำหรับส่งความร้อนไปยังท่อฮีทไปป์ ปิดเครื่องสุญญากาศ ปิดวาล์วรูปตัว T ของเครื่องสุญญากาศ ต่อด้วยปิดวาล์วควบคุมรูปตัว T ของถังไนโตรเจน ต่อมาเปิดวาล์วควบคุมตัว T ของสลิ้งซ์ฉีดยาโดยผู้วิจัยที่ได้ทำการสำรวจงานวิจัยหลายท่าน จะเติมปริมาณน้ำกลั่น 50% ของส่วนระบาย หากน้ำกลั่นต่ำกว่า 50 % ของส่วนระบายจะทำให้มีการถ่ายเทความร้อนได้น้อยแต่หากเติมน้ำกลั่นสูงกว่า 50 % ของส่วนระบาย ทำให้พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนที่เป็นฟิล์มของเหลวลดลง ดังนั้นงานวิจัยนี้จะเติมน้ำกลั่นที่ 60 % ของส่วนระบาย เพื่อทดแทนปริมาตรน้ำกลั่นประมาณ 10 % ที่เกาะบริเวณท่อสายยางและวาล์วรูปตัว T ผู้วิจัยคำนวณน้ำกลั่นที่ใช้เติมในฮีทไปป์อยู่ที่ปริมาตร 37.6 มิลลิลิตร ที่เท่ากับของธนกฤติ [5] เพื่อใช้สำหรับเปรียบเทียบผลกันได้(ภาคผนวก 2 การคำนวณ



ปริมาตรน้ำกลั่นภายในท่อฮีทไปป์) จากนั้นปิดวาล์วควบคุมรูปตัว T ของสลิ้งซ์ฉีดยา ตามด้วยใช้คีมบีบท่อมาบีบบริเวณวาล์วลูกศร จากนั้นทำการปิดจุกวาล์วลูกศร ดังรูปที่ 22

### รูปที่ 22 แสดงการดูความขึ้นภายในระบบและเติมน้ำกลั่น เข้าในท่อฮีทไปป์

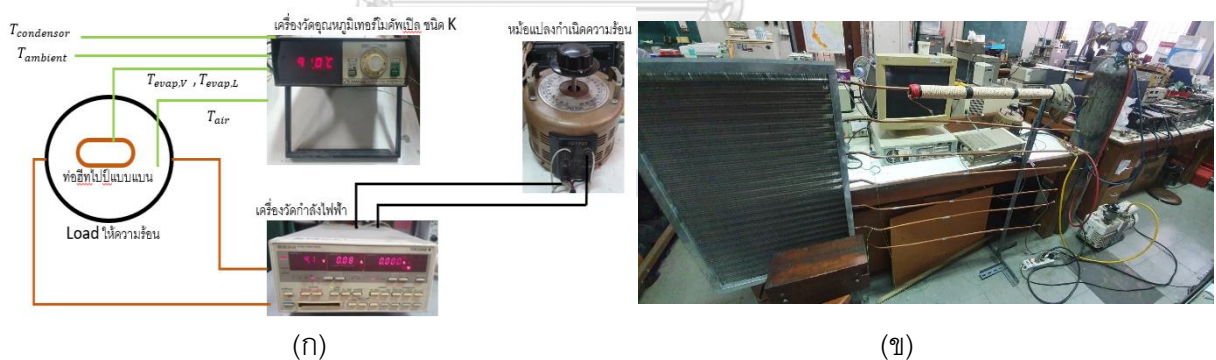
นำแม่พิมพ์มากอดอัดส่วนท่อทองแดง 3 หุน บริเวณท่อฮีทไปป์ส่วนระบาย โดยเว้นระยะห่างจากจุดตัด 45 องศา ที่ 10 เซนติเมตร เพื่อป้องกันการการตีบของท่อหากเข้าใกล้จุดตัด และเว้นระยะจากปลายข้อต่อลด 2 หุน ที่เป็นวาล์วลูกศร ห่าง 10 เซนติเมตร เพื่อสามารถเปลี่ยนแก้ไขข้อต่อลด 2 หุน ที่เป็นวาล์วลูกศรได้ ดังรูปที่ 23



รูปที่ 23 การใช้แม่พิมพ์กดอัดท่อฮีทไปป์ทองแดง 3 หุน บริเวณส่วนระเหย

### 3.5 การทดสอบท่อฮีทไปป์

เมื่อส่วนควบแน่นติดตั้งท่อฮีทไปป์ทองแดงผ่านการกดอัดด้วยแม่พิมพ์แล้ว ต่อมาทำการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบ โดยนำ Load ให้ความร้อน สวมครอบท่อฮีทไปป์ทำหน้าที่จำลองการปล่อยความร้อนผ่านอากาศไปสู่ท่อฮีทไปป์แบน โดยใช้หม้อแปลงกำเนิดความร้อนเป็นอุปกรณ์สำหรับปรับกำลังไฟฟ้า ดังรูปที่ 24 ซึ่งสามารถอ่านกำลังไฟฟ้าผ่านเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า ปรับกำลังไฟฟ้าตั้งแต่ 30 – 100 วัตต์ ซึ่งเป็นช่วงที่ฮีทไปป์เกิดการ ทำงาน ของเหลวระเหยกลายเป็นไอไปยังส่วนควบแน่น โดยปรับเพิ่มขึ้นครั้งละ 10 วัตต์ และปรับละเอียดครั้งละ 5 วัตต์ ในช่วง 40 – 60 วัตต์ แต่ละช่วงจะให้ความร้อนเป็นเวลา 30 นาที ก่อนทำการบันทึกผลอุณหภูมิ



รูปที่ 24 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับให้ความร้อน และแสดงข้อมูลอุณหภูมิ(ก) และภาพรวมการทดสอบการทำงานของท่อฮีทไปป์ (ข)

### 3.6 การติดตั้งท่อฮีทไปป์ร่วมกับแผงโซลาร์เซลล์

เมื่อระบบระบายความร้อนฮีทไปป์ได้ทำการทดสอบจำลองการให้ความร้อน บันทึกข้อมูล

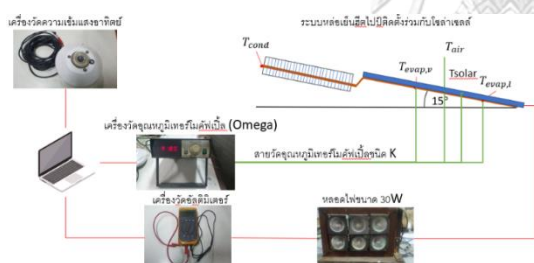


อุณหภูมิที่ฮีทไปป์ได้ตั้งรูปที่ 27 แล้ว พบว่าช่วงอุณหภูมิ 50-70 วัตต์ เกิดอุณหภูมิตกลงและติดตัวสูงขึ้น แสดงว่าสามารถทำงานได้ในช่วงอุณหภูมิที่โซลาร์เซลล์ทำงาน ต่อมาผู้วิจัยจึงทำการติดตั้งครีบอลูมิเนียมแนบกับหลังแผงข้างละ 1 เส้นผ่านศูนย์กลางที่ฮีทไปป์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อน ดังรูปที่ 25

### รูปที่ 25 การติดตั้งครีบอลูมิเนียมบางระหว่างฮีทไปป์กับหลังแผงโซลาร์เซลล์

### 3.7 การทดสอบแผงโซลาร์เซลล์ที่ติดตั้งฮีทไปป์และไม่ติดตั้งฮีทไปป์

ทดสอบแผงโซลาร์เซลล์เก็บข้อมูล โดยเปรียบเทียบระหว่าง แผงโซลาร์เซลล์ไม่ติดตั้งฮีทไปป์กับแผงโซลาร์เซลล์ติดตั้งฮีทไปป์ ทำการตรวจวัด และเก็บข้อมูลการทดลองจากการติดตั้งเครื่องวัดความเข้มแสง อุณหภูมิแผงโซลาร์เซลล์ กระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์ รูปที่ 26 การวัดอุณหภูมิหลังแผงโซลาร์เซลล์ 2 จุด คือ ตำแหน่งกลางบน และกลางล่าง ตามความยาวแผงโซลาร์เซลล์โดยยึดสายเทอร์โมคัปเปิลติดบนแผงด้วยเทปอะลูมิเนียมแล้วหุ้มทับด้วยฉนวนความร้อน ช่วงเวลาทดสอบในเดือนเมษายน ช่วงเวลาทดสอบ 11.30 น. ถึง 15.30 น. ณ ดาดฟ้าตึกโคลัมโบ คณะวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) CHULALONGKORN UNIVERSITY

(ข)

รูปที่ 26 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์เครื่องมือวัดสำหรับเก็บข้อมูลของแผงโซลาร์เซลล์ติดตั้งฮีทไปป์(ก) และการเปรียบเทียบระหว่างโซลาร์เซลล์ไม่ติดตั้งฮีทไปป์กับติดตั้งฮีทไปป์(ข)

## บทที่ 4

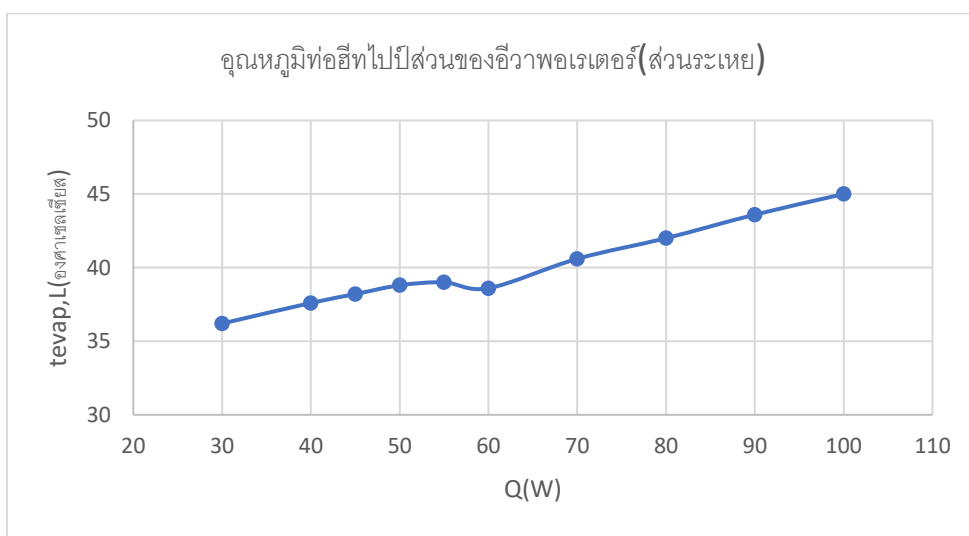
### ผลการวิจัย

#### 4.1 ผลการทดสอบการทำงานของฮีทไปป์แบบแบน

การทำงานของฮีทไปป์แสดงตามกราฟระหว่างอุณหภูมิที่ฮีทไปป์ส่วนระเหย และกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้ฮีทไปป์ของท่อที่ 6 เติมน้ำกลั่น 40 ml แสดงดังรูปที่ 27 การทำงานแบ่งออกเป็น 3 ช่วง คือ 1) ช่วงกำลังไฟฟ้า ต่ำกว่า 50 วัตต์ เป็นช่วงที่ของเหลวทำงานภายในฮีทไปป์เริ่มสะสม



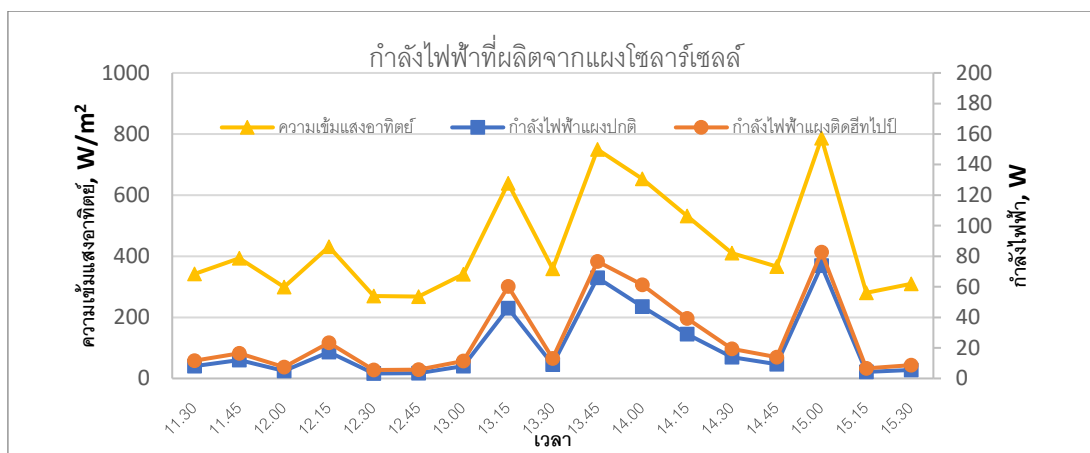
ความร้อนมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นตามความร้อนที่เข้าสู่อีวาพอเรเตอร์(ส่วนระเหย) 2) ช่วงกำลังไฟฟ้าระหว่าง 50-70 วัตต์ เป็นช่วงที่ใช้งานของฮีทไปป์ของเหลวทำงานภายในท่อฮีทไปป์เกิดการระเหยไปยังคอนเดนเซอร์(ส่วนควบแน่น) แล้วควบแน่นกลายเป็นของเหลวไหลกลับมาที่อีวาพอเรเตอร์(ส่วนระเหย) ช่วงนี้อุณหภูมิจะค่อนข้างคงที่เมื่อได้รับความร้อนเพิ่มขึ้น และ 3) ช่วงกำลังไฟฟ้าสูงกว่า 70 วัตต์ เป็นช่วงที่ของเหลวภายในท่อฮีทไปป์กลายเป็นไอหมดจะมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นตามความร้อนที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 27 กราฟแสดงการทำงานของท่อฮีทไปป์ ทั้ง 3 ช่วง

#### 4.2 ผลการผลิตกำลังไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์

ตัวอย่างกำลังไฟฟ้าที่แผงโซลาร์เซลล์ทั้งแผงปกติกับแผงที่ติดตั้งฮีทไปป์กับความเข้มแสงอาทิตย์ที่เวลาต่างๆ ในวันที่ 6 พฤษภาคม 2565 แสดงดังรูปที่ 28 เมื่อความเข้มแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้น แผงโซลาร์เซลล์ทั้งแผงปกติกับแผงที่ติดตั้งฮีทไปป์ จะผลิตกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นด้วย แต่อย่างไรก็ตามแผงโซลาร์เซลล์ปกติยังคงผลิตกำลังไฟฟ้าได้น้อยกว่าแผงโซลาร์เซลล์ที่ติดตั้งฮีทไปป์



รูปที่ 28 กราฟแสดงกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงโซลาร์เซลล์ปกติกับแผงโซลาร์เซลล์ติดตั้งฮีทไปป์

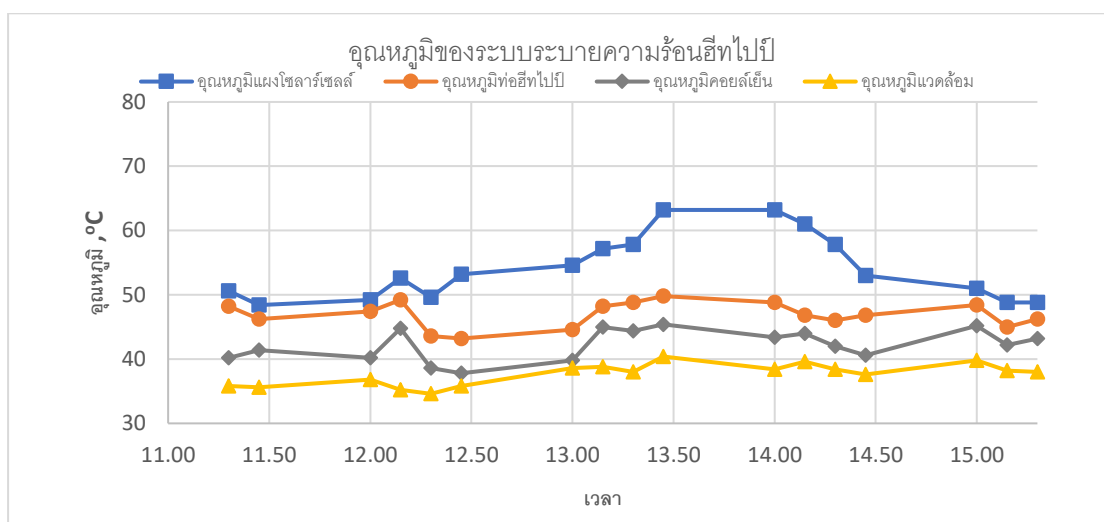
จากการทดสอบ 11 วันในระหว่างเวลา 11:30 –15:30 แผงโซลาร์เซลล์ปกติผลิตพลังงานไฟฟ้ารวมได้ 2,090 Wh และแผงโซลาร์เซลล์ติดตั้งฮีทไปป์ผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 2,340 Wh ดังนั้นแผงโซลาร์เซลล์ติดตั้งฮีทไปป์ผลิตพลังงานสูงกว่าแผงโซลาร์เซลล์ปกติ 250 Wh หรือสูงขึ้นประมาณ 12 % แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 พลังงานที่ผลิตได้ของแผงโซลาร์เซลล์ปกติ และแผงโซลาร์เซลล์ติดตั้งฮีทไปป์

วันที่	ความเข้มแสงอาทิตย์ W/m <sup>2</sup>	พลังงานที่ผลิตได้		ผลต่างพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ Wh
		แผงปกติ Wh	แผงติดตั้งฮีทไปป์ Wh	
25/04/65	781	316	337	21
27/04/65	796	318	340	22
28/04/65	717	271	279	26
29/04/65	762	284	319	35
30/04/65	788	320	342	22
01/05/65	359	48	69	21
02/05/65	598	142	166	24
05/05/65	411	76	99	23
06/05/65	437	85	109	24
08/05/65	408	159	177	18
09/05/65	405	71	85	14
รวม		2090	2340	250

#### 4.3 ผลการทดลองอุณหภูมิแผงโซลาร์เซลล์

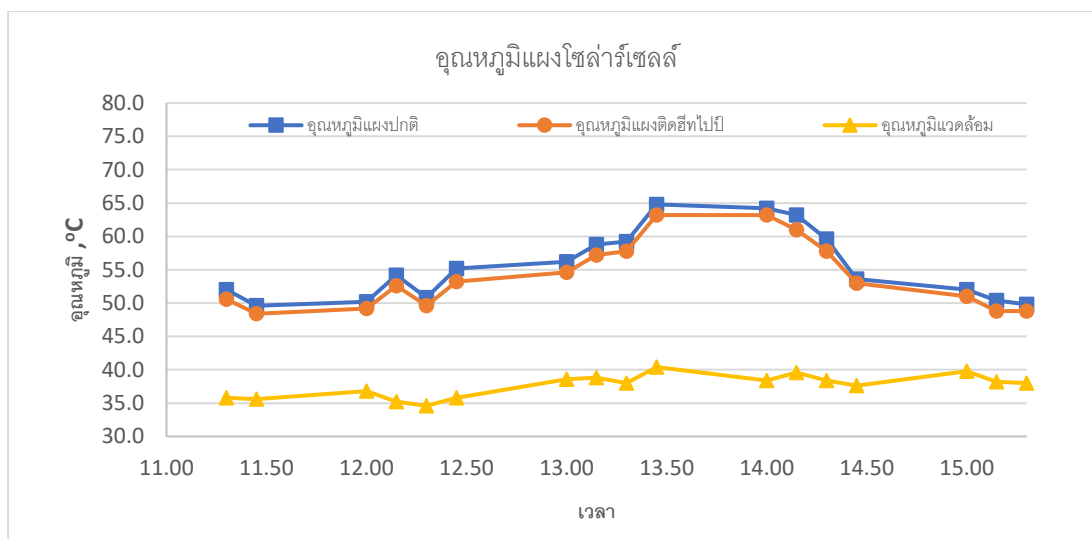
อุณหภูมิการทำงานของฮีทปั๊มที่ติดตั้งกับแผงโซลาร์เซลล์ของวันที่ 6 พฤษภาคม 2565 แสดงดังรูปที่ 29 ในการใช้งานจริงกับการระบายความร้อนออกจากแผงโซลาร์เซลล์ ความร้อนจากแผงจะถ่ายเทไปยังฮีทปั๊มส่วนอีวาพอเรเตอร์ และส่งต่อไปยังส่วนคอนเดนเซอร์ แล้วระบายความร้อนสู่อากาศโดยรอบ อุณหภูมิของแผงจะสูงกว่าอุณหภูมิที่ส่วนอีวาพอเรเตอร์ ในขณะเดียวกัน อุณหภูมิของท่อส่วนคอนเดนเซอร์จะสูงกว่าอุณหภูมิอากาศแวดล้อม



รูปที่ 29 กราฟอุณหภูมิการทำงานของฮีทปั๊มที่ติดตั้งกับแผงโซลาร์เซลล์

และรูปที่ 30 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิของแผงปกติกับแผงที่ติดตั้งฮีทปั๊มของวันที่ 6 พฤษภาคม 2565 จากกราฟพบว่าอุณหภูมิแผงโซลาร์เซลล์ปกติจะสูงกว่าอุณหภูมิแผงโซลาร์เซลล์ติดฮีทปั๊มตลอดเวลา แผงโซลาร์เซลล์ปกติมีอุณหภูมิเฉลี่ย 66.3 องศาเซลเซียส ส่วนแผงโซลาร์เซลล์ติดฮีทปั๊มมีอุณหภูมิเฉลี่ย 62.6 องศาเซลเซียสต่ำกว่าแผงโซลาร์เซลล์ปกติ 3.7 องศาเซลเซียส

สำหรับการทดลองทั้ง 11 วัน พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยแผงโซลาร์เซลล์ปกติ คือ 59.7 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยแผงโซลาร์เซลล์ติดฮีทปั๊ม อยู่ที่ 57.3 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิ จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิเฉลี่ยแผงโซลาร์เซลล์ติดฮีทปั๊มแบบแบนต่ำกว่า อุณหภูมิเฉลี่ยแผงโซลาร์เซลล์ปกติอยู่ 2.4 องศา ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน SD 0.70 เซลเซียสหรือร้อยละ 4 ดังแสดงในตารางที่ 7 เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของธนกฤต[5] ที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยแผงโซลาร์เซลล์ติดฮีทปั๊มแบบท่อกลมต่ำกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยแผงโซลาร์เซลล์ปกติอยู่ที่ 1.4 องศาเซลเซียสจึงสรุปได้ว่าฮีทปั๊มแบบท่อบน สามารถถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าฮีทปั๊มแบบท่อกลม



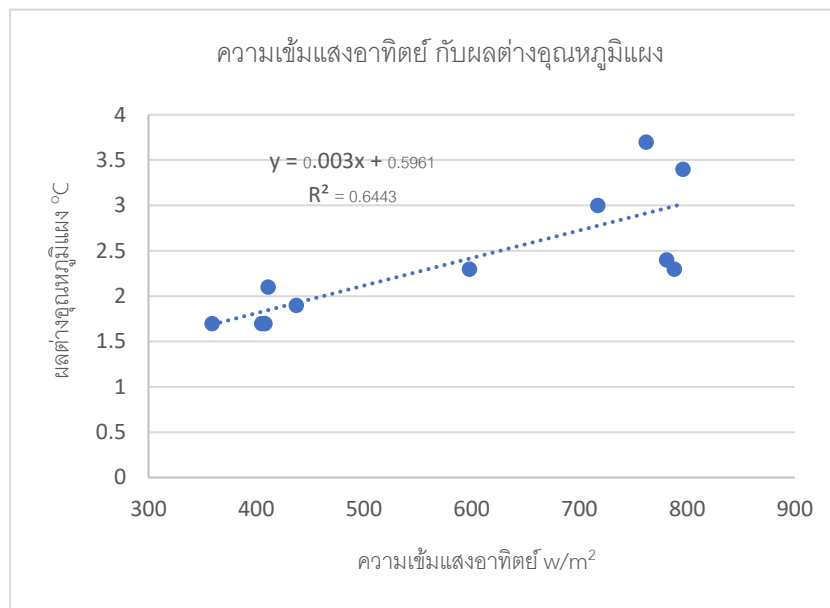
รูปที่ 30 การเปรียบเทียบอุณหภูมิแผงโซลาร์เซลล์ปกติ กับแผงโซลาร์เซลล์ติดฮีทไปป์

ตารางที่ 7 แสดงอุณหภูมิระหว่างแผงเซลล์แผงโซลาร์เซลล์ปกติและแผงโซลาร์เซลล์ติดฮีทไปป์

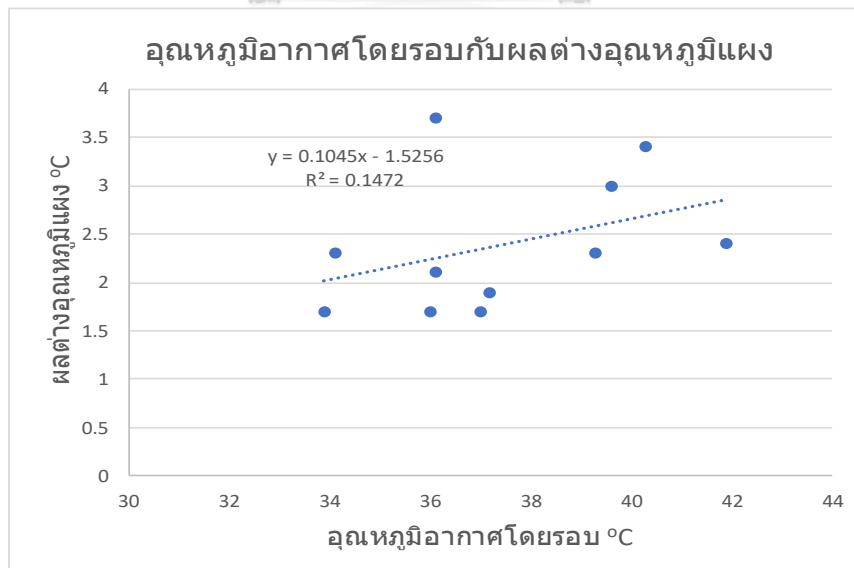
วันที่	อุณหภูมิแวดล้อม °C	อุณหภูมิแผงโซลาร์เซลล์		ผลต่างอุณหภูมิ แผงโซลาร์เซลล์ K
		แผงปกติ °C	แผงติดฮีทไปป์ °C	
25/04/65	41.9	63.5	61.1	-2.4
27/04/65	40.3	71.1	67.7	-3.4
28/04/65	39.6	63.5	60.5	-3.0
29/04/65	36.1	66.3	62.6	-3.7
30/04/65	39.3	64.5	62.2	-2.3
01/05/65	33.9	50.1	48.4	-1.7
02/05/65	34.1	54.6	52.3	-2.3
05/05/65	36.1	57.7	55.6	-2.1
06/05/65	37.2	55.6	53.7	-1.9
08/05/65	37	55.3	53.6	-1.7
09/05/65	36	54.2	52.5	-1.7
เฉลี่ย	37.4	59.7	57.3	-2.4
SD	2.56	6.43	5.85	0.70

#### 4.4 การหาความสัมพันธ์อุณหภูมิแผงโซลาร์เซลล์ที่ลดลงกับความเข้มแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิอากาศภายนอก

โดยจากรูปที่ 31 พบว่า ผลต่างอุณหภูมิแผงโซลาร์เซลล์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความเข้มแสงอาทิตย์ และผลต่างอุณหภูมิแผงโซลาร์เซลล์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิอากาศโดยรอบด้วย ดังรูปที่ 32



รูปที่ 31 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงอาทิตย์กับผลต่างอุณหภูมิแผงโซลาร์เซลล์



รูปที่ 32 ความสัมพันธ์ระหว่าง ผลต่างอุณหภูมิแผงโซลาร์เซลล์กับอุณหภูมิอากาศโดยรอบ

#### 4.5 ผลประสิทธิภาพพลังงานรายวันของแผงโซลาร์เซลล์แผงปกติและแผงติดตั้งฮีทไปป์

ใช้ตัวอย่างข้อมูล ในวันที่ 6 พฤษภาคม 2565 มีพลังงานแสงอาทิตย์เป็น Input และพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เป็น Output พบว่า ประสิทธิภาพพลังงานรายวันของแผงปกติ ร้อยละ 7.03 และประสิทธิภาพพลังงานรายวันของแผงติดตั้งฮีทไปป์ร้อยละ 8.18 หรือเพิ่มขึ้น ร้อยละ 1.15 จะเห็นได้ว่า ประสิทธิภาพพลังงานรายวันของทั้ง 2 แผงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ อาจเนื่องจากระบบระบายความร้อนยังไม่ดีพอเพราะความต้านทานความร้อนของแผ่นปิดหลังโซลาร์อาจมีค่าสูงมากกว่าความต้านทานความร้อนไปยังท่อฮีทไปป์ทำให้ความต้านทานความร้อนรวมลดลงไม่มาก เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพพลังงานรายวันของแผงโซลาร์เซลล์และแผงโซลาร์เซลล์ติดตั้งฮีทไปป์ ที่ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยใกล้เคียงกัน ระหว่างผู้วิจัยใช้ท่อฮีทไปป์แบบแบนกับผู้วิจัยก่อนหน้านี้คือนายธนกฤต ใช้ท่อฮีทไปป์แบบหน้าตัดกลม ซึ่งนายธนกฤตได้ทดสอบ ณ วันที่ 8 มีนาคม 2564 ที่ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย  $619.39 \text{ W/m}^2$  จะได้ประสิทธิภาพรายวันของแผงปกติ ร้อยละ 7.39 และประสิทธิภาพรายวันของแผงติดตั้งฮีทไปป์ ร้อยละ 8.45 ทำให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.06 เมื่อนำประสิทธิภาพพลังงานรายวันเปรียบเทียบกับของผู้วิจัยซึ่งใช้ท่อฮีทไปป์แบบหน้าตัดแบนเพื่อลดความต้านทานความร้อน โดยเลือกวันทดสอบที่มีความเข้มแสงอาทิตย์ใกล้เคียงกับของนายธนกฤตคือ ในวันที่ 2 พฤษภาคม 2565 ที่ความเข้มแสงอาทิตย์  $598 \text{ W/m}^2$  ได้ประสิทธิภาพรายวันของแผงปกติ ร้อยละ 8.24 และประสิทธิภาพรายวันของแผงติดตั้งฮีทไปป์ร้อยละ 8.26 ทำให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.02 สรุปคือ แผงโซลาร์ติดตั้งท่อฮีทไปป์แบบแบน มีประสิทธิภาพรายวันต่ำกว่า แผงโซลาร์ติดตั้งท่อฮีทไปป์แบบกลมร้อยละ 0.19 ซึ่งผลที่วัดได้เพียง 1 วันอาจไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากยังมีพารามิเตอร์อื่นที่นอกจากความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย เช่นลักษณะการกระจายตัวของความเข้มแสงอาทิตย์ ประสิทธิภาพการทำสุญญากาศของท่อฮีทไปป์ เป็นต้น ที่มีผลกับประสิทธิภาพรายวันของแผงโซลาร์เซลล์ และอีกส่วนหนึ่งเกิดจากความไม่แน่นอนในการวัดพารามิเตอร์ต่างๆ

#### 4.6 ความคุ้มค่าในการลงทุน

ต้นทุนสำหรับระบบระบายความร้อนฮีทไปป์ประมาณ 3,389 บาท แผงโซลาร์เซลล์แบบติดตั้งฮีทไปป์ สามารถผลิตค่าเฉลี่ยพลังงานไฟฟ้า(E) ได้เพิ่มขึ้น 250 Wh หรือ 0.25 kWh เป็นเวลา 11 วัน ตั้งแต่ 11.30 น. – 15.30 น. รวม 4 ชั่วโมงในแต่ละวัน ดังนั้นค่าเฉลี่ยใน 1 วัน (7.00 น.- 17.00 น.) เป็นเวลา 10 ชั่วโมง เป็น 0.625 kWh หรือใน 1 ปี อยู่ที่ 20.7 kWh โดยค่าไฟฟ้า(C) 4.72 บาท/kWh อ้างอิงในงวดเดือน ก.ย-ธ.ค.2565 ทำให้โซลาร์เซลล์ที่ติดตั้งท่อฮีทไปป์สามารถประหยัดรายจ่ายได้

97.8 บาท ทำให้ระยะเวลาในการคืนทุนอยู่ที่ประมาณ 35 ปี ซึ่งเกินอายุการใช้งานของแผงโซลาร์เซลล์จึงไม่คุ้มค่าในการลงทุน

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาเกี่ยวกับการประยุกต์ฮีทไปป์แบบแบนเพื่อใช้ระบายความร้อนจากแผงโซลาร์เซลล์ ใช้เวลาในทดสอบทั้งสิ้น 11 วัน โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างแผงโซลาร์เซลล์ปกติ กับแผงโซลาร์เซลล์ติดตั้งฮีทไปป์แบบแบน พบว่าแผงโซลาร์เซลล์แบบติดตั้งฮีทไปป์สามารถลดอุณหภูมิแผงลงได้ 2.4 องศาเซลเซียส เทียบเป็น 4 % ของแผงโซลาร์เซลล์ปกติ ทำให้แผงโซลาร์เซลล์ติดตั้งฮีทไปป์ผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้น 250 Wh เทียบเป็น 12 % เทียบกับของพลังงานไฟฟ้าแผงโซลาร์เซลล์ปกติ พลังงานที่ผลิตได้เพิ่มขึ้นนี้เมื่อเทียบกับเงินลงทุนยังไม่คุ้มค่าในการลงทุน

#### ข้อเสนอแนะในการทำวิจัย

1. ในการทำสุญญากาศให้มีประสิทธิภาพควรใช้เกจวัดความดันแบบดิจิตอล เพื่อให้ได้สุญญากาศสูงสุด
2. ควรใช้เครื่องบันทึกข้อมูลแบบต่อเนื่องในการบันทึกข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์และกำลังไฟฟ้าที่แผงโซลาร์เซลล์ผลิตได้ เนื่องจากมีค่าเปลี่ยนแปลงมากโดยเฉพาะตอนที่มีลมและเมฆมาบังแสงอาทิตย์
3. การเติมของเหลวในสลิชควรมีให้พอดีตามที่ได้คำนวณไว้ โดยเผื่อปริมาตรของเหลวที่ตกค้างในสายยาง และวาล์วควบคุมตัว T เนื่องจากเมื่อทำการเปิดวาล์วควบคุมตัว T ระบบจะดูดของเหลวเร็วมาก ยากต่อการควบคุมปริมาตร
4. เพื่อลดการสัมผัสระหว่างท่อฮีทไปป์กับแผงโซลาร์เซลล์ควรใช้ระบบระบายความร้อนด้วยการนำแผงโซลาร์เซลล์ไปลอยในสระน้ำขนาดใหญ่ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าบรรยากาศแทน

### บันทึกข้อมูล

#### การทดสอบประสิทธิภาพท่อฮีทไปป์

ผลการทดสอบท่อฮีทไปป์แบบหน้าตัดกลมที่ระบายความร้อนให้คอนเดนเซอร์ทั้งหมด 7 ท่อ ที่ระดับกำลังความร้อน 30 – 100 วัตต์ ดังตารางที่ 8

#### ตารางที่ 8 แสดงข้อมูลอุณหภูมิที่ได้ทำการตรวจวัดในแต่ละท่อฮีทไปป์

ฮีทไปป์	แหล่งความร้อน (วัตต์)	$T_{\text{Heater}} (c1)$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$T_{\text{evapL}} (c2)$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$T_{\text{evap,vapor}} (c4)$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$T_{\text{cond}} (c3)$ ( $^{\circ}\text{C}$ )
ท่อที่ 1	30	50	41.6	38.8	27.8
	40	56.2	43	39.8	28.8
	45	58.6	46.8	40.4	29
	50	61.4	59.4	40.6	28
	55	64.2	61.8	40.8	28
	60	66.4	63.4	41	27.8
	65	68	64.8	41.6	28
	70	71	66.6	41.8	27.8
	80	75.6	69	42.6	28.2
	90	79.4	57.2	46	33.2
100	81.6	68.4	42.8	32.6	
ท่อที่ 2	30	54.2	50	31.8	27.8
	40	62	54	32.6	28
	45	64.8	55.6	32.8	28
	50	69.2	57.4	33	28
	55	71.2	57.8	33.6	28
	60	76	58.4	34	28
	65	83.4	61.4	35.2	28.4
	70	83.4	61.4	35.2	28.4
	80	91.8	63.8	36	28.8
	90	96.4	65	36.6	28.8
100	103	67	42.8	28.8	



ท่อที่ 3	30	51.6	35.8	34	28.2
	40	59	37	34.8	28.2
	45	62.2	37.4	35	28.2
	50	66	37.8	35.4	28.2
	55	69	39	35.6	28.2
	60	72.4	40.6	37	28.6
	70	79.8	39.8	37.2	28.6
	80	84.6	40.8	37.8	28.6
	90	92.8	42.2	38.6	28.6
	100	103	45	38.8	28.6
ท่อที่ 4	30	51.4	31.2	31	28.6
	40	57.4	32.4	31.8	28.6
	45	60.6	33	32.2	28.8
	50	64.0	33.2	32.8	29
	55	66.8	34.2	33.2	29.4
	60	71.2	36.6	34.4	29.8
	70	75.8	35.6	34.8	29.8
	80	80.2	36.6	35.8	30
	90	86.6	37.8	37.6	30.6
	100	92.2	38.6	38.6	30.6
ท่อที่ 5	30	49	33	31.2	28
	40	55.2	34	31.8	28
	45	58	33.6	32.6	28
	50	60.4	35.8	32.6	28
	55	64	36	33.4	28
	60	66.4	34.4	33.4	28
	70	72	38.4	34.6	28
	80	76.6	39.4	35.8	28
	90	81.4	40.4	35.8	28.2
	100	88.4	41.6	36.4	28.2

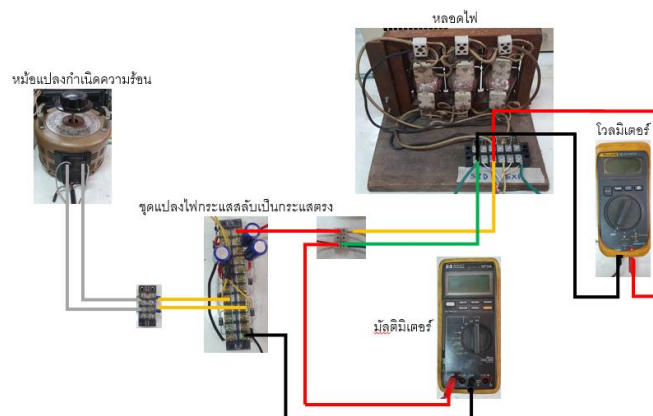
ท่อที่ 6	30	55.4	36.2	34.2	28
	40	61.8	37.6	35.2	28
	45	64.8	38.2	35.6	28
	50	68.4	38.8	36	28
	55	71.8	39.0	36.4	28
	60	75.4	38.6	37	28
	70	82	40.6	37.4	28.8
	80	87.2	42	38	28.8
	90	95.2	43.6	39	28.8
	100	87	45	39.8	28.8
ท่อที่ 7	30	52.4	33.2	31.2	28
	40	58.8	34.6	32.2	28
	45	61.8	35.2	32.6	28
	50	65.4	35.8	33	28
	55	68.8	33.4	33.4	28
	60	72.4	37.2	34	28.8
	70	79	37.6	34.4	28.8
	80	84.2	39	35	28.8
	90	92.2	40.6	36	28.8
	100	84	42	36.8	28.8

\*ลำดับท่อฮีทไปป์นับจากขวาไปซ้ายหากนำมาติดตั้งร่วมกับแผงโซลาร์เซลล์ โดยบันทึกผลทุกๆ 30 นาทีนับจากตั้งค่าแหล่งความร้อน กำหนดความร้อนตั้งแต่ 40-100 วัตต์ ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ( $T_{\text{Heater}}$  หรือ  $T_A$ ) โดยอุณหภูมิของส่วนระเหยที่เป็นของเหลว ( $T_{\text{Evap,liquid}}$  หรือ  $T_{E,L}$ ) และ ส่วนระเหยที่เป็นไอ ( $T_{\text{Evap,vapor}}$  หรือ  $T_{E,v}$ ) ขึ้นอยู่กับอากาศที่อยู่ในท่อจากการดูดอากาศภายในท่อให้เป็นสูญญากาศ และรอยรั่วของข้อต่อจากจากเชื่อมของท่อฮีทไปป์

#### การหาค่าพลังงานที่ป้อนให้หลอดไฟฟ้าที่เป็นโหลดของแผงโซลาร์เซลล์

การทดสอบการหาค่าพลังงานที่ป้อนให้หลอดไฟฟ้าที่แรงดันไฟฟ้าต่างๆโดยใช้หม้อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับแล้วแปลงเป็นกระแสตรง ต่อเข้ากับหลอดไฟฟ้าที่จะเป็นโหลดให้กับแผงโซลาร์เซลล์ จากนั้นปรับแรงดันไฟฟ้าในช่วง ประมาณ 0 - 80 V จดบันทึกทุกๆการเพิ่มขึ้นประมาณ 5 V แล้ววัด

กระแสไฟฟ้าขาเข้า แรงดันไฟฟ้าขาเข้า และแรงดันต่ำขาออก ช่วง 0-5 V เพื่อให้เหมาะสมกับมิเตอร์ที่ใช้วัดแสดงดังรูปที่ 31 และข้อมูลแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า ขาเข้า(input) กับแรงดันไฟฟ้า ขาออก (output) ของหลอดไฟฟ้า แสดงในตารางที่ 9

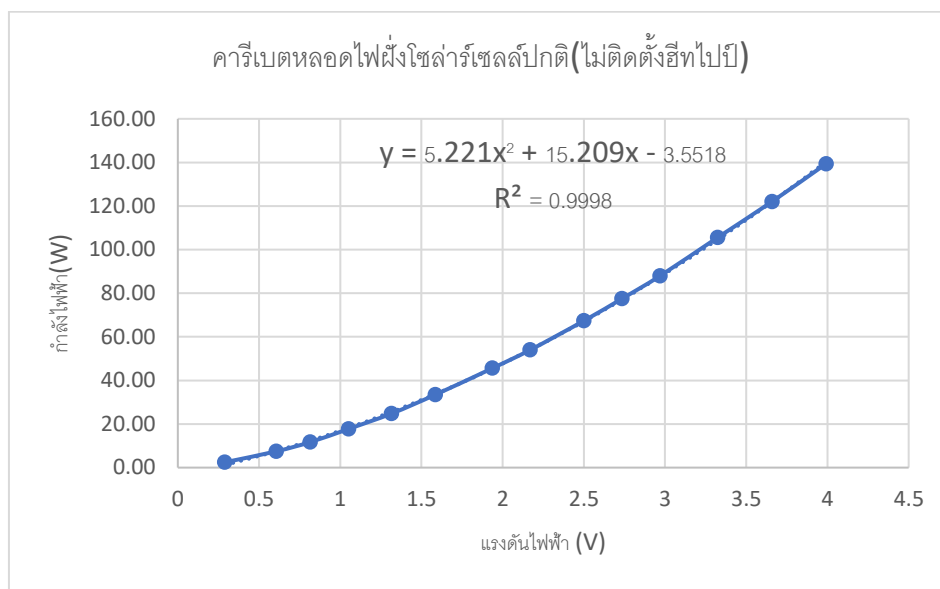


รูปที่ 33 ไดอะแกรมการทดสอบหลอดไฟฟ้า

ตารางที่ 9 ข้อมูลแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า ขาเข้า(input) กับ แรงดันไฟฟ้า ขาออก (output) ของหลอดไฟฟ้า

input			output
แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (W)	แรงดันไฟฟ้า (V)
6	0.41	2.46	0.29
12.47	0.6	7.48	0.607
16.99	0.69	11.72	0.816
21.93	0.81	17.76	1.052
27.24	0.91	24.79	1.316
33.1	1.01	33.43	1.585
40.35	1.13	45.60	1.937
45	1.2	54.00	2.17
51.8	1.3	67.34	2.5
56.6	1.37	77.54	2.736
61.5	1.43	87.95	2.969
69	1.53	105.57	3.324
75.8	1.61	122.04	3.659
82.5	1.69	139.43	3.992

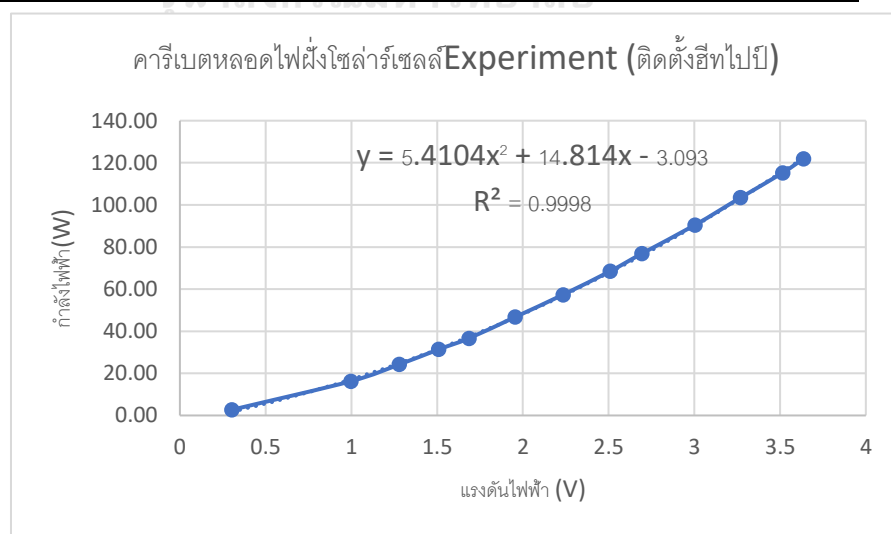
เมื่อได้ข้อมูลกำลังไฟฟ้า(ขาเข้า) และแรงดันไฟฟ้า(ขาออก) แล้วนำข้อมูลข้างต้นมาพลอตกราฟ และสร้างสมการความสัมพันธ์แสดงดังรูปที่ 32 โดยแทนค่าแรงดันไฟฟ้า(แกนx)ที่ตรวจวัดได้จากการผลิตด้วยโซลาร์เซลล์ปกติ เพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ ในทำนองเดียวกันจะได้ข้อมูลแสดงในตารางที่ 10 และสมการความสัมพันธ์สำหรับหลอดเป็นโหนดของแผงโซลาร์เซลล์ติดตั้งฮีทไปป์แสดงดังรูปที่ 33



รูปที่ 34 แสดงเปรียบเทียบกราฟระหว่างกำลังไฟฟ้าขาเข้า (W) กับ แรงดันไฟฟ้าขาออก (V) สำหรับหลอดไฟที่เป็นโหนดของแผงโซลาร์เซลล์ปกติ

ตารางที่ 10 แสดงข้อมูลแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า ขาเข้า(input) กับ แรงดันไฟฟ้า ขาออก (output) ของหลอดไฟฝั่งโซลาร์เซลล์ Experiment (ติดตั้งระบบฮีทปั๊ม)

input			output
แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (W)	แรงดันไฟฟ้า (V)
6.37	0.42	2.68	0.302
20.81	0.78	16.23	0.996
26.9	0.9	24.21	1.279
31.68	0.99	31.36	1.508
35.25	1.04	36.66	1.686
41	1.14	46.74	1.955
47	1.22	57.34	2.234
52.7	1.3	68.51	2.509
56.5	1.36	76.84	2.693
62.8	1.44	90.43	3.003
68.5	1.51	103.44	3.269
73.4	1.57	115.24	3.515
76.2	1.6	121.92	3.636
82	1.67	136.94	3.936



รูปที่ 35 แสดงเปรียบเทียบกราฟระหว่างกำลังไฟฟ้าขาเข้า (W) กับ แรงดันไฟฟ้าขาออก (V) สำหรับหลอดไฟที่เป็นโหลดของแผงโซลาร์เซลล์ติดตั้งฮีทปั๊ม

ตารางที่ 11 แสดงการเก็บข้อมูลระหว่างแผงโซลาร์เซลล์ Standard (ไม่ติดตั้งฮีทไปป์) กับแผงโซลาร์เซลล์ Experiment (ติดตั้งฮีทไปป์) วันที่ 25 เมษายน 2565

เวลา	ความเข้มแสงอาทิตย์ (mV)	ความเข้มแสงอาทิตย์ W/m <sup>2</sup>	แรงดันไฟฟ้าขาเข้า		กำลังไฟฟ้า		อุณหภูมิ (°C)						
			Exp	Std	Exp	Std	Experiment			Standard			
			V	V	W	W	ฮีทไปป์ (Tp)	หลังแผง (กลาง)	หลังแผง (บน)	คอนเดนเซอร์(Tc)	หลังแผง (กลาง)	หลังแผง (บน)	Ambient
11.30	6.99	423	1.390	1.096	28.0	19.4	46.8	53.0	52.6	43.8	-	-	41.4
11.45	11.12	673	2.444	2.06	65.4	49.9	40.0	55.4	55.0	36.4	-	-	43.6
12.00	14.03	849	2.950	2.966	87.7	87.5	43.2	60.4	60.0	39.8	-	-	40.0
12.15	15.72	951	3.042	3.2	92.0	98.6	58.8	66.2	65.8	39.2	-	-	43.0
12.30	15.03	909	3.010	3.035	90.5	90.7	59.0	65.4	65.0	40.2	-	-	46.0
12.45	13.36	808	2.818	2.818	81.6	80.8	42.2	66.	65.6	40.2	-	-	45.4
13.00	13.60	823	2.915	2.843	86.1	81.9	47.0	67.8	67.2	43.2	-	-	46.8
13.15	13.75	832	2.961	2.908	88.2	84.8	47.4	64.2	63.8	43.8	67.4	66.2	43.6
13.30	14.18	858	3.015	3.2	90.8	98.6	48.8	65.8	65.6	42.8	69.2	67.8	44.2
13.45	14.20	859	2.985	3.016	89.3	89.8	46.0	68.2	67.6	44.6	71.2	69.2	40.6
14.00	14.10	853	2.975	3.008	88.9	89.4	48.4	64.2	63.8	45.4	67.8	65.6	43.2
14.15	13.72	830	2.909	2.895	85.8	84.2	43.0	61.8	61.2	39.2	65.2	62.2	39.2
14.30	13.01	787	2.847	2.683	82.9	74.8	42.8	61.5	61.1	39.4	64.2	62.6	41.2
14.45	12.42	751	2.746	2.477	78.4	66.2	43.6	57.4	57.0	40.2	60.6	59.4	39.0
15.00	12.40	750	2.707	2.471	76.7	65.9	41.6	54.6	54.2	38.6	57.8	58.6	38.6
15.15	11.00	665	2.596	2.226	71.8	56.2	43.4	56.0	55.4	39.6	59.0	58.8	38.2
15.30	10.90	659	2.408	1.885	64.0	43.7	47.2	55.4	54.8	43.6	58.4	58.6	38.4
เฉลี่ย	-	781	-	-	79.3	74.3	46.4	61.4	60.9	41.2	64.1	62.9	41.9

ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของแผงโซลาร์เซลล์ Standard (ไม่ติดตั้งฮีทไปป์) 74.3 W , อุณหภูมิหลังแผงโซลาร์เซลล์ Standard (ไม่ติดตั้งฮีทไปป์) 63.5°C, ประสิทธิภาพแผงปกติ (ไม่ติดตั้งฮีทไปป์) ร้อยละ 8.29

ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของแผงโซลาร์เซลล์ Experiment (ติดตั้งฮีทไปป์) 79.3 W, อุณหภูมิหลังแผงโซลาร์เซลล์ Experiment (ติดตั้งฮีทไปป์) 61.1 °C, ประสิทธิภาพแผงติดตั้งฮีทไปป์ ร้อยละ 7.74

ตารางที่ 12 แสดงการเก็บข้อมูลระหว่างแผงโซลาร์เซลล์ Standard (ไม่ติดตั้งฮีทไปป์) กับแผงโซลาร์เซลล์ Experiment (ติดตั้งฮีทไปป์) วันที่ 27 เมษายน 2565

เวลา	ความเข้มแสงอาทิตย์ (mV)	ความเข้มแสงอาทิตย์ W/m <sup>2</sup>	แรงดันไฟฟ้าขาเข้า		กำลังไฟฟ้า		อุณหภูมิ (°C)						
			Exp	Std	Exp	Std	Experiment			Standard			
			V	V	W	W	ฮีทไปป์ (Tp)	หลังแผง (กลาง)	หลังแผง (บน)	คอนเดนเซอร์ (Tc)	หลังแผง (กลาง)	หลังแผง (บน)	Ambient
11.30	13.05	789	2.822	2.702	81.8	75.7	46	47.4	49.2	47.8	57.6	59.6	38.2
11.45	14.22	860	2.934	2.953	86.9	86.9	57.4	62.2	61.6	44.4	67	67.8	39.4
12.00	14.72	891	2.977	3.043	89.0	91.1	64.6	69.6	67.8	48.4	71.6	72.2	40.6
12.15	14.81	896	2.991	3.064	89.6	92.1	66.0	71.0	70.0	46.4	74.2	74.6	38.8
12.30	14.85	898	2.988	3.058	89.5	91.8	69.4	74.2	71.8	50.2	75.8	76.8	39.2
12.45	14.84	898	2.995	3.067	89.8	92.2	68.4	74.2	71.4	46.8	75	75.6	40.2
13.00	15.51	938	3.027	3.106	91.3	94.1	69.0	75.2	71.8	47	75.6	76.2	38.6
13.15	14.80	895	3.000	3.078	90.0	92.7	70.4	76.4	72.8	46.4	76.6	77.2	40.8
13.30	14.03	849	2.950	2.966	87.7	87.5	55.2	74.8	72.2	49.8	76.6	77.2	39.2
13.45	10.66	645	2.402	2.024	63.7	48.6	48.2	70.2	68.0	43.8	72.2	72.6	39.2
14.00	9.06	548	1.766	1.354	39.9	26.6	44.8	64.0	62.2	40.6	65.4	65.2	39.0
14.15	14.00	847	2.969	2.954	88.6	86.9	51.8	65.6	64.6	48.2	67.4	67.8	40.0
14.30	12.99	786	2.838	2.714	82.5	76.2	66.4	70.6	69.8	52.2	72.6	73.6	42.4
14.45	12.31	745	2.751	2.511	78.6	67.6	58.0	71.6	71.0	54.6	73.6	74.8	43.6
15.00	12.09	731	2.705	2.426	76.6	64.1	60.6	70.8	70.6	50.2	72.6	74.0	40.8
15.15	11.12	673	2.558	2.155	70.2	53.5	55.4	60.4	61.0	53.2	61.4	62.2	43.6
15.30	10.60	641	2.390	1.937	63.2	45.5	51.0	64.0	64.2	49.6	66.0	67.2	42.0
เฉลี่ย	-	796	-	-	79.9	74.9	59.0	68.4	67.1	48.2	70.7	71.4	40.3

ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของแผงโซลาร์เซลล์ Standard (ไม่ติดตั้งฮีทไปป์) 74.9 W , อุณหภูมิหลังแผงโซลาร์เซลล์ Standard (ไม่ติดตั้งฮีทไปป์) 71.1°C, ประสิทธิภาพแผงปกติ (ไม่ติดตั้งฮีทไปป์) ร้อยละ 8.03

ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของแผงโซลาร์เซลล์ Experiment (ติดตั้งฮีทไปป์) 79.9 W, อุณหภูมิหลังแผงโซลาร์เซลล์ Experiment (ติดตั้งฮีทไปป์) 67.7 °C, ประสิทธิภาพแผงติดตั้งฮีทไปป์ ร้อยละ 7.78

ตารางที่ 13 แสดงการเก็บข้อมูลระหว่างแผงโซลาร์เซลล์ Standard (ไม่ติดตั้งที่ไปป์) กับแผงโซลาร์เซลล์ Experiment (ติดตั้งที่ไปป์) วันที่ 28 เมษายน 2565

เวลา	ความเข้มแสงอาทิตย์ (mV)	ความเข้มแสงอาทิตย์ W/m <sup>2</sup>	แรงดันไฟฟ้าขาเข้า		กำลังไฟฟ้า		อุณหภูมิ (°C)						
			Exp	Std	Exp	Std	Experiment			Standard		Ambient	
			V	V	W	W	ท่ออีทไปป์ (Tp)	หลังแผง (กลาง)	หลังแผง (บน)	คอนเดนเซอร์ (Tc)	หลังแผง (กลาง)		หลังแผง (บน)
11.30	13.62	824	2.909	2.853	85.8	82.3	49.4	54.6	54.8	47.8	59.8	61.4	40
11.45	14.60	883	3.000	3.055	90.0	91.6	50.0	57.8	55.8	40.8	60.6	60.6	39
12.00	12.78	773	2.921	2.687	86.3	75.0	42.0	53.0	51.2	38	54.6	54.2	36.6
12.15	7.44	450	1.390	1.096	28.0	19.4	41.8	51.8	50.2	38.2	53.8	53.8	36.6
12.30	7.12	431	1.230	1.017	23.3	17.3	41.2	52	50.8	38.4	54.0	53.8	37
12.45	13.36	808	2.818	2.778	81.6	79.0	44.6	58.8	57.6	43	61.4	61.8	39.8
13.00	15.54	940	3.032	3.111	91.6	94.3	54.8	68.4	66.0	40.8	70.8	71.6	40.0
13.15	10.12	612	2.207	1.845	56.0	42.3	45.6	65.6	63.0	41	67.2	67.0	40.6
13.30	14.87	900	3.024	3.089	91.2	93.2	50.8	70.0	68.2	51	71.8	71.6	41.2
13.45	12.60	762	3.022	3.025	91.1	90.2	44.2	67.2	64.2	41.2	69.0	68.8	38.8
14.00	13.60	823	2.915	2.843	86.1	81.9	50.4	65.0	62.8	42.8	66.2	65.8	39.0
14.15	13.60	823	2.920	2.825	86.3	81.1	51.2	63.8	62.2	47.6	66.0	66.2	40.8
14.30	12.15	735	2.866	2.682	83.8	74.8	45.4	63.2	60.8	40.2	64.8	65.0	39.8
14.45	8.83	534	1.781	1.48	40.5	30.4	43.4	62.2	60.2	40.2	64.0	64.0	39.4
15.00	12.00	726	2.574	2.202	70.9	55.3	45.2	63.4	62.2	44.8	65.2	65.6	41.4
15.15	10.12	612	2.207	1.845	56.0	42.3	44.2	63.0	61.8	47	64.8	65.2	41.6
15.30	9.16	554	1.749	1.53	39.4	31.9	43.6	62.8	62.2	44.2	64.6	65.2	42.2
เฉลี่ย	-	717	-	-	69.9	63.7	46.3	61.3	59.6	42.8	63.4	63.6	39.6

ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของแผงโซลาร์เซลล์ Standard (ไม่ติดตั้งที่ไปป์) 63.7 W , อุณหภูมิหลังแผงโซลาร์เซลล์ Standard (ไม่ติดตั้งที่ไปป์) 63.5 °C, ประสิทธิภาพแผงปกติ (ไม่ติดตั้งที่ไปป์) ร้อยละ 8.03

ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของแผงโซลาร์เซลล์ Experiment (ติดตั้งที่ไปป์) 69.9 W , อุณหภูมิหลังแผงโซลาร์เซลล์ Experiment (ติดตั้งที่ไปป์) 60.5 °C, ประสิทธิภาพแผงติดตั้งที่ไปป์ ร้อยละ 7.8



ตารางที่ 14 แสดงการเก็บข้อมูลระหว่างแผงโซลาร์เซลล์ Standard (ไม่ติดตั้งฮีทไปป์) กับแผงโซลาร์เซลล์ Experiment (ติดตั้งฮีทไปป์) วันที่ 29 เมษายน 2565

เวลา	ความเข้มแสงอาทิตย์ (mV)	ความเข้มแสงอาทิตย์ W/m <sup>2</sup>	แรงดันไฟฟ้าขาเข้า		กำลังไฟฟ้า		อุณหภูมิ (°C)						
			Exp	Std	V	W	ท้อฮีทไปป์ (Tp)	Experiment		Standard		Ambient	
								หลังแผง (กลาง)	หลังแผง (บน)	หลังแผง (กลาง)	หลังแผง (บน)		คอนเดนเซอร์ (Tc)
11.30	12.10	732	2.678	2.4	75.4	63.0	42.2	45.6	51.6	40	62.2	66.2	33.6
11.45	11.12	673	2.444	2.06	65.4	49.9	51.8	55.0	56.6	39.6	62.2	63.8	33.6
12.00	12.02	727	2.472	2.104	66.6	51.6	51.8	55.6	54.8	40.8	58.4	59.2	33.8
12.15	12.75	771	2.796	2.662	80.6	73.9	56.2	60.6	59.4	40.4	62.4	63.2	33.8
12.30	14.44	874	2.986	2.983	89.4	88.3	63.0	67.8	66.8	43.8	69.2	70.6	34.6
12.45	14.35	868	2.975	2.965	88.9	87.4	59.2	65.8	63.4	36.6	67.6	68.8	33.8
13.00	14.71	890	2.980	2.967	89.1	87.5	62.0	68.8	66.8	42	69.6	70.8	36.2
13.15	14.60	883	2.993	3.002	89.7	89.2	53.6	71.8	70.2	48.8	72.6	73.6	36.6
13.30	13.62	824	2.909	2.853	85.8	82.3	48.6	69.2	67.6	43.6	70.6	71.6	38.4
13.45	15.60	944	3.078	3.185	93.8	97.9	48.4	69.6	68.6	44.8	74.4	73.0	37.0
14.00	16.01	969	3.101	3.26	94.9	101.5	50.4	72.0	71.4	45	74.0	75.8	36.8
14.15	10.66	645	2.402	2.024	63.7	48.6	49.6	67.6	67.6	43.2	70.8	71.8	36.6
14.30	7.44	450	1.390	1.096	28.0	19.4	44.4	57.0	56.8	38.6	59.0	59.4	35.8
14.45	10.54	638	2.292	1.823	59.3	41.5	46.6	62.8	62.2	44.2	64.6	65.2	39.4
15.00	11.00	665	2.493	2.048	67.5	49.5	43.6	52.4	52.6	39.6	54.0	54.8	35.8
15.15	12.37	748	2.730	2.39	77.7	62.6	56.8	62.0	62.6	44.2	63.4	64.8	39.2
15.30	10.75	650	2.355	1.882	61.8	43.6	54.8	62.4	61.8	44.6	63.4	64.8	39.2
เฉลี่ย	-	762	-	-	75.1	66.9	51.9	62.7	62.4	42.3	65.8	66.9	36.1

ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของแผงโซลาร์เซลล์ Standard (ไม่ติดตั้งฮีทไปป์) 66.9 W , อุณหภูมิหลังแผงโซลาร์เซลล์ Standard (ไม่ติดตั้งฮีทไปป์) 66.3 °C, ประสิทธิภาพแผงปกติ (ไม่ติดตั้งฮีทไปป์) ร้อยละ 8.38

ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของแผงโซลาร์เซลล์ Experiment (ติดตั้งฮีทไปป์) 75.1 W, อุณหภูมิหลังแผงโซลาร์เซลล์ Experiment (ติดตั้งฮีทไปป์) 62.6 °C, ประสิทธิภาพแผงติดตั้งฮีทไปป์ ร้อยละ 7.83

ตารางที่ 15 แสดงการเก็บข้อมูลระหว่างแผงโซลาร์เซลล์ Standard (ไม่ติดตั้งฮีทไปป์) กับแผงโซลาร์เซลล์ Experiment (ติดตั้งฮีทไปป์) วันที่ 30 เมษายน 2565

เวลา	ความเข้มแสงอาทิตย์ (mV)	ความเข้มแสงอาทิตย์ W/m <sup>2</sup>	แรงดันไฟฟ้าขาเข้า		กำลังไฟฟ้า		อุณหภูมิ (°C)						
			Exp	Std	Exp	Std	Experiment			Standard		Ambient	
			V	V	W	W	ฮีทไปป์ (Tp)	หลังแผง (กลาง)	หลังแผง (บน)	คอนเดนเซอร์ (Tc)	หลังแผง (กลาง)	หลังแผง (บน)	หลังแผง (บน)
11.30	13.60	823	2.817	2.784	81.6	79.3	48.2	55.8	55.6	37	58.4	58.4	37
11.45	12.40	750	2.707	2.571	76.7	70.1	59.8	63.8	63.6	40.2	66.8	67.2	40.2
12.00	14.60	883	2.996	3.04	89.9	90.9	57.0	63.2	63.4	42.4	64.6	65	42.4
12.15	14.99	907	3.013	3.091	90.7	93.3	51.8	68.6	68.8	39.2	70.8	71.2	39.2
12.30	15.08	912	3.017	3.094	90.8	93.5	54.6	73.2	73.4	40	74.8	75	40
12.45	11.50	696	2.551	2.211	69.9	55.6	43.6	55.6	55.4	37	59.0	58.8	37
13.00	11.25	681	2.512	2.187	68.3	54.7	43.2	54.6	54.8	38.2	58.2	58.4	38.2
13.15	14.22	860	2.934	2.953	86.9	86.9	45.2	55.8	55.6	37.6	59.4	59.2	37.6
13.30	13.75	832	2.961	2.908	88.2	84.8	43.4	67.8	67.4	38	68.8	69.2	38.0
13.45	13.60	823	2.906	2.854	85.6	82.4	50.0	69.2	69.0	40.8	70.8	70.8	39.6
14.00	13.50	817	2.925	2.843	86.5	81.9	49.6	64.0	63.8	42.2	65.8	66.2	42.2
14.15	13.20	799	2.866	2.782	83.8	79.2	45.4	64.6	64.4	40	66.2	66.0	40.0
14.30	12.99	786	2.840	2.715	82.6	76.2	45.4	62.2	62.0	39.8	64.8	65.0	39.8
14.45	12.69	768	2.750	2.617	78.6	72.0	44.8	62.8	62.6	39.6	64.4	64.6	39.8
15.00	12.40	750	2.707	2.471	76.7	65.9	44.2	62.2	62.0	38.6	63.8	64.2	38.8
15.15	11.12	673	2.670	2.452	75.0	65.1	41.8	58.5	58.3	36.6	59.7	59.9	38.4
15.30	10.12	612	2.207	2.045	56.0	49.4	41.0	56.8	56.4	36.4	58.2	59.0	37.5
เฉลี่ย	-	788	-	-	80.5	75.4	47.6	62.3	62.1	39.0	64.4	64.6	39.2

ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของแผงโซลาร์เซลล์ Standard (ไม่ติดตั้งฮีทไปป์) 75.4 W , อุณหภูมิหลังแผงโซลาร์เซลล์ Standard (ไม่ติดตั้งฮีทไปป์) 64.5 °C, ประสิทธิภาพแผงปกติ (ไม่ติดตั้งฮีทไปป์) ร้อยละ 8.20

ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของแผงโซลาร์เซลล์ Experiment (ติดตั้งฮีทไปป์) 80.5 W, อุณหภูมิหลังแผงโซลาร์เซลล์ Experiment (ติดตั้งฮีทไปป์) 62.2 °C, ประสิทธิภาพแผงติดตั้งฮีทไปป์ ร้อยละ 7.95

ตารางที่ 16 แสดงการเก็บข้อมูลระหว่างแผงโซลาร์เซลล์ Standard (ไม่ติดตั้งฮีทไปป์) กับแผงโซลาร์เซลล์ Experiment (ติดตั้งฮีทไปป์) วันที่ 1 พฤษภาคม 2565

เวลา	ความเข้มแสงอาทิตย์ (mV)	ความเข้มแสงอาทิตย์ W/m <sup>2</sup>	แรงดันไฟฟ้าขาเข้า		กำลังไฟฟ้า		อุณหภูมิ (°C)						
			Exp	Std	Exp	Std	Experiment			Standard			
							ฮีทไปป์ (Tp)	หลังแผง (กลาง)	หลังแผง (บน)	คอนเดนเซอร์(Tc)	หลังแผง (กลาง)	หลังแผง (บน)	Ambient
11.30	3.62	219	0.357	0.273	2.9	1.0	35.6	36.8	31.6	31.6	36.6	37.8	29.4
11.45	4.07	246	0.442	0.352	4.5	2.4	38.0	39.8	39.8	34.2	40.6	40.8	31
12.00	4.76	288	0.604	0.484	7.8	5.0	40.4	42.2	42.0	34.4	43.2	43.4	32
12.15	6.40	387	1.031	0.86	17.9	13.4	44.4	46.4	46.4	36.8	47.6	47.8	32.8
12.30	6.32	382	0.992	0.829	16.9	12.6	47.0	49.6	49.6	37.6	51.0	51.2	32.8
12.45	6.22	376	0.955	0.795	16.0	11.8	48.4	50.8	51.0	38.8	52.4	52.6	34.2
13.00	8.12	491	1.572	1.281	33.6	24.5	48.6	51.0	51.2	42.2	52.6	52.8	35.2
13.15	6.52	394	1.038	0.861	18.1	13.4	51.6	54.4	54.4	38.6	55.8	56.4	34.2
13.30	3.50	212	0.290	0.246	1.7	0.5	49.0	50.6	50.8	39.8	51.4	51.6	33.6
13.45	7.62	461	1.460	1.166	30.1	21.3	48.0	49.8	50.0	38.8	51.0	51.0	34.0
14.00	6.14	371	0.940	0.774	15.6	11.3	51.2	53.2	53.2	43.4	54.6	54.6	37.0
14.15	5.88	356	0.813	0.677	12.5	9.1	52.4	56.2	56.0	43	58.4	58.8	36.0
14.30	9.06	548	1.766	1.354	39.9	26.6	49.2	54.2	54.4	42.8	57.4	57.6	36.0
14.45	6.78	410	1.083	0.884	19.3	14.0	48.8	52.2	52.4	40.8	54.8	54.8	35.4
15.00	7.44	450	1.390	1.096	28.0	19.4	48.0	49.2	49.0	38	50.8	50.8	33.8
15.15	3.70	224	0.342	0.27	2.6	0.9	39.4	42.8	42.8	37.8	43.6	43.8	34.4
15.30	4.75	287	0.607	0.449	7.9	4.3	42.6	46.0	46.8	39.4	47.6	48.0	34.0
เฉลี่ย	-	359	-	-	16.2	11.3	46.0	48.5	48.3	38.7	50.0	50.2	33.9

ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของแผงโซลาร์เซลล์ Standard (ไม่ติดตั้งฮีทไปป์) 11.3 W , อุณหภูมิหลังแผงโซลาร์เซลล์ Standard (ไม่ติดตั้งฮีทไปป์) 50.1 °C, ประสิทธิภาพแผงปกติ (ไม่ติดตั้งฮีทไปป์) 3.99

ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของแผงโซลาร์เซลล์ Experiment (ติดตั้งฮีทไปป์) 16.2 W , อุณหภูมิหลังแผงโซลาร์เซลล์ Experiment (ติดตั้งฮีทไปป์) 48.4°C ประสิทธิภาพแผงติดตั้งฮีทไปป์ 3.47

ตารางที่ 17 แสดงการเก็บข้อมูลระหว่างแผงโซลาร์เซลล์ Standard (ไม่ติดตั้งฮีทไปป์) กับแผงโซลาร์เซลล์ Experiment (ติดตั้งฮีทไปป์) วันที่ 2 พฤษภาคม 2565

เวลา	ความเข้มแสงอาทิตย์ (mV)	ความเข้มแสงอาทิตย์ W/m <sup>2</sup>	แรงดันไฟฟ้าขาเข้า		กำลังไฟฟ้า		อุณหภูมิ (°C)					Standard		Ambient
			Exp	Std	Exp	Std	ฮีทไปป์ (Tp)	Experiment			หลังแสง (กลาง)	หลังแสง (บน)		
								หลังแสง (กลาง)	หลังแสง (บน)	คอนเดนเซอร์(Tc)				
11.30	12.40	750	2.707	2.471	76.7	65.9	56	60.4	59.2	43.2	62.8	63.6	34.6	
11.45	12.69	768	2.750	2.617	78.6	72.0	57.8	61.8	60.4	45.4	63.8	64.6	35.6	
12.00	14.03	849	2.950	2.966	87.7	87.5	44.6	60.8	60.0	41	63.4	64	35	
12.15	13.36	808	2.818	2.778	81.6	79.0	47.0	58.0	57.2	40.4	60.8	61.4	34.4	
12.30	10.55	638	2.315	1.95	60.2	46.0	43.4	55.6	55.4	37.4	58.0	58.2	32.8	
12.45	11.50	696	2.551	2.211	69.9	55.6	48.2	56.6	56.6	43.4	58.6	58.8	35.4	
13.00	6.78	410	1.083	0.884	19.3	14.0	43.6	51.2	51.4	40	53.4	53.6	33.2	
13.15	13.58	822	2.898	2.83	85.3	81.3	49.2	54.0	54.0	44.4	56.0	56.2	35.2	
13.30	10.12	612	2.207	1.845	56.0	42.3	51.4	61.0	61.0	45.2	63.4	64.4	35.8	
13.45	8.79	532	1.748	1.437	39.3	29.1	44.8	58.4	58.4	42.8	61.4	62.0	35.0	
14.00	6.33	383	0.983	0.742	16.7	10.6	43.8	46.8	47.0	40.8	48.4	48.6	33.8	
14.15	6.08	368	0.868	0.722	13.8	10.2	37.8	39.0	38.6	33.6	39.4	39.6	32.2	
14.30	5.88	356	0.813	0.677	12.5	9.1	36.2	36.6	36.4	33	36.8	37.0	32.0	
14.45	6.33	383	0.983	0.742	16.7	10.6	34.2	34.4	34.2	32.4	34.6	34.8	31.8	
15.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
15.15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
15.30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
เฉลี่ย	-	598	-	-	51.0	43.8	45.6	52.5	52.1	40.2	54.3	54.8	34.1	

ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของแผงโซลาร์เซลล์ Standard (ไม่ติดตั้งฮีทไปป์) 43.8 W , อุณหภูมิหลังแสงโซลาร์เซลล์ Standard (ไม่ติดตั้งฮีทไปป์) 54.6 °C, ประสิทธิภาพแผงปกติ (ไม่ติดตั้งฮีทไปป์) ร้อยละ 8.24

ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของแผงโซลาร์เซลล์ Experiment (ติดตั้งฮีทไปป์) 51.0 W , อุณหภูมิหลังแสงโซลาร์เซลล์ Experiment (ติดตั้งฮีทไปป์) 52.3 °C, ประสิทธิภาพแผงติดตั้งฮีทไปป์ ร้อยละ 8.26

ตารางที่ 18 แสดงการเก็บข้อมูลระหว่างแผงโซลาร์เซลล์ Standard (ไม่ติดตั้งฮีทไปป์) กับแผงโซลาร์เซลล์ Experiment (ติดตั้งฮีทไปป์) วันที่ 5 พฤษภาคม 2565

เวลา	ความเข้มแสงอาทิตย์ (mV)	ความเข้มแสงอาทิตย์ W/m <sup>2</sup>	แรงดันไฟฟ้าขาเข้า		กำลังไฟฟ้า		อุณหภูมิ (°C)						
			Exp	Std	Exp	Std	Experiment			Standard		Ambient	
			V	V	W	W	ฮีทไปป์ (Tp)	หลังแผง (กลาง)	หลังแผง (บน)	คอมเพอร์เตอร์ (Tc)	หลังแผง (กลาง)		หลังแผง (บน)
11.30	3.51	212	0.276	0.215	1.4	0.0	43.2	44.6	44.2	37.2	45.4	45.6	32.4
11.45	6.05	366	0.868	0.688	13.8	9.4	46.6	48.2	48.2	43.6	49.0	49.2	35.4
12.00	8.83	534	1.781	1.48	40.5	30.4	52.8	55.4	55.4	43.6	57.4	57.8	36.8
12.15	12.69	768	2.750	2.617	78.6	72.0	63.2	67.2	66.0	45.6	69.0	69.2	36.4
12.30	7.17	434	1.239	1.007	23.6	17.1	53.8	57.6	55.8	39.6	58.8	58.6	36
12.45	8.13	492	1.539	1.233	32.5	23.1	43.4	54.6	54.4	38.8	57.6	57.8	35.4
13.00	7.53	456	1.329	1.038	26.2	17.9	47.6	55.6	54.8	44.2	57.6	57.8	36.6
13.15	12.00	726	2.574	2.202	70.9	55.3	57.9	62.1	61.1	44.8	65.4	66.8	39.0
13.30	12.40	750	2.707	2.471	76.7	65.9	59.8	63.8	62.6	45.2	66.8	67.2	40.2
13.45	4.75	287	0.607	0.449	7.9	4.3	45.0	61.2	60.4	38.6	63.2	63.2	35.8
14.00	5.58	338	0.763	0.581	11.4	7.0	43.0	52.6	52.4	38.6	53.8	54.0	35.4
14.15	7.05	426	1.114	0.85	20.1	13.1	50.6	58.6	57.6	41.8	59.8	60.2	37.4
14.30	4.46	270	0.493	0.394	5.5	3.3	45.8	55.4	56.0	41.2	57.0	57.2	36.2
14.45	4.52	273	0.536	0.376	6.4	2.9	45.4	54.8	54.0	40.2	56.0	56.4	35.6
15.00	4.17	252	0.450	0.362	4.7	2.6	45.6	57.2	56.6	40	58.8	59.4	37.2
15.15	3.50	212	0.290	0.246	1.7	0.5	44.2	52.8	52.6	34.8	53.8	54.4	30.8
15.30	3.24	196	0.247	0.183	0.9	0.0	43.6	47.8	47.8	38.8	49.2	49.4	35.4
เฉลี่ย	-	411	-	-	24.9	19.1	48.9	55.9	55.3	41.0	57.6	57.9	36.0

ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของแผงโซลาร์เซลล์ Standard (ไม่ติดตั้งฮีทไปป์) 19.1 W, อุณหภูมิหลังแผงโซลาร์เซลล์ Standard (ไม่ติดตั้งฮีทไปป์) 57.7 °C, ประสิทธิภาพแผงปกติ (ไม่ติดตั้งฮีทไปป์) ร้อยละ 7.5

ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของแผงโซลาร์เซลล์ Experiment (ติดตั้งฮีทไปป์) 24.9 W, อุณหภูมิหลังแผงโซลาร์เซลล์ Experiment (ติดตั้งฮีทไปป์) 55.6 °C, ประสิทธิภาพแผงติดตั้งฮีทไปป์ ร้อยละ 8.19

ตารางที่ 19 แสดงการเก็บข้อมูลระหว่างแผงโซลาร์เซลล์ Standard (ไม่ติดตั้งฮีทไปป์) กับแผงโซลาร์เซลล์ Experiment (ติดตั้งฮีทไปป์) วันที่ 6 พฤษภาคม 2565

เวลา	ความเข้มแสงอาทิตย์ (mV)	ความเข้มแสงอาทิตย์ W/m <sup>2</sup>	แรงดันไฟฟ้าขาเข้า		กำลังไฟฟ้า		อุณหภูมิ (°C)						
			Exp	Std	V	W	ท่อฮีทไปป์ (Tp)	Experiment			Standard		Ambient
								หลังแผง (กลาง)	หลังแผง (บน)	คอนเดนเซอร์ (Tc)	หลังแผง (กลาง)	หลังแผง (บน)	
11.30	5.66	342	0.772	0.63	11.6	8.1	48.2	50.6	49.2	40.2	52.0	51.8	35.8
11.45	6.50	393	0.976	0.807	16.5	12.1	46.2	48.4	47.4	41.4	49.6	49.6	35.6
12.00	4.95	299	0.583	0.483	7.4	5.0	47.4	49.2	48.4	40.2	50.2	50.2	36.8
12.15	7.12	431	1.230	1.017	23.3	17.3	49.2	52.6	52.2	44.8	54.2	54.4	35.2
12.30	4.46	270	0.493	0.394	5.5	3.3	43.6	49.6	48.8	38.6	50.8	51	34.6
12.45	4.43	268	0.508	0.401	5.8	3.4	43.2	53.2	52.2	37.8	55.2	55.4	35.8
13.00	10.12	341	0.770	0.625	11.5	8.0	44.6	54.6	53.6	39.8	56.2	56.4	38.6
13.15	11.25	681	2.315	1.95	60.2	46.0	48.2	57.2	56.6	45	58.8	59.0	38.8
13.30	5.94	359	0.836	0.677	13.1	9.1	48.8	57.8	56.8	44.4	59.2	58.8	38.0
13.45	13.70	750	2.707	2.471	76.7	65.9	49.8	63.2	61.6	45.4	64.8	65.0	40.4
14.00	10.80	653	2.340	1.982	61.2	47.1	48.8	63.2	61.6	43.4	64.2	65.6	38.4
14.15	8.79	532	1.748	1.437	39.3	29.1	46.8	61.0	61.4	44	63.2	63.6	39.6
14.30	6.78	410	1.083	0.884	19.3	14.0	46.0	57.8	57.6	42	59.6	59.8	37.4
14.45	6.05	366	0.868	0.688	13.8	9.4	46.8	53.0	52.6	40.6	53.6	53.4	38.6
15.00	13.00	786	2.840	2.66	82.6	73.8	48.4	51.0	50.8	45.2	52.0	52.4	39.8
15.15	4.64	281	0.549	0.443	6.7	4.2	45.0	48.8	48.2	42.2	50.4	50.6	38.2
15.30	5.12	310	0.644	0.511	8.7	5.6	46.2	48.8	48.4	43.2	49.8	50.2	38.0
เฉลี่ย	-	437.1	-	-	27.2	21.3	46.9	54.1	53.4	42.4	55.5	55.7	37.6

ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของแผงโซลาร์เซลล์ Standard (ไม่ติดตั้งฮีทไปป์) 21.3 W ,อุณหภูมิหลังแผงโซลาร์เซลล์ Standard (ไม่ติดตั้งฮีทไปป์) 55.6 °C,ประสิทธิภาพแผงปกติ (ไม่ติดตั้งฮีทไปป์) รั้อยละ 7.03

ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของแผงโซลาร์เซลล์ Experiment (ติดตั้งฮีทไปป์) 27.2 W , อุณหภูมิหลังแผงโซลาร์เซลล์ Experiment (ติดตั้งฮีทไปป์) 53.7°C, ประสิทธิภาพแผงไม่ติดตั้งฮีทไปป์ รั้อยละ 8.18

ตารางที่ 20 แสดงการเก็บข้อมูลระหว่างแผงโซลาร์เซลล์ Standard (ไม่ติดตั้งฮีทไปป์) กับแผงโซลาร์เซลล์ Experiment (ติดตั้งฮีทไปป์) วันที่ 8 พฤษภาคม 2565

เวลา	ความเข้มแสงอาทิตย์ (mV)	ความเข้มแสงอาทิตย์ W/m <sup>2</sup>	แรงดันไฟฟ้าขาเข้า		กำลังไฟฟ้า		อุณหภูมิ (°C)						Ambient
			Exp	Std	V	W	ท่อฮีทไปป์ (Tp)	Experiment			Standard		
								หลังแผง (กลาง)	หลังแผง (บน)	คอนเดนเซอร์ (Tc)	หลังแผง (กลาง)	หลังแผง (บน)	
11.30	3.70	224	0.342	0.27	2.6	0.9	45.6	47.4	46.6	36.6	48.4	48.6	33.6
11.45	3.75	227	0.335	0.275	2.5	1.0	51.4	53.6	52.8	40.8	54.6	54.8	35.2
12.00	5.01	303	0.560	0.499	6.9	5.3	50.2	52.8	51.2	37.8	54.0	54.4	35.6
12.15	4.46	270	0.493	0.394	5.5	3.3	46.8	55.2	53.8	42.2	56.4	56.6	35.2
12.30	4.17	252	0.450	0.362	4.7	2.6	45.4	51.2	50.6	39.6	52.8	53	35.4
12.45	16.08	973	3.117	3.288	95.6	102.9	40.2	57.2	58.2	43	59.2	60	41.2
13.00	15.03	909	3.010	3.035	90.7	90.5	54.2	70.2	68.6	47.8	71.2	72.2	41.6
13.15	13.60	823	2.906	2.654	85.6	73.6	51.6	74.6	72.8	45.4	76.2	77.2	41.6
13.30	13.50	817	2.925	2.843	86.5	81.9	49.8	63.2	62.8	44.8	65.6	66.4	41.4
13.45	15.04	910	3.048	3.072	92.4	92.3	52.8	64.8	63.2	44.2	65.8	66.6	41.4
14.00	12.78	773	2.921	2.687	86.3	75.0	52.4	68.8	67.4	45.6	70.2	71.2	40.6
14.15	10.12	612	2.207	1.845	56.0	42.3	50.6	58.6	57.6	41.8	59.8	60.2	34.6
14.30	9.16	554	1.749	1.53	39.4	31.9	40.0	41.6	40.8	36.8	42.2	42.4	35.0
14.45	8.79	532	1.748	1.437	39.3	29.1	39.4	40.8	40.2	35.8	41.2	41.4	35.0
15.00	7.53	456	1.329	1.038	26.2	17.9	39.2	40.2	39.6	35.8	40.4	40.6	35.2
15.15	7.44	450	1.390	1.096	28.0	19.4	38.8	39.6	39.2	35.8	39.8	39.8	35.0
15.30	4.47	270	0.497	0.407	5.6	3.5	37.6	38.2	38.0	34.2	38.6	38.8	33.6
เฉลี่ย	-	408	-	-	44.3	39.6	46.2	54.0	53.1	40.5	55.1	55.5	37.1

ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของแผงโซลาร์เซลล์ Standard (ไม่ติดตั้งฮีทไปป์) 39.6 W, อุณหภูมิหลังแผงโซลาร์เซลล์ Standard (ไม่ติดตั้งฮีทไปป์) 55.3 °C, ประสิทธิภาพแผงปกติ (ไม่ติดตั้งฮีทไปป์) รั้อยละ 8.46

ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของแผงโซลาร์เซลล์ Experiment (ติดตั้งฮีทไปป์) 44.3 W, อุณหภูมิหลังแผงโซลาร์เซลล์ Experiment (ติดตั้งฮีทไปป์) 53.6 °C, ประสิทธิภาพแผงติดตั้งฮีทไปป์ รั้อยละ 7.86

ตารางที่ 21 แสดงการเก็บข้อมูลระหว่างแผงโซลาร์เซลล์ Standard (ไม่ติดตั้งฮีทปั๊ม) กับแผงโซลาร์เซลล์ Experiment (ติดตั้งฮีทปั๊ม) วันที่ 9 พฤษภาคม 2565

เวลา	ความเข้มแสงอาทิตย์ (mV)	ความเข้มแสงอาทิตย์ W/m <sup>2</sup>	แรงดันไฟฟ้าขาเข้า		กำลังไฟฟ้า		อุณหภูมิ (°C)						
			Exp	Std	Exp	Std	Experiment			Standard		Ambient	
			V	V	W	W	ฮีทปั๊ม (Tp)	หลังแผง (กลาง)	หลังแผง (บน)	คอนเดนเซอร์ (Tc)	หลังแผง (กลาง)		หลังแผง (บน)
11.30	14.22	860	2.934	86.9	86.9	86.9	60.8	65.8	65.4	36.4	68.6	67.4	36.4
11.45	4.60	278	0.516	6.0	6.0	3.7	55.8	59.6	58.8	34.4	62.0	60.8	34.4
12.00	5.50	333	0.654	8.9	8.9	6.5	55.0	58.0	57.6	35.6	59.2	58.2	35.6
12.15	10.55	638	2.315	60.2	60.2	46.0	42.2	58.2	57.8	37.6	58.2	58.4	37.6
12.30	13.50	817	2.925	86.5	86.5	81.9	49.8	63.2	62.8	35.2	65.6	66.4	35.2
12.45	10.12	612	2.207	56.0	56.0	42.3	42.0	59.4	58.4	33.6	61.0	61.2	33.6
13.00	4.36	264	0.451	4.7	4.7	2.6	41.2	49.2	48.4	36.8	50.4	50.4	36.8
13.15	4.78	289	0.578	7.3	7.3	4.5	40.2	47.0	46.8	36.6	48.6	48.6	36.6
13.30	4.46	270	0.493	5.5	5.5	3.3	38.6	41.8	40.6	35.0	42.6	42.2	35.0
13.45	4.43	268	0.508	5.8	5.8	3.4	39.8	42.2	41.6	36.0	42.8	43.0	36.0
14.00	3.23	195	0.255	1.0	1.0	0	41.2	47.0	45.6	36.2	47.8	47.8	36.2
14.15	7.78	471	1.620	35.1	35.1	26.3	42.4	46.6	45.6	39.6	47.8	48.2	39.6
14.30	4.17	252	0.450	4.7	4.7	2.6	41.2	50.4	47.8	35.2	50.6	50.6	35.2
14.45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15.15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15.30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
เฉลี่ย	-	405	-	28.4	23.8	45.4	53.0	52.1	36.0	54.2	54.1	36.0	

ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของแผงโซลาร์เซลล์ Standard (ไม่ติดตั้งฮีทปั๊ม) 23.8 W, อุณหภูมิหลังแผงโซลาร์เซลล์ Standard (ไม่ติดตั้งฮีทปั๊ม) 54.2 °C, ประสิทธิภาพแผงปกติ (ไม่ติดตั้งฮีทปั๊ม) ร้อยละ 8.02

ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของแผงโซลาร์เซลล์ Experiment (ติดตั้งฮีทปั๊ม) 28.4 W, อุณหภูมิหลังแผงโซลาร์เซลล์ Experiment (ติดตั้งฮีทปั๊ม) 52.5°C, ประสิทธิภาพแผงติดตั้งฮีทปั๊ม ร้อยละ 8.47



## ภาคผนวก 2

### ตัวอย่างการคำนวณ

แผงโซลาร์เซลล์ขนาด กว้าง 1 เมตร ยาว 1.25 เมตร ท่อฮีทไปป์ทองแดงผิวภายในมีวิ  
คลักษณะเป็นเกลียว ที่ใช้ติดตั้งมี 2 ส่วน ส่วนแรกใช้ในส่วนระเหย(คอยล์ร้อน) ของระบบ มีเส้นผ่าน  
ศูนย์กลางภายนอกขนาด 9.54 มิลลิเมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในขนาด 8 มิลลิเมตร หนา 0.77  
มิลลิเมตร ส่วนที่สองใช้ในส่วนควบแน่นของระบบ มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกขนาด 12.7  
มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายในขนาด 11.1 มิลลิเมตร หนา 0.8 มิลลิเมตร

#### การคำนวณความยาวของท่อฮีทไปป์ในส่วนควบแน่น

เนื่องจากผู้วิจัยต้องการลดการใช้พื้นที่ของส่วนควบแน่น ดังนั้นผู้วิจัยต้องเพิ่มขนาดหน้า  
ตัดของท่อฮีทไปป์ส่วนควบแน่นมากกว่า ขนาดหน้าตัดของท่อฮีทไปป์ของส่วนระเหยโดยมีปริมาตร  
เท่ากันระหว่างท่อฮีทไปป์ส่วนระเหยกับท่อฮีทไปป์ส่วนควบแน่น

$$\pi r^2 h = \pi R^2 H$$

$$\pi = 3.14$$

$$R = \text{รัศมีท่อฮีทไปป์ส่วนควบแน่น (mm)}$$

$$H = \text{ความยาวท่อฮีทไปป์ส่วนควบแน่น (cm)}$$

$$r = \text{รัศมีท่อฮีทไปป์ส่วนระเหย (mm)}$$

$$h = \text{ความยาวท่อฮีทไปป์ส่วนระเหย (cm)}$$

แทนค่า

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

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

ดังนั้น ความยาวท่อฮีทไปป์ที่ใช้ในส่วนควบแน่น เป็น 65 cm และ ความยาวของท่อฮีทไปป์ที่ใช้ใน  
ส่วนระเหย เป็น 125 cm ตามความยาวของแผงโซลาร์เซลล์ที่ใช้ทดสอบ

### การคำนวณปริมาตรน้ำกลั่นภายในท่อฮีทไปป์

การเติมน้ำกลั่น จะเติม 60% ของปริมาตรท่อฮีทไปป์ส่วนระเหย ซึ่งความยาวของท่อฮีทไปป์ส่วนระเหยคือ 125 cm ดังนั้นผู้วิจัยเติมน้ำกลั่นจนถึงที่ระดับความยาวท่อฮีทไปป์ส่วนระเหย 75 cm

$$V = \frac{\pi D^2 h}{4}$$

V = ปริมาตรท่อฮีทไปป์ (cm<sup>3</sup>)

h = ความยาวท่อฮีทไปป์ส่วนระเหย (cm)

D = เส้นผ่านศูนย์กลางท่อฮีทไปป์ส่วนระเหย (cm)

แทนค่า

$$V = \frac{3.14(0.8)^2 75}{4}$$

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

หามวลน้ำกลั่นเพื่อใช้เติมในท่อฮีทไปป์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$\rho$  = ความหนาแน่น (ความหนาแน่นน้ำ เท่ากับ 1 g/cm<sup>3</sup>)

m = มวล (g)

V = ปริมาตร (cm<sup>3</sup>)

แทนค่า

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

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

จากการคำนวณเติมของเหลวทำงาน คือ น้ำกลั่น เข้าในท่อฮีทไปป์ ประมาณ 37.6 g แต่กระบวนการเติมน้ำกลั่นต้องเติมผ่านวาล์วรูปตัวที ทำให้ยังคงมีหยดน้ำบางส่วนเกาะบริเวณผิวภายในวาล์ว ดังนั้นผู้วิจัยเติม น้ำกลั่นที่ 40 g

**ตัวอย่างการคำนวณหาประสิทธิภาพพลังงานรายวัน ของวันที่ 6 พฤษภาคม 2565**

**ตารางที่ 22** ตัวอย่างชุดข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์(input) และพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (output) ระหว่างแผงโซลาร์เซลล์ปกติ กับโซลาร์เซลล์ติดตั้งฮีทไปป์ ของวันที่ 6 พ.ค 2565

เวลา	ความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ย (W/m <sup>2</sup> )	กำลังไฟฟ้าปกติ (W)	กำลังไฟฟ้าแผงติดตั้งฮีทไปป์ (W)
11.30 น.	342	8.1	11.6
11.45 น.	393	12.1	16.5
12.00 น.	299	5.0	7.4
12.15 น.	431	17.3	23.3
12.30 น.	270	3.3	5.5
12.45 น.	268	3.4	5.8
13.00 น.	341	8.0	11.5
13.15 น.	638	46.0	60.2
13.30 น.	359	9.1	13.1
13.45 น.	750	65.9	76.7
14.00 น.	653	47.1	61.2
14.15 น.	532	29.1	39.3
14.30 น.	410	14.0	19.3
14.45 น.	366	9.4	13.8
15.00 น.	786	73.8	82.6
15.15 น.	281	4.2	6.7
15.30 น.	310	5.6	8.7
เฉลี่ย	437.1	21.3	27.2

จากนั้นเลือกข้อมูลในช่วงเวลา 13.45 น. เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่มีความเข้มรังสีแสงอาทิตย์สูงที่สุด  
เพื่อใช้ในการคำนวณหา ค่าประสิทธิภาพของโซลาร์เซลล์ทั้ง 2 แผง

$$\eta_d = \left( \frac{\bar{P}}{\bar{G}A} \right) \times 100\%$$

1. ประสิทธิภาพพลังงานรายวันของแผงโซลาร์เซลล์ปกติ (ไม่ติดตั้งฮีทไปป์)

แทนค่า  $\bar{G} = 750 \text{ kWh}$ ,  $\bar{P} = 65.9 \text{ kWh}$ ,  $A = 1.25 \text{ m}^2$  ในสมการ จาก  
ตารางที่ 19

$$\eta_{d(std)} = \left( \frac{65.9}{750 \times 1.25} \right) \times 100\%$$

$$\eta_{d(std)} = 7.03 \%$$

ดังนั้น ประสิทธิภาพพลังงานรายวันของแผงโซลาร์เซลล์ปกติ (ไม่ติดตั้งฮีทไปป์) คือ 7.03 %

2. ประสิทธิภาพพลังงานรายวันของแผงโซลาร์เซลล์ปกติ (ติดตั้งฮีทไปป์)

แทนค่า  $\bar{G} = 750 \text{ kWh}$ ,  $\bar{P} = 76.7 \text{ kWh}$ ,  $A = 1.25 \text{ m}^2$  ในสมการ จาก  
ตารางที่ 19

$$\eta_{d(exp)} = \left( \frac{76.7}{750 \times 1.25} \right) \times 100\%$$

$$\eta_{d(exp)} = 8.18 \%$$

ดังนั้น ประสิทธิภาพพลังงานรายวันของแผงโซลาร์เซลล์ Experiment (ติดตั้งฮีทไปป์) คือ 8.18 %

การคำนวณพลังงานรายวัน (Energy)

เป็นการแสดงตัวอย่างการคำนวณพลังงานจากค่าเฉลี่ยความเข้มแสงอาทิตย์ และจาก  
ค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ ของวันที่ 6 พฤษภาคม 2565

ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยทั้งวันของวันที่ 6 พฤษภาคม 2565

ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยแผงปกติ คือ 21.3 วัตต์

ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยแผงติดตั้งฮีทปั๊ คือ 27.2 วัตต์

การคำนวณหาพลังงานจากค่าเฉลี่ยความเข้มแสงอาทิตย์

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

- โดยที่
- $E_s$  = พลังงานแสงอาทิตย์รายวัน (Wh)
  - $\bar{G}$  = ความเข้มรังสีกระทบเฉลี่ย ( $W/m^2$ )
  - $n$  = จำนวนข้อมูลอุณหภูมิ
  - $t$  = ช่วงเวลาในการเก็บข้อมูลแต่ละค่า (Sampling time)s

แทนค่า จากตารางที่ 19

$$E_s = 0.25 \times (17 - 1) \times 437.1$$

$$E_s = 1748.4 Wh$$

ดังนั้น ค่าเฉลี่ยความเข้มแสงอาทิตย์ของวันที่ 6 พฤษภาคม 2565 สามารถผลิตค่าความเข้ม  
แสงอาทิตย์รายวัน ได้ คือ 1.75 kWh

การคำนวณหาพลังงานจากค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้า

$$E_{p(i)} = t(n - 1)\bar{P}$$

โดยที่  $E_{p(i)}$  = พลังงานไฟฟ้ารายวัน (Wh)

$\bar{P}$  = กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (W)

$n$  = จำนวนข้อมูลอนุกรม

$t$  = ช่วงเวลาในการเก็บข้อมูลแต่ละค่า (Sampling time)s

โดยช่วงเวลาที่เก็บข้อมูล ทุกๆ 15 นาที เมื่อแปลงเป็น 1 ชั่วโมง เท่ากับ 0.25 ( $t=0.25$  s) เริ่มบันทึกตั้งแต่ช่วงเวลา 11.30 -15.30 น. สามารถแบ่งได้เป็น 17 ช่วง ( $n =17$  ข้อมูล)

1. ค่าพลังงานรายวันของแผงโซลาร์เซลล์ปกติ (ไม่ติดตั้งฮีทไปป์)

แทนค่า จากตารางที่ 19

$$E_{p(std)} = 0.25 \times (17 - 1) \times 21.3$$

$$E_{p(std)} = 85.2 \text{ Wh}$$

ดังนั้น พลังงานที่โซลาร์เซลล์ปกติ (ไม่ติดตั้งฮีทไปป์) สามารถผลิตค่าพลังงานรายวันของแผงปกติ คือ 85.2 Wh

2. พลังงานของแผงโซลาร์เซลล์ Experiment (ติดตั้งฮีทไปป์)

แทนค่า จากตารางที่ 19

$$E_{p(exp)} = 0.25 \times (17 - 1) \times 27.2$$

$$E_{p(exp)} = 108.8 \text{ Wh}$$

ดังนั้น พลังงานที่โซลาร์เซลล์ Experiment (ติดตั้งฮีทไปป์) สามารถผลิตค่าพลังงานรายวันของแผงติดตั้งฮีทไปป์ คือ 108.8 Wh

ต้นทุนคงที่รวม

อลูมิเนียมบาง	150
เหล็กแม่พิมพ์	220
ท่อทองแดง 3 หุน	300
ท่อทองแดง 4 หุน	300
ข้อลดท่อทองแดง (7 ชั้น)	183.75
วาล์วลูกศรทองแดง(7 ชั้น)	175
คอนเดนเซอร์	1700
ครีมนำความร้อน(150 กรัม)	340
ลวดเชื่อมเงิน	20
รวมเป็นเงิน	3388.75 บาท

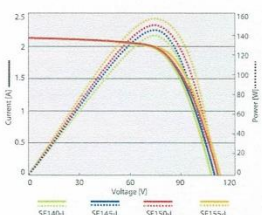


## Data Specification

### Data Sheet Solar SF-140L Frontier (2007)



#### I-V Curve



#### STC Characteristics

		SF140-L	SF145-L	SF150-L	SF155-L
Maximum power	Pmax	140 W	145 W	150 W	155 W
Module efficiency	%	11.4%	11.8%	12.2%	12.6%
Tolerance of Pmax		+10%/-5%			
Factory binning		±2.5 W	±2.5 W	±2.5 W	±2.5 W
Open circuit voltage	Voc	109.0 V	110.0 V	110.0 V	108.0 V
Short circuit current	Isc	2.10 A	2.10 A	2.10 A	2.20 A
Voltage at maximum power	Vmpp	77.0 V	78.0 V	79.0 V	80.0 V
Current at maximum power	Impp	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. Isc and Voc are ±10% tolerance of STC rated values. Module output may rise after light soaking due to its unique characteristics.

#### Certificates and Compliance\*

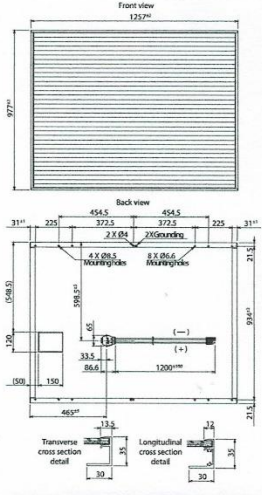


#### NOCT Characteristics

		SF140-L	SF145-L	SF150-L	SF155-L
Maximum power	Pmax	102 W	106 W	109 W	113 W
Open circuit voltage	Voc	97.8 V	98.7 V	98.7 V	96.9 V
Short circuit current	Isc	1.66 A	1.66 A	1.66 A	1.74 A
Voltage at maximum power	Vmpp	72.7 V	73.6 V	74.5 V	75.5 V
Current at maximum power	Impp	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.

#### Module Drawing



#### 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 Isc	$\alpha$	+0.01%/K
Temperature coefficient of Voc	$\beta$	-0.30%/K
Temperature coefficient of Pmax	$\delta$	-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	CrS 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 (50.1 lbs/ft<sup>2</sup>) is applied to meet the 1,600 Pa UL design load standard.

#### 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

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



### 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, HTPCX, HTPCX\_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 Wentworth, 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

## บรรณานุกรม

- [1] หัตถา เ. SOLARCOOLING ระบบปรับอากาศพลังงานแสงอาทิตย์. NECTEC. 2564.
- [2] T K. National Science and Technology Development Agency ( NSTDA) . 2016.
- [3] Hasanuzzaman M, Malek A, Islam M, Rahim N. GLocal advancement of cooling technologies for PV systems: A review. Solar Energy. 2016(137):25-45.
- [4] Byon C. Heat Pipe and Phase Change Heat Transfer Technologies. 2016.
- [5] ลากวุฒิพนธ์ ธ. การเพิ่มประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์ด้วยระบบฮีทไปป์คูolling. 2563.
- [6] ศรีเมือง ว, ชันติโกมล ป. การเปรียบเทียบสมรรถนะทางความร้อนของเครื่องอุ้่นอากาศแบบท้อความร้อน วงกลมวางแนวนอนชนิดหน้าตัดแบนกับหน้าตัดกลม. 2012.
- [7] แสงอาทิตย์ ทางเลือกที่สดใสของการผลิตไฟฟ้าไทย2015 กุมภาพันธ์ 13. Available from: [https://www.egat.co.th/index.php?option=com\\_content&view=article&id=843&catid=38&Itemid=112](https://www.egat.co.th/index.php?option=com_content&view=article&id=843&catid=38&Itemid=112).
- [8] การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์2562 สิงหาคม 14. Available from: <https://webkc.dede.go.th/testmax/sites/default/files/%E0%B8%84%E0%B8%B9%E0%B9%88%E0%B8%A1%E0%B8%B7%E0%B8%AD%20%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%9C%E0%B8%A5%E0%B8%B4%E0%B8%95%E0%B9%84%E0%B8%9F%E0%B8%9F%E0%B9%89%E0%B8%B2%E0%B8%88%E0%B8%B2%E0%B8%81%E0%B8%9E>.
- [9] Zonhuri B. Design Guide and HEat Pipe Selection. 2019.
- [10] Chi SW. Heat Pipe Theory and Prectice A Source book. London: McGraw-Hill; 1976.
- [11] H.A M, E, Ezzaldeen E. Heat Pipes for Computer Cooling Applications. 2015.
- [12] Ubale D, Jangam R. Boosting Energy of solar panel using heat pipes. International Journal of Civil,Mechanical and Energy Science(IJCMEs). 2016;2:6.
- [13] Dunn PD, Anthony Reay D. HEAT PIPES. University of Mochigan: Elsevier Science & Technology; 1978.
- [14] ชุมวิสูตร ธ. การศึกษาและพัฒนาโครงสร้างวิกสำหรับฮีทไปป์. ฐานข้อมูลวิทยานิพนธ์ไทย. 2546.
- [15] เสี่ยมศักดิ์ ส, บุไรสง ส, ฤทธิเดช ส. ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อท้อความร้อนที่ติดตั้งวัสดุพุนชนิดตาข่าย. วารสารวิชาการและวิจัย มทรพระนคร. 2561(2):172.
- [16] เทวดา อ, ศรีอุมตม ย. การศึกษาเชิงทดลองการเพิ่มประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ท้อความร้อน

แบบแผน. RMUTP Research Journal. 2561:12.





จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ยศพล เกื้อชาติ
วัน เดือน ปี เกิด	8 มกราคม 2539
สถานที่เกิด	นครศรีธรรมราช
ที่อยู่ปัจจุบัน	71/156 modiz ลาดพร้าว 18 จอมพล จตุจักร กรุงเทพฯ 10900



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY