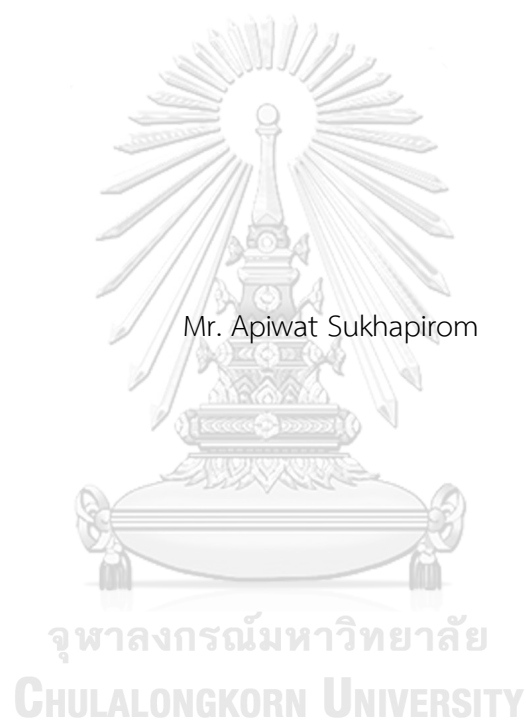


ศึกษาเปรียบเทียบระบบน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ระหว่างแบบแผ่นเรียบและแบบหลอดแก้ว
สุญญากาศ



สารนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน สหสาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2562
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Comparative Study of Solar Thermal Systems Between Flat Plate Solar Collector and
Vacuum Tube Solar Collector



An Independent Study 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 2019

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อสารนิพนธ์	ศึกษาเปรียบเทียบระบบน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ระหว่าง แบบแผ่นเรียบและแบบหลอดแก้วสุญญากาศ
โดย	นายอภิวัฒน์ สุขภิรมย์
สาขาวิชา	เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐิติศักดิ์ บุญปราโมทย์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับสารนิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบสารนิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ ศรีเจริญชัยกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐิติศักดิ์ บุญปราโมทย์)

..... กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.อรทัย ชวาลภาฤทธิ)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ประพันธ์ คูชลธารา)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

อภิวัฒน์ สุขาภิรมย์ : ศึกษาเปรียบเทียบระบบน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ระหว่างแบบ
แผ่นเรียบและแบบหลอดแก้วสุญญากาศ. (Comparative Study of Solar Thermal
Systems Between Flat Plate Solar Collector and Vacuum Tube Solar
Collector) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ผศ. ดร.ฐิติศักดิ์ บุญปราโมทย์

งานวิจัยเรื่องนี้ได้ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำร้อน
พลังงานแสงอาทิตย์ ระหว่างแบบแผ่นเรียบและแบบหลอดแก้วสุญญากาศ จากการเก็บข้อมูลจริง
เป็นระยะเวลาประมาณ 4 เดือน โดยวิเคราะห์จากปัจจัยที่อาจจะมีผลต่ออุณหภูมิของน้ำ เช่น
ความเข้มแสงอาทิตย์ ความชื้นในอากาศ อุณหภูมิอากาศ น้ำเข้า-ออกแผงรับความร้อน พบว่า
สภาพอากาศมีผลต่อการผลิตน้ำร้อนมากที่สุด โดยในวันที่แสงแดดดีจะทำความร้อนได้สูงแต่ในวันที่
ฝนตกจะไม่สามารถทำความร้อนได้ และแผงทำความร้อนทั้งสองแบบมีช่วงการทำความร้อนที่ไม่
เท่ากัน โดยที่แผงทำความร้อนแบบแผ่นเรียบจะมีช่วงเวลาที่สามารเพิ่มอุณหภูมิของน้ำได้แคบ
กว่าแบบหลอดแก้วประมาณ 1.5-2 ชั่วโมงต่อวัน แต่ช่วงเวลา 09.00-15.00 แผงแบบแผ่นเรียบ
สามารถทำความร้อนได้สูงกว่าแบบหลอดแก้วสุญญากาศ ทั้งนี้ประสิทธิภาพรวมตลอดวันของแผง
ทั้งสองชนิดมันจะขึ้นอยู่กับปริมาณแสงแดดแต่ละช่วงเวลาของวันนั้นๆ โดยปริมาณแสงแดดมาก
น้อยไม่เท่ากันแต่ละช่วงเวลา จะส่งผลต่อความได้เปรียบเสียเปรียบของแผงทำน้ำร้อนทั้งสองชนิด
นอกจากนี้ยังพบว่าแผงแบบแผ่นเรียบมีอัตราการสูญเสียความร้อนที่สูงกว่าแบบหลอดแก้ว
สุญญากาศ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิบริเวณที่ทำการทดลองโดยเฉพาะในช่วงเวลากลางคืน โดยปัจจัย
เหล่านี้ส่งผลให้แผงทั้งสองชนิดได้มีผลได้เปรียบเสียเปรียบต่างกันไป ทางด้านจุดคุ้มทุนพบว่า ทั้ง
สองระบบมีจุดคุ้มทุนไม่ต่างกันมากนัก ขึ้นอยู่กับราคาขายในท้องตลาด

สาขาวิชา เทคโนโลยีและการจัด
การพลังงาน

ปีการศึกษา 2562

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

5987230620 : MAJOR ENERGY TECHNOLOGY AND MANAGEMENT

KEYWORD: Compare efficiency, Solar Thermal Systems, Heat loss rate

Apiwat Sukhapirom : Comparative Study of Solar Thermal Systems
Between Flat Plate Solar Collector and Vacuum Tube Solar Collector.

Advisor: Asst. Prof. THITISAK BOONPRAMOTE, Ph.D.

This research focuses on studying analyzing and compare efficiency of the solar thermal systems between flat plate solar collector and vacuum tube solar collector. From the actual data collection for a period of approximately 4 months by analyzing factors that may affect the water temperature, such as solar intensity, air humidity, air temperature, water in - out of the heating panel. It found that, the weather has the most effect on hot water production. On the day that the sunlight is good, it can be heated up but on the day that it is raining, it cannot be heated. Which both heating panels have different heating ranges with the flat plate heating, there will be a time period that can increase the water temperature to be narrower than the vacuum tube about 1.5-2 hours per day. But during 09.00-15.00 flat plate panels can be heated higher than vacuum tubes. However, the overall performance of the two types of panels will depend on the amount of sunlight each time of the day. The amount of sunlight is not the same for each period will affect the advantage and disadvantage of the solar Thermal both types. In addition, it was found that the flat plate has a higher heat loss rate than the vacuum tube depending on the test area, especially during the night. These factors result in both types of panels having different advantages. The cost-effectiveness found that both systems have very different payback points depending on the market price.

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

Academic Year: 2019 Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาเปรียบเทียบระบบน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ระหว่าง แบบแผ่นเรียบและแบบหลอดแก้วสุญญากาศ ครั้งนี้เป็นส่วนหนึ่งของหลักสูตรเทคโนโลยีและการจัดการพลังงานจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงได้ดีตามความมุ่งหมาย และวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งไว้ เนื่องจากได้รับความกรุณาจากท่าน ผศ.ดร.ฐิติศักดิ์ บุญปราโมทย์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้เสียสละเวลา และกรุณาให้ความช่วยเหลือพร้อมทั้งให้คำปรึกษาแนะนำ ข้อเสนอแนะด้านวิชาการ การศึกษา ตลอดจนช่วยตรวจสอบ ปรับปรุง และแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ของรายงานการวิจัยเล่มนี้ให้ถูกต้องเป็นอย่างดี

ผู้วิจัยขอขอบคุณเจ้าของบทความงานวิจัยทุกท่าน แหล่งข้อมูลต่าง ๆ ที่กล่าวอ้างอิงในงานวิจัย ซึ่งมีส่วนอย่างยิ่งในการสนับสนุนข้อมูล ทำให้ผู้วิจัยเกิดความเข้าใจในประเด็นต่าง ๆ ในการศึกษาวิจัย นอกจากนี้ขอขอบคุณคณะเจ้าหน้าที่บริหารหลักสูตร ตลอดจนเพื่อนทุกคน และผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่ช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในเรื่องต่าง ๆ มาโดยตลอด จนกระทั่งทำให้การศึกษาวิจัยครั้งนี้สำเร็จและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดามารดา ครอบครัวและผู้มีอุปการะคุณทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการศึกษาให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยเฉพาะอย่างยิ่ง พันเอกปรีดี กุมภีรัตน์และอดีตผู้บังคับบัญชา ที่กรุณา อนุญาตและสนับสนุนในการเข้าศึกษาหลักสูตรนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

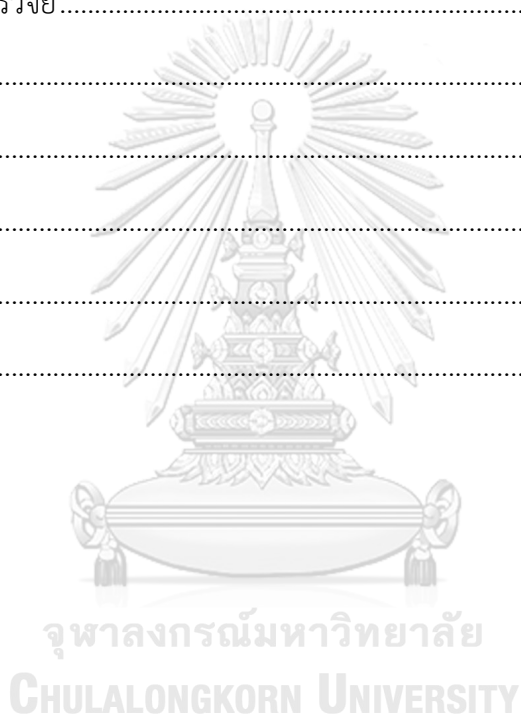
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

อภิวัฒน์ สุขภักดิ์

สารบัญ

	หน้า
.....	ค
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูปภาพ.....	ฌ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	1
2.1 หลักการทำงานพื้นฐานเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์.....	1
2.2 ถังเก็บน้ำร้อน (Thermal Storage Tank).....	6
2.3 ปัจจัยที่มีผลกับประสิทธิภาพการทำความร้อนของเครื่องทำความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์	7
2.4 แนวทางในการทำการศึกษาวัดประสิทธิภาพของทั้งสองระบบ.....	8
2.5 การคำนวณหาค่าพลังงานความร้อนของน้ำ.....	9
2.6 การประเมินทางเศรษฐศาสตร์.....	9
2.7 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	11
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัยและเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย	13
3.1 ติดตั้งเครื่องทำน้ำร้อนทั้งสองระบบ	13
3.2 สร้างเครื่องมือวัดและเก็บข้อมูล.....	14
3.3 ติดตั้งเซนเซอร์ทุกจุดตามที่กำหนด.....	17

3.4 วิเคราะห์ข้อมูล.....	19
บทที่ 4 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพ.....	20
4.1 ผลการทดลองโดยพิจารณาจากปัจจัยที่ส่งผลต่อการทำงาน.....	20
4.2 การวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์.....	36
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	40
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	40
5.2 อภิปรายผลการวิจัย.....	43
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	46
ภาคผนวก ก.....	51
ภาคผนวก ข.....	59
บรรณานุกรม.....	66
ประวัติผู้เขียน.....	68



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์กับแบบแผ่นเรียบ เมื่ออุณหภูมิน้ำในถังเริ่มต้นเพิ่มขึ้น	1
ตารางที่ 1.2 ระดับอุณหภูมิสูงสุดของแผงทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบและแบบ หลอดแก้วสุญญากาศ.....	1



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในช่วงอุณหภูมิ ต่าง ๆ ระหว่างหลอดแก้ว สุญญากาศและแบบแผ่นเรียบ	1
รูปที่ 2.1 แสดงหลักการทำงานเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์.....	1
รูปที่ 2.2 แสดงการรับความร้อนจากแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ	2
รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบแผงทำความร้อนแบบแผ่นเรียบ.....	3
รูปที่ 2.4 ส่วนประกอบและการทำงานของหลอดแก้วสุญญากาศ.....	4
รูปที่ 2.5 แผงรับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศ.....	5
รูปที่ 2.6 การตกกระทบของแสงอาทิตย์ระหว่างหลอดแก้วสุญญากาศและแผ่นเรียบ	5
รูปที่ 2.7 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์	6
รูปที่ 2.8 ถังเก็บน้ำร้อน (Thermal Storage Tank).....	7
รูปที่ 2.9 กราฟแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์กับ ความเข้มรังสี แสงอาทิตย์.....	8
รูปที่ 2.10 กราฟแสดงการวัดค่าพลังงานความร้อนที่ได้แต่ละจุดของการทดลองการผลิตน้ำร้อน	8
รูปที่ 3.1 ติดตั้งเครื่องทำน้ำร้อนพลังแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบและแบบหลอดแก้วสุญญากาศ	13
รูปที่ 3.2 เครื่องบันทึกผล data logger	14
รูปที่ 3.3 หน้าจอแสดงผล data logger	15
รูปที่ 3.4 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์(MCU) Atmega328p	16
รูปที่ 3.5 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ DS18B20	16
รูปที่ 3.6 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น DHT22	17
รูปที่ 3.7 การ์ดเก็บข้อมูล (SD Card).....	17
รูปที่ 3.8 ท่อทองแดงปลายปิดสำหรับใส่เซนเซอร์ เพื่อวัดค่าอุณหภูมิน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อน	18
รูปที่ 3.9 ติดตั้งเซนเซอร์ตามจุดที่กำหนด	18

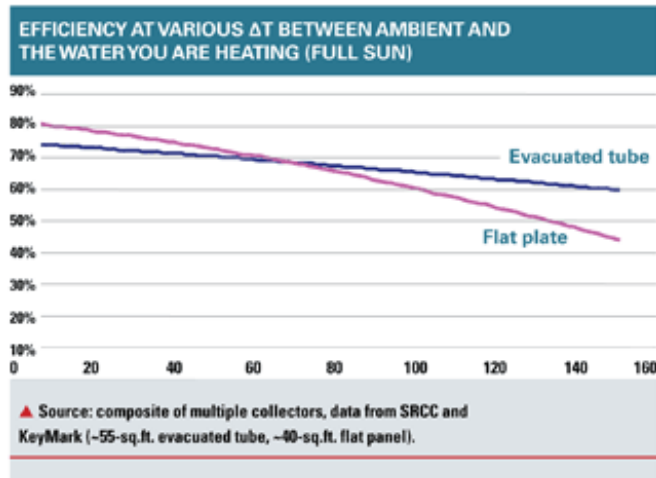
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์บริเวณทำการทดลอง (17 ต.ค. 2561).....	20
รูปที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในถังเก็บน้ำร้อน (17 ต.ค. 2561).....	21
รูปที่ 4.3 กราฟค่าอุณหภูมิน้ำก่อนเข้าและออกจากแผงแบบหลอดแก้วสุญญากาศ (17 ต.ค. 2561).....	22
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิน้ำก่อนเข้าและออกจากแผงแบบแผ่นเรียบ (17 ต.ค. 2561).....	22
รูปที่ 4.5 กราฟค่าความชื้นและอุณหภูมิบริเวณที่ทำการทดลอง (9 พ.ย. 2561)	23
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความเข้มแสงอาทิตย์ (9 พ.ย. 2561).....	24
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิภายในถังเก็บน้ำร้อน (9 พ.ย. 2561).....	25
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิภายในถังเก็บน้ำร้อน (2 พ.ย. 2561).....	25
รูปที่ 4.9 กราฟเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากแผงทำความร้อน (2 พ.ย. 2561).....	27
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิน้ำออกจากแผงหลอดแก้วสุญญากาศและแผ่นเรียบ (27 ธ.ค. 2561).....	30
รูปที่ 4.11 แสดงความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิบริเวณที่ทำการทดลอง (7 ธ.ค. 2561).....	33
รูปที่ 4.12 ส่วนที่มีการสูญเสียความร้อนของแผงทำความร้อนทั้งสองชนิด	36
รูปที่ 5.1 ลักษณะทางกายภาพของแผงทำความร้อนแบบแผ่นเรียบและหลอดแก้วสุญญากาศ	41
รูปที่ 5.2 ตัวอย่างการเกิดตะกรันในท่อทองแดง	44
รูปที่ 5.3 การวางท่อทองแดงของแผงทำความร้อนแบบแผ่นเรียบ.....	45
รูปที่ 5.4 ลักษณะการวางใยแก้วภายในแผงรับความร้อนแบบแผ่นเรียบ	45
รูปที่ 5.5 ท่อทองแดงภายในแผงทำความร้อนแบบหลอดแก้วสุญญากาศ.....	46

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การผลิตน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่สามารถนำพลังงานหมุนเวียนมาใช้ให้เกิดประโยชน์และเป็นการลดใช้พลังงานอีกทางหนึ่ง หากมีการใช้งานน้ำพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์อย่างแพร่หลายก็จะทำให้เกิดการลดใช้พลังงานด้านอื่นๆอีกมาก จากการศึกษาข้อมูลพบว่าปัจจุบันมีอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตน้ำร้อนเกิดขึ้นหลากหลายชนิด เช่น เครื่องทำน้ำร้อนแบบรางพาราโบลิก เครื่องทำน้ำร้อนแบบจานพาราโบลิก เครื่องทำน้ำร้อนแบบแผ่นเรียบ เครื่องทำน้ำร้อนแบบหลอดแก้วสุญญากาศและจากการสำรวจพบว่าเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่เป็นผลิตภัณฑ์มาตรฐานและวางจำหน่ายอย่างแพร่หลายทั้งในไทยและต่างประเทศ มีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิดที่ คือชนิด ชนิดแผ่นเรียบ (Flat Plate solar collector) และ ชนิดหลอดแก้วสุญญากาศ (vacuum tube solar collector) ทั้งสองชนิดมีประสิทธิภาพที่แตกต่างกัน และจากการศึกษาจากข้อมูลและงานวิจัยจากแหล่งต่างๆพบว่าข้อมูลด้านประสิทธิภาพยังมีความขัดแย้งกัน จากตารางที่ 1 เป็นการศึกษาของคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้ข้อสรุปว่าแผงทำน้ำร้อนแบบหลอดแก้วสุญญากาศ(ฮีตไปป์)มีประสิทธิภาพต่ำกว่าแบบแผ่นเรียบ 12-17% ,ผลการทดสอบจากต่างประเทศ <http://www.contractormag.com> แผงทำน้ำร้อนแบบหลอดแก้วสุญญากาศจะมีประสิทธิภาพดีกว่าแบบแผ่นเรียบดีในบางช่วงเวลา และข้อมูลจากกระทรวงพลังงาน แผงแบบหลอดแก้วสามารถทำอุณหภูมิได้สูงกว่าแบบแผ่นเรียบ จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นว่า ข้อมูลประสิทธิภาพไม่สอดคล้องกัน ฉะนั้นจึงมีความสนใจศึกษาประสิทธิภาพในระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพของทั้งสองระบบอย่างแท้จริงและเป็นแนวทางให้แก่ผู้สนใจเลือกใช้ต่อไป



รูปที่ 1.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในช่วงอุณหภูมิ ต่าง ๆ ระหว่างหลอดแก้วสุญญากาศและแบบแผ่นเรียบ

ที่มา <http://contractormag.com/green-contracting/solar-choices-1009>

ตารางที่ 1.1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์กับแบบแผ่นเรียบเมื่ออุณหภูมิน้ำในถังเริ่มต้นเพิ่มขึ้น

วันที่ทดสอบ	22 พ.ย.	29 พ.ย.	3 ธ.ค.
อุณหภูมิน้ำในถังเริ่มต้น (°C)	29.2	40.3	50.2
ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย(W/m ²)	529	526	523
พลังงานแสงอาทิตย์ (MJ)	30.5	30.3	30.4
อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุด (°C)	36.7	35.6	38.1
อุณหภูมิอากาศภายนอกต่ำสุด (°C)	26.8	28.4	23.1
ประสิทธิภาพของระบบแผ่นเรียบ (%)	45.2	36.7	32.5
ประสิทธิภาพของระบบท่อฮีตไปป์(%)	28.1	22.3	19.6
ผลต่างประสิทธิภาพ(%)	17.1	14.4	12.9

ที่มา: วิทยา ยงเจริญ ของวารสารวิจัยพลังงาน ปีที่ 8 ฉบับที่ 2554/1 โดยคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1.2 ระดับอุณหภูมิสูงสุดของแผงทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบและแบบหลอดแก้วสุญญากาศ

แบบแผ่นรับแสง	ระดับอุณหภูมิสูงสุดโดยประมาณ (องศาเซลเซียส)
1. แผ่นเรียบชนิดมีแผ่นปิดใส (Single glazed)	40-90
2. แผ่นเรียบชนิดไม่มีแผ่นปิด (Unglazed)	< 40
3. ท่อน้ำสุญญากาศ (evacuated tubular collector)	100-200

ที่มา: คู่มือการพัฒนาและการลงทุนการผลิตพลังงานจากแสงอาทิตย์ จากกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ปี 2557

นอกจากนี้ปัญหาด้านประสิทธิภาพแล้ว ความคุ้มค่าด้านการลงทุนก็เป็นอีกประเด็นที่น่าสนใจในการศึกษา เพื่อชี้ให้เห็นว่าเครื่องทำน้ำร้อนทั้งสองระบบมีความคุ้มค่าในการลงทุนมากน้อยเพียงใด

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำน้ำร้อนของ Flat Plate solar collector และ vacuum tube solar collector เพื่อให้ทราบถึงความสามารถในการทำน้ำร้อนทั้งสองชนิด และหาจุดคุ้มทุนทั้งสองระบบ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- เก็บข้อมูลการทำความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบและชนิดหลอดแก้วสุญญากาศเป็นเวลา 5 เดือน โดยทำการติดตั้งแผงทำน้ำร้อนแบบแผ่นเรียบขนาด 2 ตารางเมตรและหลอดแก้วสุญญากาศขนาด 10 หลอดแก้วหรือคิดเป็นพื้นที่รับแสงแดด 1.53 ตารางเมตรพร้อมถังน้ำร้อนขนาด 100 ลิตรกับแผงทำน้ำร้อนทั้งสองชนิด
- วัดค่าต่างๆ ที่มีผลกับการสร้างความร้อนของแผงทำความร้อนโดยจะใช้พารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้
 - อุณหภูมิอากาศรอบข้างบริเวณที่ทำการทดลอง
 - ความเข้มของแสงอาทิตย์

- อุณหภูมิน้ำภายนอกถังเก็บน้ำร้อน
- อุณหภูมิน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อน
- อุณหภูมิน้ำก่อนเข้าและออกจากแผงทำความร้อน

โดยจะทำการบันทึกข้อมูลทุกๆ 5 นาที ในช่วงเวลา 06.00-18.00 น.

- 3 นำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดมาวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ว่าปัจจัยใดที่มีผลต่อการเพิ่มของอุณหภูมิน้ำ
- 4 หาจุดคุ้มทุนของเครื่องทำน้ำร้อนทั้งสองแบบ

1.4 ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย

- 1 ศึกษาทฤษฎีพื้นฐาน ศึกษางานวิจัยและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับเครื่องทำน้ำร้อนพลังแสงอาทิตย์
- 2 ศึกษาการทำงานของเครื่องทำน้ำร้อนพลังแสงอาทิตย์
- 3 ทำการติดตั้งเครื่องทำน้ำร้อนพลังแสงอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศและแบบแผ่นเรียบ
- 4 ติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าอุณหภูมิของทั้งสองระบบและบันทึกข้อมูล
- 5 นำข้อมูลจากการทดสอบไปวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพพร้อมทั้งหาประสิทธิภาพและจุดคุ้มทุน
- 6 สรุปผลการทดลอง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบถึงประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานชนิด ชนิดแผ่นเรียบ (Flat Plate solar collector) และ ชนิดหลอดแก้วสุญญากาศ (vacuum tube solar collector) หน่วยงานภาครัฐที่มีการส่งเสริมระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จะสามารถนำข้อมูลที่ได้รับไปประกอบการตัดสินใจในการเลือกระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าเพื่อส่งเสริมกับประชาชนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

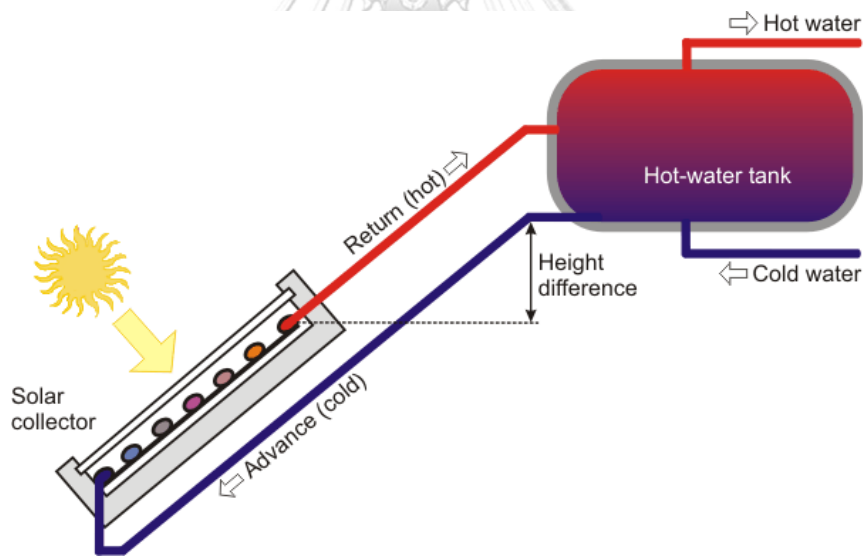
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะอธิบายให้ทราบถึงหลังการทำงานพื้นฐานของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ และความแตกต่างทางกายภาพของเครื่องทำน้ำร้อนชนิดแผ่นเรียบและชนิดหลอดแก้วสุญญากาศ พร้อมทั้งศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งสองระบบนี้

2.1 หลักการทำงานพื้นฐานเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นระบบการทำน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ เมื่อพลังงานแสงอาทิตย์ ตกกระทบบนแผงรับความร้อน ความร้อนจะถูกดูดซับและส่งถ่ายความร้อนให้กับน้ำซึ่งอยู่ภายในท่อทองแดง



รูปที่ 2.1 แสดงหลักการทำงานเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

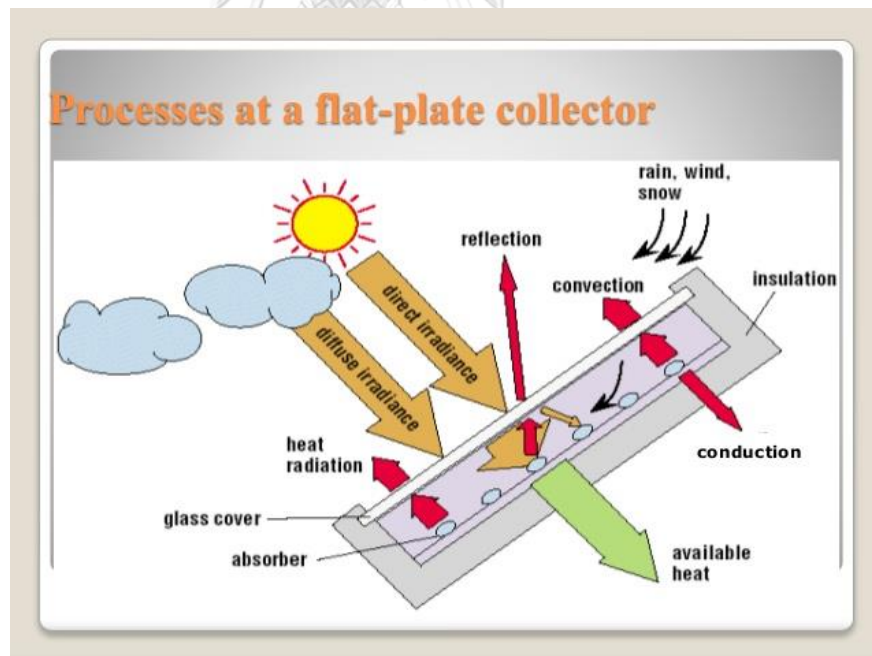
โดยมีส่วนประกอบหลักแสดงในรูปที่ 2.1 เริ่มจากเมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบบนแผงรับแสงอาทิตย์ ผิวของแผงรับแสงจะถูกดูดซับและถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำซึ่งอยู่ภายในท่อทองแดง น้ำจะเกิดการไหลเวียนตามธรรมชาติคือเมื่อน้ำได้รับความร้อนโมเลกุลของน้ำจะขยายตัวทำให้มีความถ่วงจำเพาะน้อยลงเกิดการลอยตัวขึ้นสู่ที่สูง น้ำเย็นที่มีโมเลกุลหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะมากกว่าจะไหลลงไปยังจุดต่ำสุดโดยจะเข้ามาแทนที่น้ำที่ร้อนที่ลอยขึ้นไปยังจุดสูงกว่า เป็นวัฏจักรแบบนี้ตลอด

ทั้งวันที่มีแสงแดด ด้วยหลักการนี้ เรียกว่า เทอร์โมไซฟอน (Thermosyphon)

สำหรับเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ในปัจจุบัน มีการออกแบบแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ 2 แบบได้แก่ แบบแผ่นเรียบ และแบบหลอดแก้วสุญญากาศ โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1.1 แผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ (Flat Plate)

หลักการทำงานของแผงทำน้ำร้อนแบบแผ่นเรียบ แผงรับความร้อนจะรับแสงจากด้านหน้าแผงโดยมีกระจกเป็นตัวกั้น ยอมให้แสงและความร้อนผ่านเข้าไปภายในแผงและถ่ายเทความร้อนไปยังท่อทองแดงซึ่งจะมีน้ำอยู่ภายในท่อทองแดง โดยด้านในจะมี Absorber Plate ช่วยดูดซับความร้อนที่รับเข้ามา ภายในแผงรับความร้อนจะมีท่อทองแดงซึ่งมีการวางกระจายภายในแผงเพื่อส่งผ่านความร้อนไปสู่ท่อที่อยู่ภายในท่อทองแดง น้ำจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นและลอยตัวไปยังที่สูงขึ้นตามหลักการ Thermosyphon แผงรับความร้อนที่ดีจะออกแบบให้มีการเก็บความร้อนไว้ภายในแผงให้ดีที่สุด สูญเสียความร้อนไปยังภายนอกน้อยที่สุดเพื่อประสิทธิภาพที่ดีที่สุด



รูปที่ 2.2 แสดงการรับความร้อนจากแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ

แผงรับแสงทำหน้าที่รับและถ่ายเทความร้อนที่ได้จากดวงอาทิตย์ให้กับน้ำ มีส่วนประกอบสำคัญดังนี้

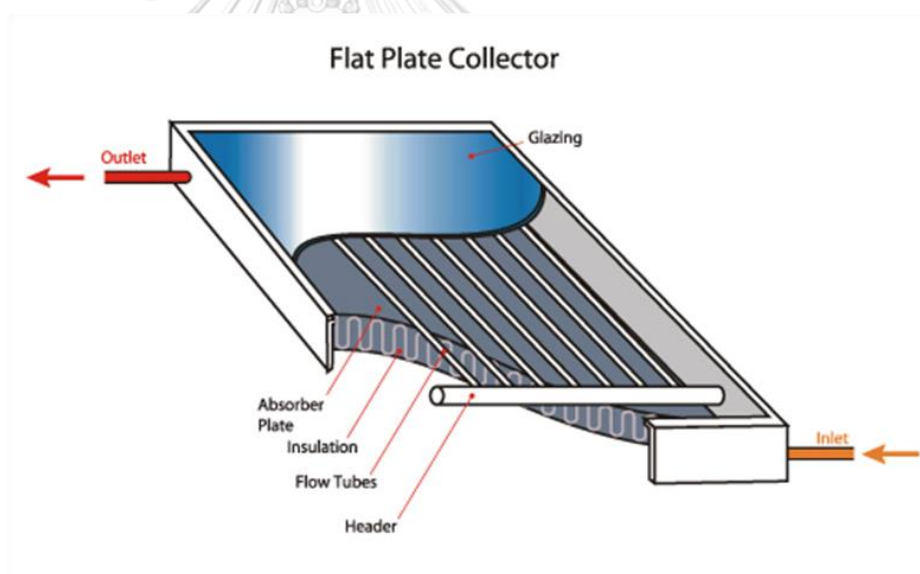
Glazing กระจกปิดด้านบน ใช้กระจกนิรภัย (Tempered Glass) ซึ่งสามารถทนแรงกระแทกได้เป็นอย่างดีทำหน้าที่ลดการสะท้อนของแสง และรักษาอุณหภูมิภายในให้สูง

Absorber Plate แผ่นดูดซับความร้อนทำหน้าที่ดูดซับความร้อน

Insulation ฉนวนกันความร้อนทำหน้าที่ป้องกันการสูญเสียความร้อน คงความร้อนให้อุ่นไว้

Flow Tubes ท่อทางเดินน้ำ(ทองแดง)

Header ท่อเมน(ทองแดง)

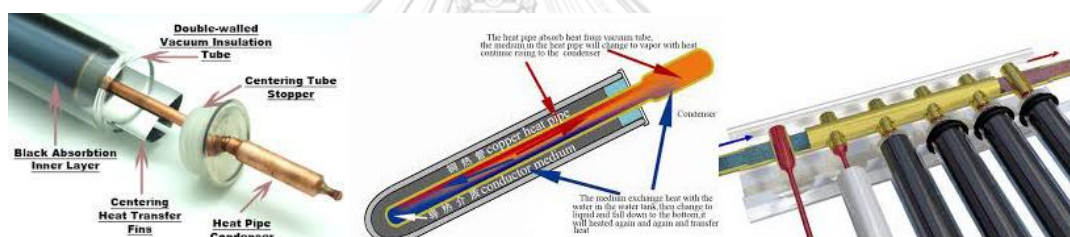


รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบแผงทำความร้อนแบบแผ่นเรียบ

2.1.2 แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศ (Vacuum Tube Solar Collector)

หลักการทำงานแผงทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศ การทำงานจะใช้หลักการ Thermosyphon เช่นเดียวกับแผงชนิดแผ่นเรียบ โดยแผงแบบหลอดแก้วจะมีหน้าที่รับ

ความร้อนจากแสงอาทิตย์ โดยลักษณะของหลอดแก้วจะมีสองชั้น ช่องว่างระหว่างชั้นนอกและชั้นใน จะเป็นชั้นสุญญากาศมีคุณสมบัติไม่นำความร้อนลดการสูญเสียความร้อนจากภายในหลอด ผิวแก้วชั้นในจะเคลือบด้วยสารเคลือบที่มีคุณสมบัติการดูดซับความร้อนจากแสงอาทิตย์ ช่องว่างระหว่างผิวชั้นนอกและชั้นในจะถูกดึงเอาอากาศออกทำให้เป็นสุญญากาศ จึงมีคุณสมบัติเป็นฉนวนกันความร้อน ทำให้ไม่สูญเสียความร้อนมาทางพื้นผิวของหลอดแก้ว เมื่อหลอดแก้วได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ ความร้อนก็จะส่งผ่านไปยังพื้นที่ชั้นในของหลอดแก้ว ซึ่งจะมีท่อทองแดงคอยรับความร้อนอยู่ชั้นในสุดของหลอดแก้ว โดยท่อทองแดงจะปิดปลายทั้งสองด้านภายในบรรจุของเหลวซึ่งเป็นสารนำความร้อน จะเรียกว่าท่อทองแดงนี้ว่า Heat Pipe หน้าที่ของแท่ง Heat Pipe นี้หลังจากได้รับความร้อนของเหลวที่อยู่ภายใน Heat Pipe จะร้อนจนเดือด ของเหลวจะพุ่งขึ้นไปถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำที่อยู่แกนแผงรับความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ส่วนประกอบและการทำงานของหลอดแก้วสุญญากาศ

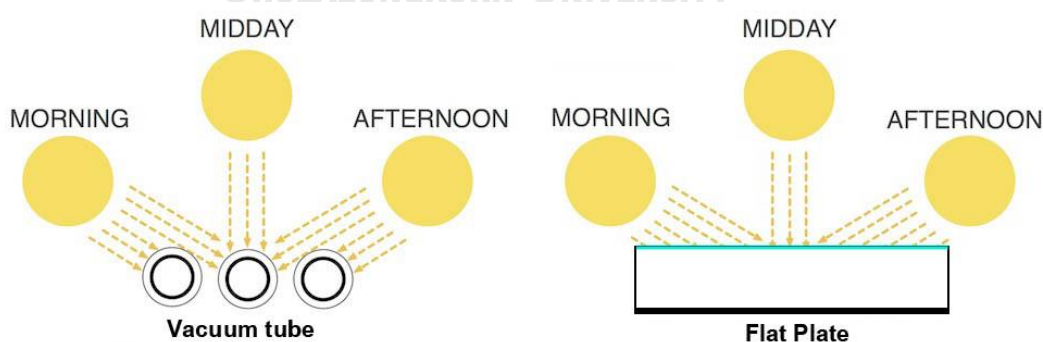
ส่วนประกอบของแผงรับความร้อนพลังแสงอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศ ประกอบไปด้วยแกนแผงซึ่งอยู่ด้านบนสุดของแผง โดยแกนแผงนี้จะเป็นทางน้ำเข้าและออกเพื่อมารับความร้อนจากแผง และจะมีหลอดแก้วสุญญากาศประกอบติดกับแผงดังแสดงในภาพที่ 2.5 ส่วนของหลอดแก้วและแกนแผงสามารถถอดแยกชิ้นกันได้ ความสามารถในการทำความร้อนจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับจำนวนหลอดแก้วที่ประกอบเป็นแผง โดยแผงรับความร้อนชนิดนี้มักจะผลิตกันที่ 10-30 หลอดแก้ว



รูปที่ 2.5 แผงรับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศ

2.1.3 เปรียบเทียบระหว่างแผงรับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ (Flat Plate) และแบบหลอดแก้วสุญญากาศ (Vacuum tube)

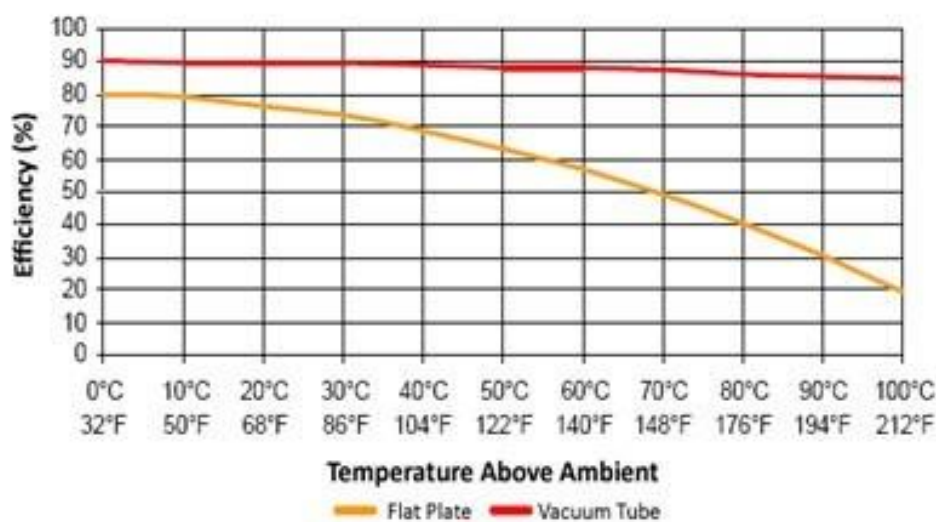
มุมของการตกกระทบของแสงอาทิตย์ที่กระทำต่อแผงทำน้ำร้อนทั้งสองชนิดมีผลกับประสิทธิภาพการทำน้ำร้อนของแผงทำน้ำร้อน ช่วงเวลาที่ทำให้ผลิตน้ำร้อนได้คุณภาพสูงสุดคือช่วงเที่ยงหรือช่วงเวลาที่ดวงอาทิตย์ตั้งฉากกับแผงทำความร้อน แผงแบบแผ่นเรียบจะทำมุม 90 องศาเฉพาะเวลาเที่ยงวันเท่านั้น ส่วนแผงแบบหลอดแก้วสุญญากาศมีลักษณะเป็นทรงกลมทำให้ ดวงอาทิตย์จะทำมุม 90 องศาตลอดเวลา หากพิจารณาจากรูปข้างแล้ว แผงแบบหลอดแก้วสุญญากาศก็ดูจะได้เปรียบแผงแบบแผ่นเรียบ ดังแสดงในภาพที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การตกกระทบของแสงอาทิตย์ระหว่างหลอดแก้วสุญญากาศและแผ่นเรียบ

ข้อมูลจากผู้ผลิตระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์รายหนึ่งในต่างประเทศให้ข้อมูลว่า การส่งผ่านความร้อนมายังน้ำของแผงทำความร้อนชนิดหลอดแก้วสุญญากาศมีการสูญเสียที่ต่ำกว่าเนื่องจาก

ความร้อนที่ส่งเข้าไปยังหลอดแก้วแล้วจะไม่สามารถผ่านชั้นสุญญากาศกลับออกมาได้จึงถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำได้ดี ในส่วนของแผงแบบแผ่นเรียบจะสูญเสียพลังงานบริเวณรอบตัวแผงรับความร้อน ทำให้การส่งผ่านความร้อนไปยังน้ำไม่เต็มที่เท่าที่ควร โดยกราฟแสดงประสิทธิภาพต่ออุณหภูมิ แผงแบบหลอดแก้วสุญญากาศมีประสิทธิภาพสูงกว่าทุกช่วงของอุณหภูมิเริ่มตั้งแต่ 0 - 100 °c ขณะที่แผงแบบแผ่นเรียบประสิทธิภาพจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ดังแสดงตามภาพที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

ที่มา : http://www.sunflower-solar.com/index.php?act=content&scheduler_id=390

2.2 ถังเก็บน้ำร้อน (Thermal Storage Tank)

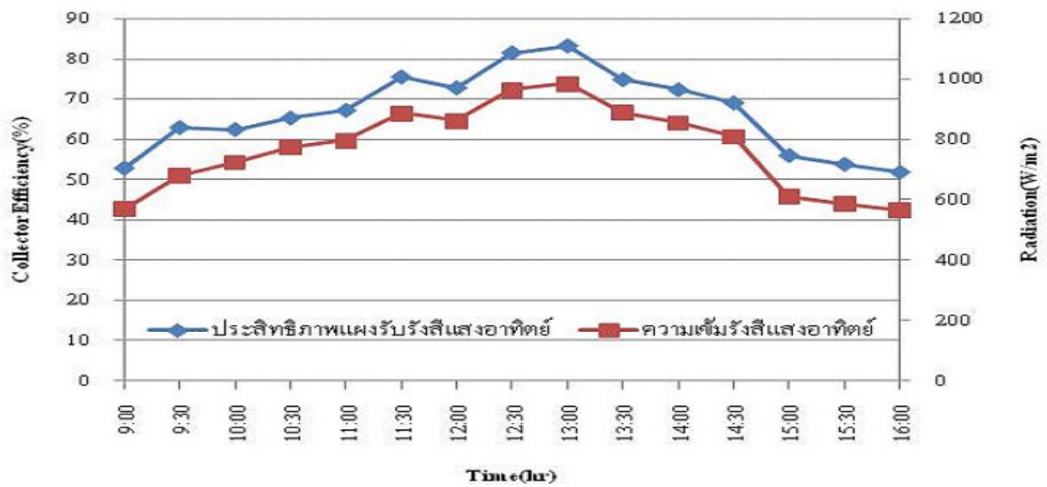
ถังเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญต่อระบบทำน้ำร้อน เปรียบได้กับแบตเตอรี่ในระบบโซลาเซลล์ เพราะโดยส่วนใหญ่เราจะไม่นำน้ำร้อนที่ผลิตได้ไปใช้ในทันทีจึงต้องมีการกักเก็บไว้ก่อน การออกแบบถังจะต้องออกแบบให้เก็บรักษาอุณหภูมิให้นานที่สุด ซึ่งจะมีลักษณะเป็น 2 ชั้น โดยถังชั้นในเป็นเป็นสแตนเลสสำหรับเก็บน้ำและจะหุ้มด้วยฉนวนกันความร้อนเช่น ฉนวนใยแก้ว โพลียูรีเทน โฟมเพื่อลดการสูญเสียอุณหภูมิ ทำให้สามารถเก็บความร้อนได้เป็นอย่างดี และจะหุ้มฉนวนด้วยโลหะอีกชั้นหนึ่งซึ่งจะเป็นอลูมิเนียมหรือสแตนเลสขึ้นอยู่กับผู้ผลิต ทำให้ไม่เป็นสนิม และทนต่อความดัน และปิดหัวท้ายด้วยสแตนเลสอัดขึ้นรูป ในส่วนของถังเก็บน้ำร้อนจะใช้ถังชนิดเดียวกันทั้งสองระบบได้ จะไม่มีผลกับการผลิตน้ำร้อนแต่อย่างใด



รูปที่ 2.8 ถังเก็บน้ำร้อน (Thermal Storage Tank)

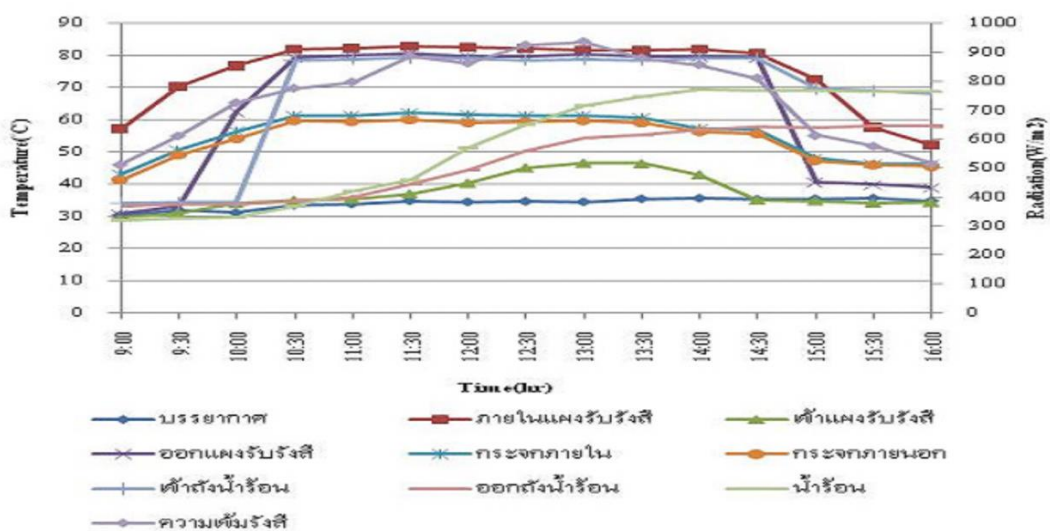
2.3 ปัจจัยที่มีผลกับประสิทธิภาพการทำความร้อนของเครื่องทำความร้อนพลังแสงอาทิตย์

ปัจจัยที่มีผลกับการทำความร้อนในระบบทำน้ำร้อนพลังแสงอาทิตย์มีหลายปัจจัยเช่น เวลา อุณหภูมิบริเวณที่ทดลอง ความเข้มของแสงอาทิตย์ อุณหภูมิภายในแผงทำความร้อน อุณหภูมิน้ำ โดยที่เวลาจะมีความสัมพันธ์กับความเข้มของแสงแดดและอุณหภูมิ สังเกตจากทั้งสองภาพ อุณหภูมิจะค่อยๆเพิ่มขึ้นจากช่วงเช้าและจะสูงที่สุดในช่วงเที่ยงและค่อยๆลดลงในช่วงเย็น ดังนั้นจากผลงานวิจัย ความเข้มของแสงอาทิตย์มีผลเป็นอย่างมากกับประสิทธิภาพในการผลิตน้ำร้อน ดังแสดงในรูปที่ 2.9 และ 2.10



รูปที่ 2.9 กราฟแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์กับ
ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์

ที่มา : จรุวัตร์ คชรินทร์, ทวีวัฒน์ สุภารส เครื่องผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบโดยใช้
เอทานอลเป็นสารแลกเปลี่ยนความร้อน คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยีมหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ.2545



รูปที่ 2.10 กราฟแสดงการวัดค่าพลังงานความร้อนที่ได้แต่ละจุดของการทดลองการผลิตน้ำร้อน

2.4 แนวทางในการทำการศึกษาวัดประสิทธิภาพของทั้งสองระบบ

จากหัวข้อ 2.3 จะเห็นว่าปัจจัยที่มีผลกับการผลิตน้ำร้อนมีหลายได้แก่ อุณหภูมิบรรยากาศ

ภายในแผงรับรังสี เข้าแผงรับรังสี ออกจากแผงรับรังสี กระจกภายใน กระจกภายนอก น้ำเข้าถึงน้ำร้อน น้ำออกจากถังน้ำร้อน ความเข้มรังสีเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้อง จึงต้องทำการวัดค่าทุกส่วนที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบทั้งสอง โดยการศึกษาค้างนี้จะทำเปรียบเทียบผลจากปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้ ความเข้มแสงอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์บริเวณทำการทดลอง อุณหภูมิน้ำก่อนเข้าแผงรับความร้อน อุณหภูมิน้ำออกจากแผงรับความร้อน อุณหภูมิน้ำที่จุดใช้งานภายในถังเก็บน้ำร้อน และกำหนดช่วงเวลาและความถี่ของการบันทึกค่าให้เหมาะสมต่อไป

2.5 การคำนวณหาค่าพลังงานความร้อนของน้ำ

การประเมินประสิทธิภาพของการทำความร้อนระบบทำความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์สามารถคำนวณได้จากการเปลี่ยนแปลงจากอุณหภูมิของน้ำ โดยคำนวณได้จากสมการนี้

$$\Delta Q = mc\Delta t \quad (1)$$

โดยที่

ΔQ คือ ปริมาณความร้อนที่ได้รับหรือสูญเสียไปมีหน่วยเป็นแคลอรี (cal)

m คือ มวลของวัตถุ มีหน่วยเป็นกรัม (g)

c คือ ความจุความร้อนจำเพาะของวัตถุมีหน่วยเป็นแคลอรีต่อกรัมองศาเซลเซียส (cal/g $^{\circ}$ C)

Δt คือ อุณหภูมิที่เปลี่ยนไปมีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส ($^{\circ}$ C)

$$Efficiency(\eta) = \frac{m \cdot c_p \cdot (\Delta T)}{s} \times 100\% \quad (2)$$

2.6 การประเมินทางเศรษฐศาสตร์

เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์โครงการเป็นวิธีการที่จะเปรียบเทียบการลงทุน มีเครื่องมือสำหรับวัดผลการประกอบการตัดสินใจในการลงทุนดังนี้

- มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV)
- อัตราผลตอบแทนของโครงการ (Internal Rate of Return, IRR)
- ระยะเวลาคืนทุน (Pay Back Period : PB)

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) คือ ผลต่างมูลค่าปัจจุบันของรายได้ที่คาดว่าจะได้รับในแต่ละปีตลอดอายุของโครงการกับมูลค่าปัจจุบันของรายจ่ายที่จ่ายออกไปในแต่ละปี สามารถเขียนเป็นสูตรการคำนวณ ดังแสดงในสมการที่ (2)

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ES_t}{(1+i)^t} - I_0 \quad (3)$$

กำหนดให้

NPV = มูลค่าปัจจุบันสุทธิ

n = อายุของโครงการ(ปี)

E_{st} = ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้ (energy cost savings) รายปี ตั้งแต่ปลายปีที่ 1 ถึง n

I_0 = เงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มโครงการ(บาท)

i = อัตราลดค่า (%)

หลักเกณฑ์การตัดสินใจคือ ควรลงทุนเมื่อมูลค่าปัจจุบันสุทธิ(NPV) มีค่าเป็นบวก และไม่ควรถูกลงทุนถ้ามูลค่าปัจจุบันสุทธิ(NPV) เป็นลบ

อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (Internal Rate of Return : IRR) คือ อัตราผลตอบแทนที่ได้รับจากโครงการลงทุน หรือหมายถึงอัตราดอกเบี้ยใดก็ตามที่ใช้เป็นอัตราคิดลดซึ่งมีผลทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเป็นศูนย์ อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการสามารถเขียนเป็นสูตรการคำนวณดังแสดงในสมการที่ (3)

$$IRR = \sum_{t=0}^n \frac{ES_t}{(1+iRR)^t} = I_0 \quad (4)$$

กำหนดให้

E_{st} = ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้ (energy cost savings) รายปี ตั้งแต่ปลายปีที่ 1 ถึง n

I_0 = เงินลงทุนเริ่มแรกของโครงการ

n = อายุของโครงการ

IRR = อัตราผลตอบแทน (%)

เกณฑ์การตัดสินใจที่จะลงทุนในโครงการ คือ

IRR > อัตราดอกเบี้ยเงินลงทุน แสดงว่าการลงทุนของโครงการมีความคุ้มค่า

IRR = อัตราดอกเบี้ยเงินลงทุน แสดงว่าการลงทุนของโครงการยังพอเป็นไปได้

IRR < อัตราดอกเบี้ยเงินลงทุน แสดงว่าการลงทุนของโครงการไม่มีความคุ้มค่า

ระยะคืนทุน (Payback Period : PB) เนื่องจากโครงการนี้มีมูลค่าไม่มากเพียงสามถึงสี่หมื่นบาท ผลตอบแทนที่ได้เป็นการคำนวณค่าไฟฟ้าของอัตราค่าไฟฟ้าปัจจุบัน ซึ่งอนาคตอาจมีการเปลี่ยนแปลงบ้างเล็กน้อย การคำนวณระยะเวลาคืนทุนจึงใช้วิธีการคำนวณตามสูตรตามสมการที่ (4)

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน (PB)} = \frac{\text{มูลค่าการลงทุนรวม}}{\text{ผลตอบแทนสุทธิสะสมรายต่อปี}} \quad (5)$$

2.7 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จรวัตน์ ขจรินทร์, ทวีวัฒน์ สุภารส และคณะ[1] เครื่องผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบโดยใช้เอทานอลเป็นสารแลกเปลี่ยนความร้อน เป็นการออกแบบและสร้างเครื่องผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบโดยใช้เอทานอลเป็นสารแลกเปลี่ยนความร้อน งานวิจัยนี้ช่วยให้ทราบถึงปัจจัยใดบ้างที่มีผลกับการผลิตน้ำร้อน โดยปัจจัยที่มีผลกับการทำคความน้ำร้อนมีดังนี้คือ ระยะเวลา อุณหภูมิบริเวณที่ทำทดลอง ความเข้มของแสงอาทิตย์ อุณหภูมิภายในแผงทำความร้อน อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำ

รศ.ดร.มานิจ ทองประเสริฐ, รศ.ดร.ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ [2] การศึกษาตัวแปรที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการออกแบบระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์ เป็นการวิจัยเพื่อเป็นแนวทางในการคำนวณออกแบบระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจเลือกกระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่เหมาะสมโดยอาศัยการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ร่วมกับการออกแบบระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

ธวรรณ มาลาหอม [3] การศึกษาสมรรถนะของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์ เป็นการศึกษาสมรรถนะของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์ โดยการติดตั้งระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์และทำการเก็บค่าอุณหภูมิทุกๆ 2 นาที ตั้งแต่ 08.000-16.00 น. และนำข้อมูลนั้นมาวิเคราะห์หาผลของพารามิเตอร์ต่อประสิทธิภาพ จากการวิเคราะห์พบว่า ประสิทธิภาพของระบบขึ้นอยู่กับ ความเข้มของแสงอาทิตย์ อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำเริ่มต้นและอุณหภูมิเฉลี่ยสุดท้ายของน้ำในถังและอุณหภูมิอากาศภายนอก

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน [4] คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน ชุดที่ 2 พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นเอกสารที่มีข้อมูลพื้นฐานพลังงานแสงอาทิตย์ และนำเสนอในการใช้พร้อมสนับสนุนการใช้นวัตกรรมด้านพลังงานแสงอาทิตย์ โดยเฉพาะข้อมูลเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นมูลเหตุจูงใจให้ต้องการศึกษาเรื่องนี้อย่างมาก

รุ่งทวี ผดากาล, สุรัชชัย รตาดาร [5]ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำร้อน เป็นการศึกษาการผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบรางพาราโบลิกโดยใช้ท่อสุญญากาศเป็นตัวรับความร้อน ทำการทดลองโดยใช้หลอดไฟเป็นการจำลองแสงและมีการควบคุมการไหลของน้ำ โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบคือความเข้มแสงและอัตราการไหลของน้ำ

ศศิษา เรียมสุวรรณ, รศ.ดร.วิทยา ยงเจริญ [6]การเปรียบเทียบระบบน้ำร้อนแบบใช้ปั๊มความร้อนกับแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบสำหรับอาคารพักอาศัย เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างเครื่องทำน้ำร้อนพลังแสงอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบขนาด 150 ลิตรและเครื่องทำน้ำร้อนชนิดปั๊มความร้อนขนาด 0.78kW และ 1.25kW ทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่ 08.000-16.00 น. การวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ จุดคืนทุนของปั๊มความร้อน จะอยู่ที่ 13 ปีเศษ ส่วนระบบแสงอาทิตย์จะอยู่ 16 ปี

2.8 สรุปบททวนวรรณกรรม

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า มีหลายปัจจัยที่มีผลกับประสิทธิภาพของการทำน้ำร้อนจากแสงอาทิตย์ไม่ว่าจะเป็นสภาพอากาศ ความเข้มของแสงอาทิตย์ อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำและอุณหภูมิแต่ละช่วงในการทำงานก็มีผลต่อประสิทธิภาพสำหรับการผลิตน้ำร้อนทั้งสิ้น จากปัจจัยข้างต้นอาจเป็นสาเหตุให้งานวิจัยแต่ละแหล่งได้ผลการทดลองที่ไม่ตรงกัน ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาประสิทธิภาพของทั้งสองระบบ จากปัจจัยดังกล่าวทั้งหมดโดยการทดลองเก็บข้อมูลจากการติดตั้งจริง

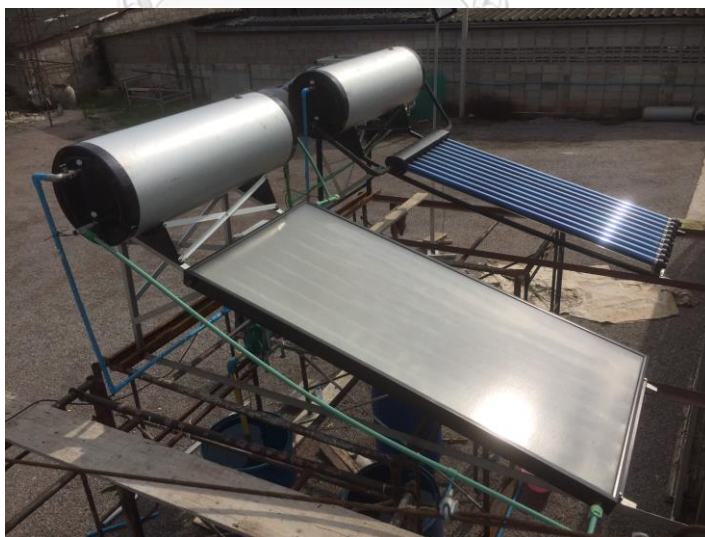
บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัยและเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

ในการทดลองจะต้องติดตั้งตัวเครื่องทำน้ำร้อนและอุปกรณ์ตรวจวัดค่าเพื่อทำงานวัดค่าต่างๆที่
ต้องการดังนี้

3.1 ติดตั้งเครื่องทำน้ำร้อนทั้งสองระบบ

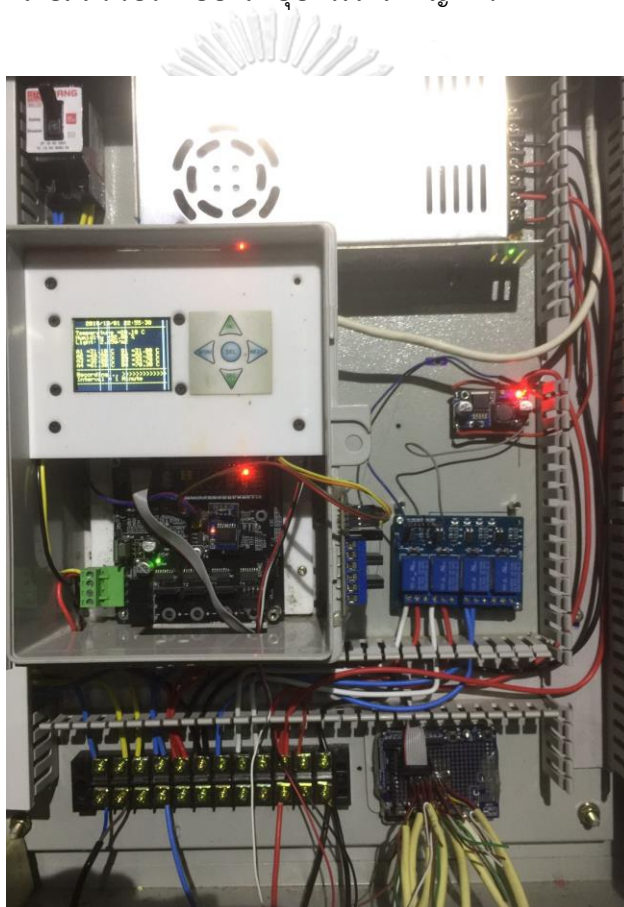
ในการทดลองนี้ได้ทำการติดตั้งเพื่อเก็บข้อมูลที่ อ.เมือง จ.ราชบุรี โดยแบ่งทำความร้อนหันไป
ยังทิศใต้ ตัวอย่างที่ใช้ทดลองควรใช้เครื่องที่มีขนาดเท่ากันแต่เนื่องจากแบ่งทำความร้อนที่มีจำหน่าย
อยู่ในท้องตลาดความแตกต่างกัน จึงใช้ขนาดที่ใกล้เคียงกันในการทดลอง โดยใช้แบ่งทำความร้อน
พลังงานแสงอาทิตย์ ชนิดแผ่นเรียบ ขนาด 2 ตารางเมตร และ ชนิดหลอดแก้วสุญญากาศขนาดเส้น
ผ่านศูนย์กลาง 58 มิลลิเมตร ความยาว 1.8 เมตร จำนวน 10 หลอดแก้ว ซึ่งคำนวณพื้นที่รับ
แสงอาทิตย์ได้ 1.53 ตารางเมตร พร้อมติดตั้งถังน้ำร้อนขนาด 100 ลิตร กับแบ่งทำความร้อนทั้งสอง
แบบ



รูปที่ 3.1 ติดตั้งเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบและแบบหลอดแก้วสุญญากาศ

3.2 สร้างเครื่องมือวัดและเก็บข้อมูล

สร้างเครื่องมือวัดค่าและบันทึกผลที่สามารถทำเก็บเก็บค่าได้อัตโนมัติและเก็บค่าได้เป็นระยะเวลา นานมากกว่า 6 เดือนเนื่องจากการศึกษานี้มีการเก็บข้อมูลหลายจุดพร้อมกันเพื่อต้องการทราบปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของแผงทั้งสองระบบอย่างแม่นยำ จึงจำเป็นต้องสร้างเครื่องมือวัดและบันทึกผลที่รองรับความต้องการข้างต้น เพราะเครื่องมือที่มีอยู่ทั่วไปไม่มีราคาแพง เพื่อประหยัดงบประมาณในการทดลองจึงสร้างเครื่องมือวัดที่สามารถบันทึกค่าขึ้นมาให้สามารถวัดค่าต่างๆ และบันทึกค่าตามรูปที่ 3.2 โดยมีส่วนประกอบและอุปกรณ์ที่สำคัญดังนี้



รูปที่ 3.2 เครื่องบันทึกผล data logger

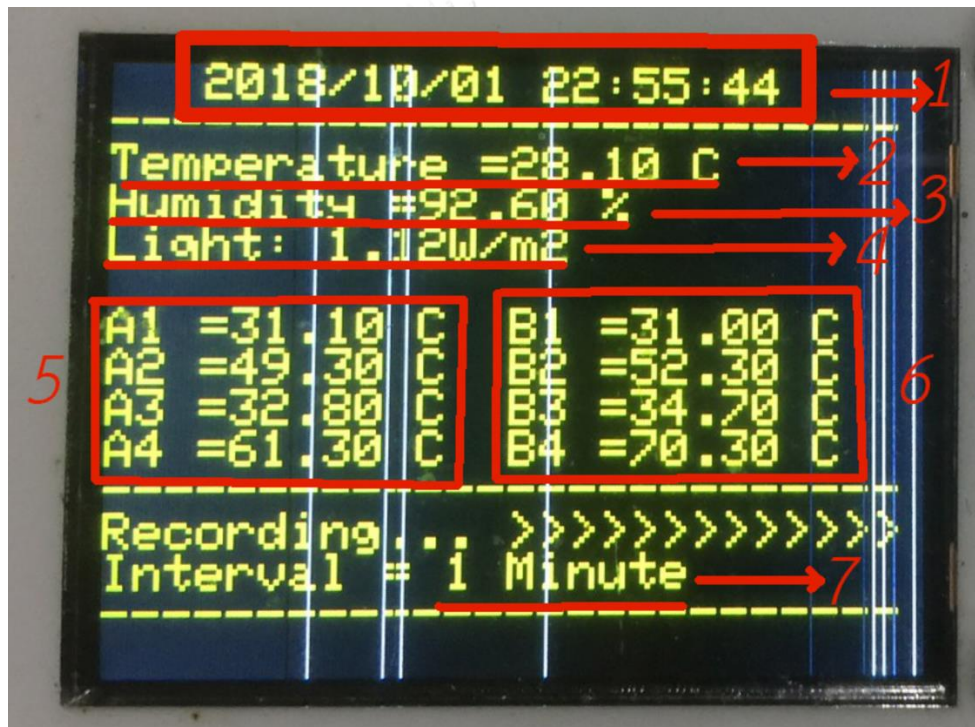
3.2.1 หน้าจอแสดงผล (Monitor) ในส่วนของการแสดงผลมีรายละเอียดดังนี้

1. วันเดือนปีและเวลา
2. อุณหภูมิอากาศบริเวณที่ทำการทดลอง

3. ความชื้นสัมพัทธ์บริเวณที่ทำการทดลอง
4. ความเข้มแสงอาทิตย์
5. อุณหภูมิที่ทำการวัดค่าทั้ง 4 จุดของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เครื่องที่
6. อุณหภูมิที่ทำการวัดค่าทั้ง 4 จุดของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เครื่องที่
7. ความถี่ของเวลาที่ใช้ในการบันทึกค่าลงการ์ดเก็บข้อมูล (SD Card)

1

2



รูปที่ 3.3 หน้าจอแสดงผล data logger

3.2.2 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) Atmega328p ซึ่งเป็นบอร์ดควบคุมหลักในการวัดค่าต่างๆ พร้อมบันทึกค่าลงการ์ดความจำ โดยทำการเขียนโปรแกรมที่จะควบคุมลงไป

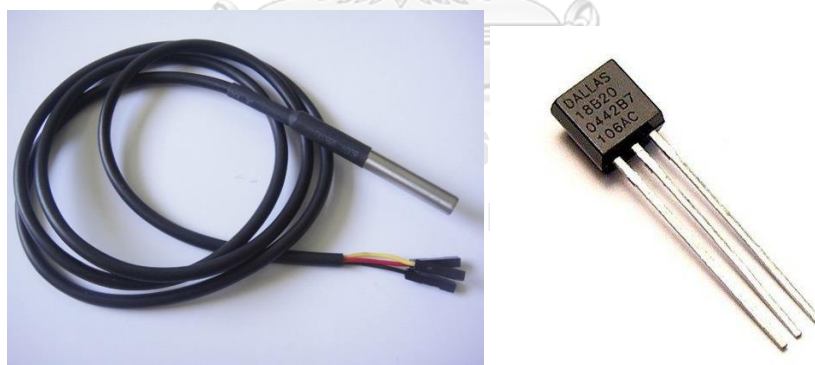


รูปที่ 3.4 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์(MCU) Atmega328p

3.2.3 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ DS18B20

ข้อมูลเชิงเทคนิคเกี่ยวกับไอซี DS18B20:

- ใช้ไฟเลี้ยง 3.0-5.5Vdc
- มี 3 ขา คือ Gnd ,DQ ,Vcc
- วัดอุณหภูมิได้ในช่วง -55 °C ถึง +125 °C
- มีความแม่นยำ ± 0.5 °C สำหรับอุณหภูมิในช่วง -10°C ถึง +85°C



รูปที่ 3.5 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ DS18B20

3.2.4 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ DHT22

DHT22 เป็นเซ็นเซอร์สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้นที่มีความแม่นยำสูงในการวัด สามารถวัดได้ในย่านอุณหภูมิ ตั้งแต่ -40 ถึง +80 องศาเซลเซียส ความแม่นยำ ± 0.5 เซลเซียส และวัดความชื้นสัมพัทธ์ได้ในย่าน 0-100%RH ความแม่นยำ $\pm 2-5$ %RH สามารถวัดได้ละเอียดในระดับทศนิยม 1 ตำแหน่ง (0.1) ต่อไฟได้ตั้งแต่ 3.3v - 6VDC



รูปที่ 3.6 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น DHT22

3.2.5 การ์ดเก็บข้อมูล (SD Card) ทำหน้าที่จัดเก็บข้อมูลทั้งหมด เช่น วันเวลา อุณหภูมิ ความชื้น ความเข้มแสง



รูปที่ 3.7 การ์ดเก็บข้อมูล (SD Card)

3.3 ติดตั้งเซนเซอร์ทุกจุดตามที่กำหนด

ทำการติดตั้งเซนเซอร์ไว้ยังจุดต่างๆ ของระบบเพื่อเก็บผลการทดลองทุกๆ 5 นาทีโดยเก็บค่าตั้งแต่ 06.00-18.00 ของทุกวัน



รูปที่ 3.8 ท่อทองแดงปลายปิดสำหรับใส่เซนเซอร์ เพื่อวัดค่าอุณหภูมิน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อน



รูปที่ 3.9 ติดตั้งเซนเซอร์ตามจุดที่กำหนด

3.4 วิเคราะห์ข้อมูล

นำผลที่ได้จาก data logger มาหาปัจจัยสำคัญที่มีผลต่ออุณหภูมิของน้ำ พร้อมทั้งเปรียบเทียบค่าที่ได้ และคำนวณหาจุดคุ้มทุนในการลงทุน

- วิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบทั้งสอง
- หาค่าพลังงานความร้อนที่แต่ละระบบทำได้ในแต่ละวัน
- เปรียบเทียบประสิทธิภาพทั้งสองระบบโดยคำนวณหาค่าพลังงานความร้อนต่อตารางเมตร
- สำนักรวราคาขายในท้องตลาดของเครื่องทำน้ำร้อนทั้งสองระบบพร้อมหาราคาเฉลี่ย
- คำนวณหาจุดคุ้มทุนสองทั้งสองระบบโดยใช้การผลิตน้ำร้อนไฟฟ้าเป็นค่าอ้างอิง
- สรุปผลการทดลอง



บทที่ 4

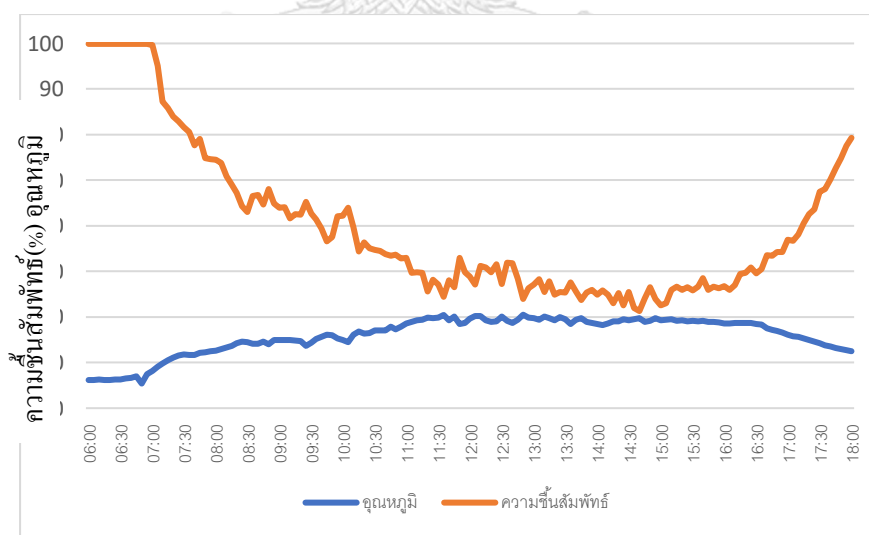
การวิเคราะห์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพ

4.1 ผลการทดลองโดยพิจารณาจากปัจจัยที่ส่งผลต่อการทำงาน

จากการทดลองได้สังเกตความเข้มของแสงแดด พบปัจจัยที่มีผลกับประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์อยู่หลายส่วนดังนี้

4.1.1 พิจารณาในวันที่มีปริมาณความเข้มของแสงแดดมาก

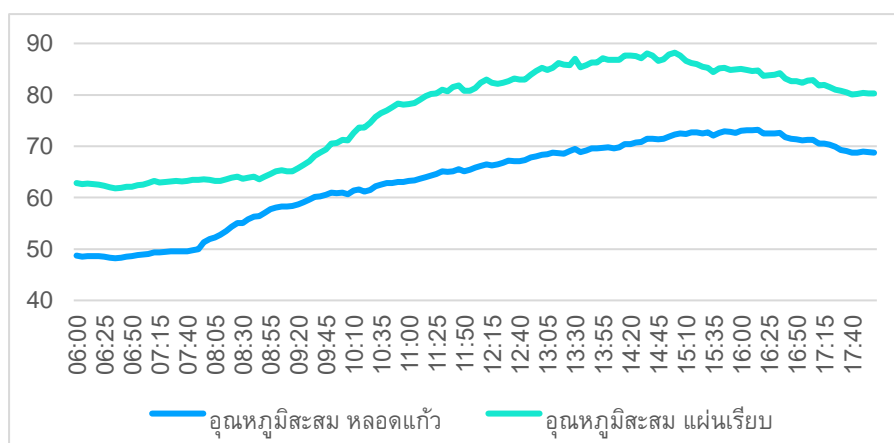
รูปที่ 4.1-4.4 กราฟจากการเก็บข้อมูลทุก 5 นาทีตั้งแต่เวลา 06.00-18.00 น. ของวันที่ 17 ต.ค. 2561 ซึ่งขอใช้เป็นตัวอย่างในวันที่มีความเข้มแสงแดดตลอดทั้งวัน จากรูปที่ 4.1 ความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิบริเวณที่ทำการทดลอง มีความชื้นต่ำกว่า 50% และอุณหภูมิอากาศรอบข้างสูงถึง 40 องศาเซลเซียสซึ่งบ่งบอกได้ว่าวันที่ 17 ต.ค. 2562 มีท้องฟ้าโปร่ง มีแสงแดดตลอดทั้งวัน



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์บริเวณทำการทดลอง (17 ต.ค. 2561)

ในรูปที่ 4.2 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของน้ำในถังน้ำร้อนของทั้งสองระบบดังนี้

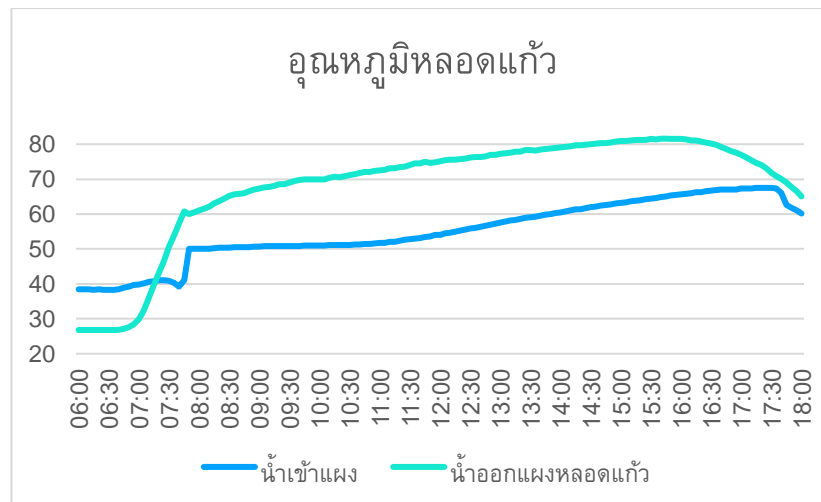
- ระบบหลอดแก้วสุญญากาศกราฟเริ่มเพิ่มระดับขึ้นในช่วงก่อนเวลา 08.00 น. โดยอุณหภูมิขึ้นถึงจุดสูงสุดและเริ่มตกลงมาในช่วง 16.10 น.
- ระบบแผ่นเรียบกราฟไต่ระดับได้ชัดเจนในช่วงขึ้นในช่วงก่อนเวลา 09.00 น. โดยอุณหภูมิขึ้นถึงจุดสูงสุดและเริ่มตกลงมาในช่วง 15.05 น.



รูปที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในถังเก็บน้ำร้อน (17 ต.ค. 2561)

ในรูปที่ 4.3 แสดงอุณหภูมิของแผงทำความร้อนชนิดหลอดแก้วสุญญากาศ พิจารณาในส่วนของน้ำที่ออกจากแผงทำความร้อนได้ดังนี้

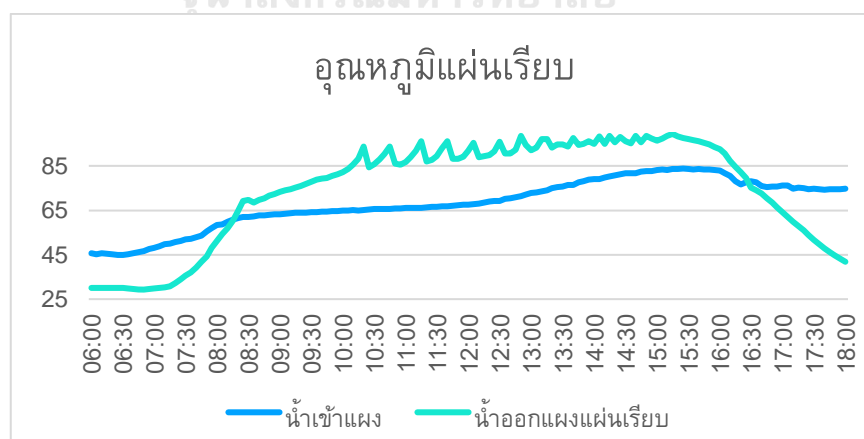
- อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 26.8 องศาเซลเซียส เวลา 06.00 น. อุณหภูมิเริ่มเคลื่อนไหวยาวเวลา 06.50น. ที่ 27.6 องศาเซลเซียส และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วไปถึง 60 องศาเซลเซียส เวลา 07.50 น. และจากนั้นจึงเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆจนถึงเวลา 16.10 น. โดยจะสอดคล้องกับรูปที่ 4.1 ในส่วนของอุณหภูมิภายในถังน้ำร้อน ซึ่งอุณหภูมิภายในถังน้ำร้อนของระบบหลอดแก้วสุญญากาศก็จะค่อยๆตกลงมาในเวลาดังกล่าวเช่นกัน



รูปที่ 4.3 กราฟค่าอุณหภูมิน้ำก่อนเข้าและออกจากแผงแบบหลอดแก้วสุญญากาศ (17 ต.ค. 2561) ในรูปที่ 4.4 แสดงอุณหภูมิของแผงทำความร้อนชนิดแผ่นเรียบ พิจารณาในส่วน of น้ำที่ออกจากแผงทำความร้อนได้ดังนี้

- อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 30 องศาเซลเซียส เวลา 06.00 อุณหภูมิเริ่มเคลื่อนไหวเวลา 07.15 ที่ 30.8 องศาเซลเซียส และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วไปถึง 69.1 องศาเซลเซียส เวลา 08.25 และจากนั้นจึงเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนถึงเวลา 15.15 โดยจะสอดคล้องกับรูปที่ 4.1 ในส่วนของอุณหภูมิภายในถังน้ำร้อน

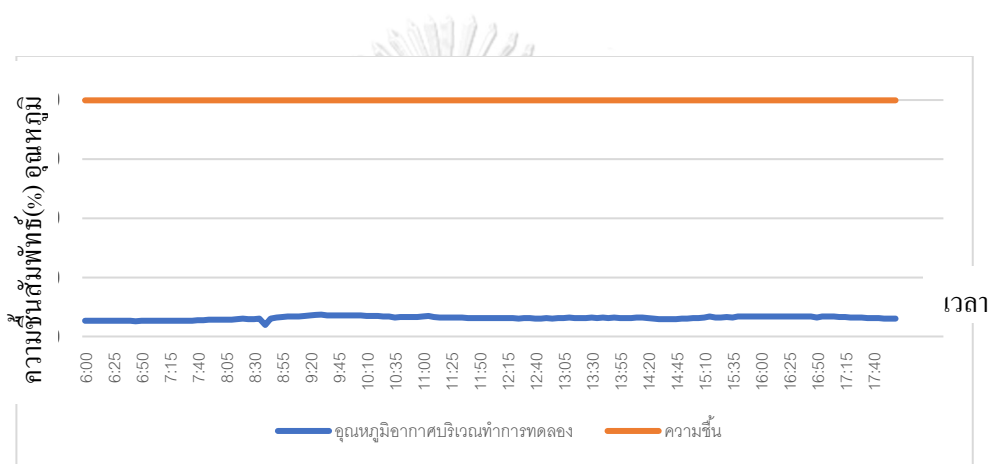
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิน้ำก่อนเข้าและออกจากแผงแบบแผ่นเรียบ (17 ต.ค. 2561)

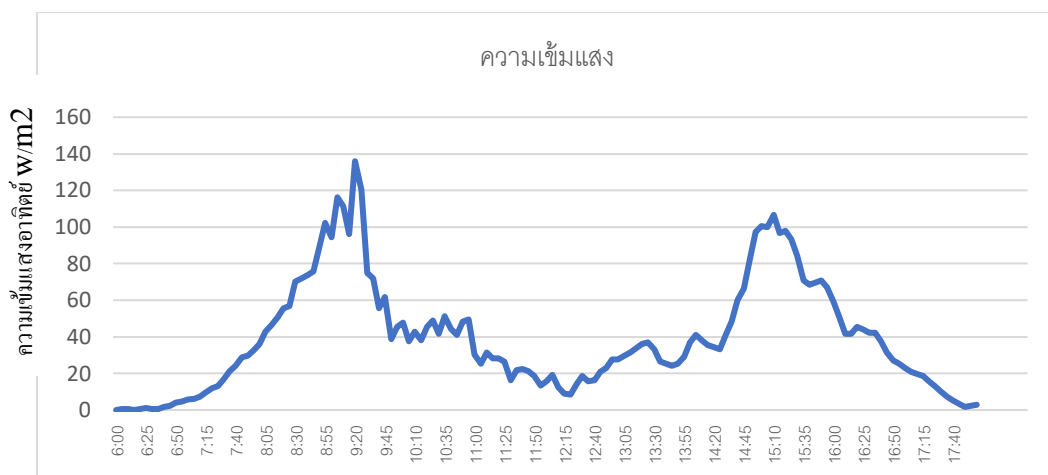
4.1.2 พิจารณาในวันที่มีฝนตก

รูปที่ 4.5-4.7 กราฟจากการเก็บข้อมูลทุก 5 นาทีตั้งแต่เวลา 06.00-18.00 น. ของวันที่ 9 พ.ย. 2561 ซึ่งใช้เป็นตัวอย่างในวันที่มีฝนตก รูปที่ 4.5 แสดงอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์ 100% ตลอดทั้งวันและอุณหภูมิบริเวณที่ทำการทดลอง 25-27 องศาเซลเซียสเท่านั้น ซึ่งคาดเดาได้ว่าวันที่ 9 พ.ย. 2561 อาจจะมีฝนตกตลอดทั้งวัน



รูปที่ 4.5 กราฟค่าความชื้นและอุณหภูมิบริเวณที่ทำการทดลอง (9 พ.ย. 2561)

จากรูปที่ 4.6 สังเกตจากกราฟจะพอมีสว่างแดดเล็กน้อยช่วงเวลา 07.00-09.30 น. และ 14.25-16.00 น. โดยมีปริมาณความเข้มแสงแดดสูงสุดเพียง 140w/ตารางเมตร จากกราฟแสดงยืนยันได้ว่า วันที่ 9 พ.ย. 2561 มีฝนตกเกือบตลอดทั้งวัน

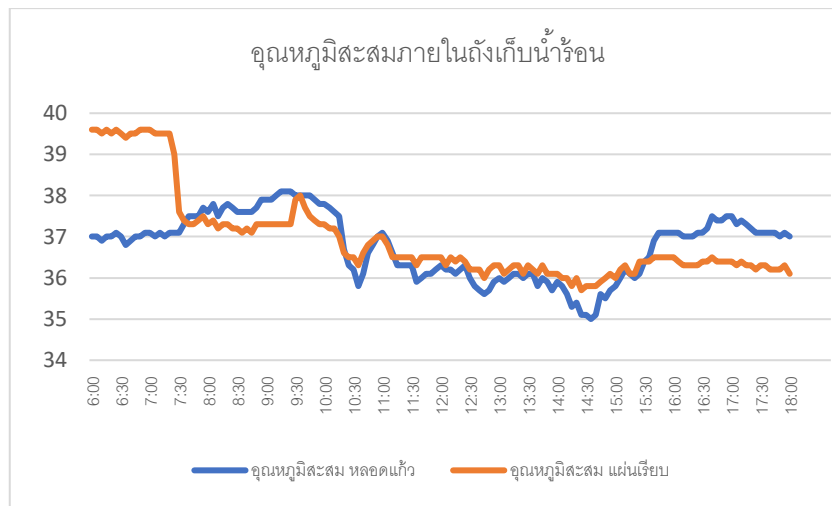


รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความเข้มแสงอาทิตย์ (9 พ.ย. 2561)

ในรูปที่ 4.8 กราฟแสดงความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้ำในถังน้ำร้อนของทั้งสองระบบดังนี้

- ระบบหลอดแก้วสุญญากาศอุณหภูมิเริ่มต้นเวลา 06.00 น. ประมาณ 37 องศาเซลเซียส และทำอุณหภูมิสูงสุดได้ 38 องศาเซลเซียสในช่วง 09.00 น. จากนั้นอุณหภูมิก็ตกลงอย่างต่อเนื่องจนถึง 35 องศาเซลเซียส เวลาประมาณ 14.40 น. และเพิ่มกลับขึ้นมาที่ 37 องศาเซลเซียสในเวลาประมาณ 16.30-18.00 น. สรุปตลอดทั้งวัน ระบบหลอดแก้วไม่สามารถเพิ่มอุณหภูมิของน้ำได้ในวันที่ฝนตก
- ระบบแผ่นเรียบอุณหภูมิเริ่มต้นเวลา 06.00 น. ประมาณ 39.5 องศาเซลเซียส เวลา 09.20 น. อุณหภูมิตกลงอย่างรวดเร็วจนถึง 37 องศาเซลเซียสในเวลา 09.35 น. จากนั้นอุณหภูมิก็ตกลงตลอดทั้งวันจนถึง 35.7 องศาเซลเซียส เวลา 14.30 น. และเพิ่มขึ้นมาอีกเล็กน้อยเป็น 36.5 องศาเซลเซียสช่วง 15.35 น. และลดลงอีกเล็กน้อยจนถึง 18.00 น. สรุปในวันที่ฝนตก ระบบทำน้ำร้อนแบบแผ่นเรียบ นอกจากจะไม่สามารถเพิ่มอุณหภูมิของน้ำได้แล้ว ยังสูญเสียความร้อนในอัตราที่สูงอีกด้วย

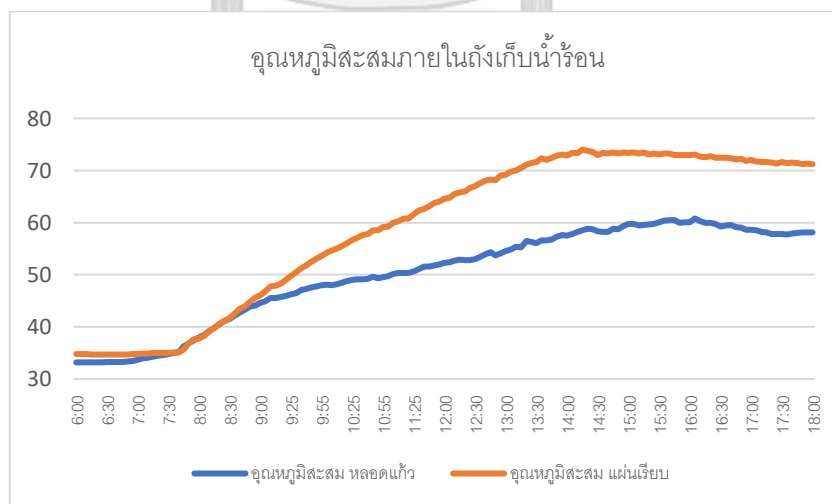
จากการข้อมูลในวันที่ฝนตกพอสรุปได้ว่า ถึงแม้ว่าประสิทธิภาพในการทำความร้อนของระบบหลอดแก้วสุญญากาศจะสูงกว่าแบบแผ่นเรียบ แต่ผลรวมก็ไม่สามารถเพิ่มอุณหภูมิของน้ำได้



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิภายในถังเก็บน้ำร้อน (9 พ.ย. 2561)

4.1.3 พิจารณาพฤติกรรมการเพิ่มขึ้นและลดลงของอุณหภูมิแต่ละช่วงเวลา

รูปที่ 4.8-4.10 กราฟจากการเก็บข้อมูลทุก 5 นาทีตั้งแต่เวลา 06.00-18.00 น. ของวันที่ 2 พ.ย. 2561 ในวันนี้เป็นวันที่มีปริมาณแสงแดดที่มากพอในการผลิตน้ำร้อน การสะสมอุณหภูมิของน้ำสามารถทำได้อย่างต่อเนื่องในทั้งสองระบบ ตามรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิภายในถังเก็บน้ำร้อน (2 พ.ย. 2561)

รูปที่ 4.9 กราฟแสดงข้อมูลเปรียบเทียบของแผงทำน้ำร้อนทั้งสองระบบ พิจารณาในจุดที่น้ำออกจากแผงทำความร้อนโดยจะแบ่งการวิเคราะห์เป็นสี่ช่วงดังนี้

ช่วงที่ 1 แผงเริ่มทำความร้อนได้ในช่วงแรกจนถึงช่วงที่อุณหภูมิของทั้งสองแผงเท่ากัน ในช่วงนี้แผงทั้งสองแบบจะเริ่มเพิ่มอุณหภูมิได้ในเวลาใกล้เคียงกันในช่วงก่อน 07.00 น. เล็กน้อย โดยที่แผงแบบหลอดแก้วสุญญากาศจะมีอัตราการเพิ่มขึ้นสูงกว่าแบบแผ่นเรียบจนถึงเวลา 09.25 น. แผงแบบแผ่นเรียบจึงสามารถทำอุณหภูมิได้เท่ากับแบบหลอดแก้วสุญญากาศ เห็นได้ชัดว่าในช่วงเช้าของวันแผงแบบหลอดแก้วสามารถทำอุณหภูมิได้ดีกว่าแบบแผ่นเรียบ แม้ว่าพื้นที่รับแสงจะมีน้อยกว่าแบบแผ่นเรียบก็ตาม

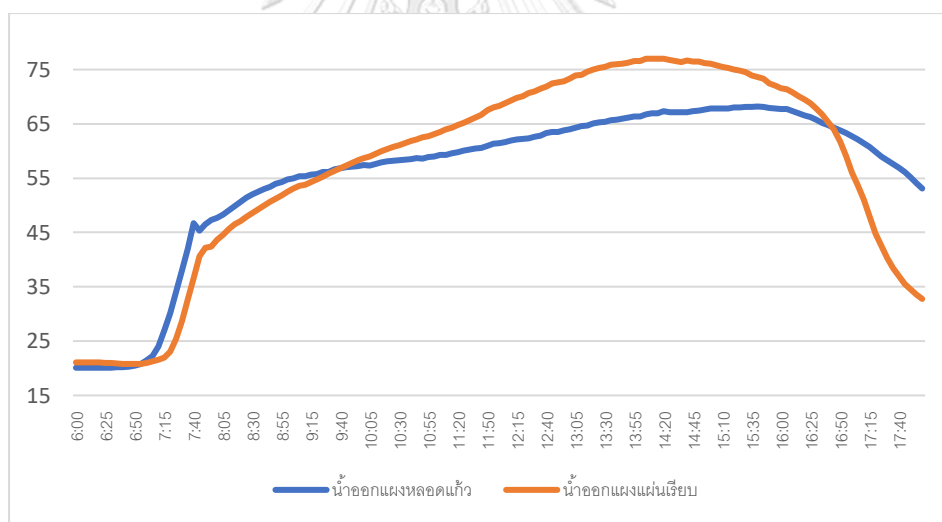
ช่วงที่ 2 ตั้งแต่อุณหภูมิน้ำของทั้งสองแผงเท่ากันจนถึงจุดสูงสุด ในช่วงนี้แผงแบบแผ่นเรียบจะทำอุณหภูมิได้สูงกว่าหลอดแก้ว โดยที่แผงแบบแผ่นเรียบอุณหภูมิขึ้นถึงจุดสูงสุดที่ 77 องศาเซลเซียสเวลา 14.00 น. และเริ่มลดลง 14.25 น. และในส่วนของแผงแบบหลอดแก้วอุณหภูมิขึ้นถึงจุดสูงสุดที่ 68 องศาเซลเซียสเวลา 15.25 น. และเริ่มลดลง 16.00 น. ช่วงที่ 2 นี้จะเห็นว่าในช่วงที่ 2 นี้แผงแบบแผ่นเรียบจะทำอุณหภูมิได้ดีกว่าแบบหลอดแก้ว สาเหตุอาจมาจากที่ขนาดของแผงแบบแผ่นเรียบมีพื้นที่มากกว่าแบบแผ่นเรียบ ทั้งนี้ต้องนำค่าที่ได้มาหาประสิทธิภาพของแผงทั้งสองชนิดเพื่อเปรียบเทียบต่อไป

ช่วงที่ 3 ในช่วงนี้จะพิจารณาตั้งแต่ช่วงจุดสูงสุดของแผงชนิดแผ่นเรียบถึงช่วงจุดสูงสุดของแผงแบบหลอดแก้วสุญญากาศ ช่วงนี้จะเห็นได้ว่า ช่วงเวลาการทำงานของแผงทั้งสองระบบไม่เท่ากัน โดยที่แผงแบบหลอดแก้ว จะมีช่วงเวลาการทำงานกว้างกว่าแบบแผ่นเรียบ โดยแผงแบบหลอดแก้วความสามารถทำความร้อนจะเริ่มลดลงในเวลาประมาณ 16.00 น. ส่วนในของแผ่นเรียบความสามารถทำความร้อนจะเริ่มลดลงในเวลาประมาณ 14.25 น. วิเคราะห์จากทั้งสามช่วงนี้ได้ ดังนี้ จากรูปที่ 2.7

ลักษณะทางกายภาพของแผงแบบหลอดแก้วสุญญากาศมีลักษณะเป็นทรงกลมมุมที่ตกกระทบกับแผงตั้งฉากกับแผงตลอดเวลา จึงสามารถทำอุณหภูมิได้ดีกว่าแบบแผ่นเรียบในเห็นได้จากช่วงที่ 1 และช่วงที่ 3 ซึ่งเป็นช่วงเช้าและช่วงเย็น ส่วนในช่วงที่ 2 เป็นช่วงก่อนและหลังเที่ยง ซึ่งเป็นช่วงที่แสงแดดทำมุมตั้งฉากกับประเทศไทยทำให้แผงแบบแผ่นเรียบทำงานได้เต็มที่ ประกอบกับพื้นที่

ในการรับแสงมากกว่าแบบหลอดแก้วจึงทำให้แผงแบบแผ่นเรียบทำอุณหภูมิได้ดีกว่าแบบหลอดแก้ว
สุญญากาศ

ช่วงที่ 4 ช่วงเวลาประมาณ 16.50 น. เป็นช่วงที่กราฟอุณหภูมิของแผงทำความร้อนทั้งสอง
ตัดกัน ช่วงนี้เป็นช่วงที่ไม่สามารถผลิตความร้อนได้แล้ว โดยที่การผลิตในช่วงที่ 2-3 แผงชนิดแผ่น
เรียบสามารถทำอุณหภูมิได้สูงกว่าหลอดแก้วสุญญากาศ แต่ในช่วงที่ 4 นี้ แผงแบบแผ่นเรียบ กลับ
สูญเสียอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็ว โดยในเวลา 18.00 น. แผงแบบแผ่นเรียบมีอุณหภูมิเพียง 32.8 องศา
เซลเซียส ขณะที่แผงแบบหลอดแก้วสุญญากาศ มีอุณหภูมิที่ทางด้านขาออกของแผงทำความร้อนที่
53 องศาเซลเซียส จากข้อมูลจุดนี้ แสดงให้เห็นว่าแผงแบบแผ่นเรียบมีความสามารถรักษาอุณหภูมิได้
น้อยกว่าแผงแบบหลอดแก้วสุญญากาศ



รูปที่ 4.9 กราฟเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำออกจากแผงทำความร้อน (2 พ.ย. 2561)

4.1.4 วิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบ

พิจารณาจากผลประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำร้อนทั้งสองระบบโดยจะพิจารณาในช่วงเวลา
ตั้งแต่เวลา 06.00-18.00 น. ซึ่งเป็นช่วงที่มีแสงแดด ปัจจัยต่างๆ เหมือนกันคือ ในช่วงเวลาเดียวกัน
อยู่ในสภาวะแวดล้อมเหมือนกัน อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำใกล้เคียงกัน องค์ประกอบของระบบแบบ

เดียวกัน ผลที่ได้ชี้ให้เห็นว่าคือระบบแผ่นเรียบจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าระบบหลอดแก้วทุกวัน สรุปได้ว่าหากพิจารณาในช่วงเวลานี้เครื่องทำน้ำร้อนแบบแผ่นเรียบจะให้ประสิทธิภาพสูงกว่าแบบหลอดแก้วสุญญากาศ

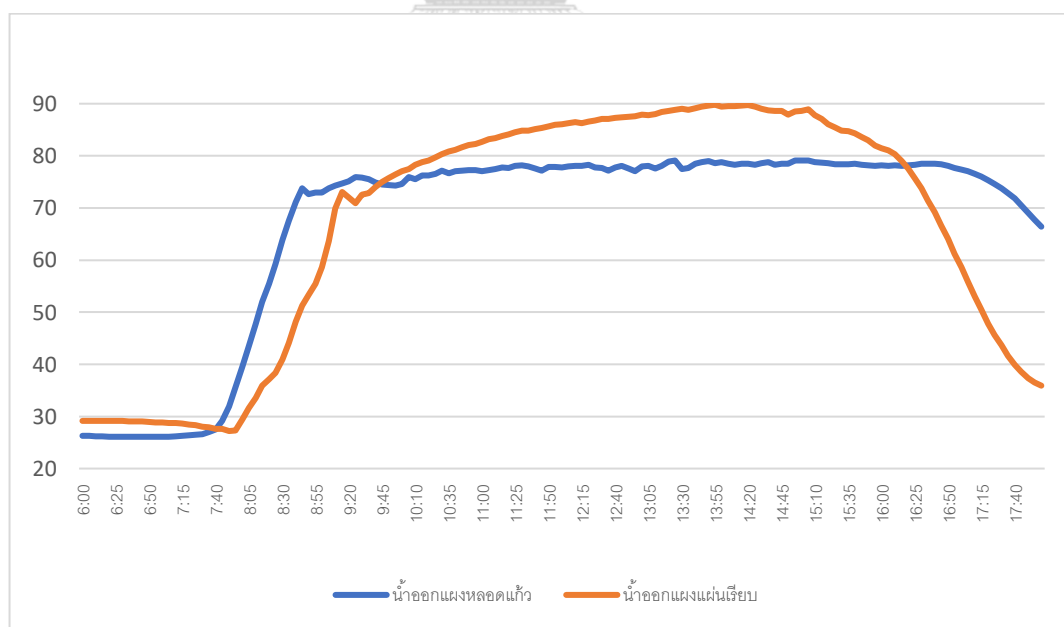
ข้อสังเกต อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำในแต่ละวัน จากการสังเกตวันที่ 17 ต.ค. 2561 ค่าอุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำมีผลต่อประสิทธิภาพของระบบ อุณหภูมิของแผงแบบหลอดแก้วสุญญากาศและแผ่นเรียบคือ 48°C และ 62°C โดยที่ประสิทธิภาพของทั้งสองระบบคือ 22.15% และ 14.15% ตามลำดับ เมื่อพิจารณาข้อมูลของวันอื่นตามตาราง 4.1 อุณหภูมิเริ่มต้นของวันของแผงทั้งสองชนิดจะส่งผลให้ประสิทธิภาพสูงกว่า อุณหภูมิเริ่มต้นที่สูงๆนั้นเอง จากข้อมูลข้างต้นสามารถบอกได้ว่า หากผู้ใช้เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ยังใช้น้ำร้อนมากเท่าไร ยิ่งทำให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงและยิ่งทำให้มีค้มูลค่ามากขึ้นนั่นเอง

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดหลอดแก้วสุญญากาศและชนิดแผ่นเรียบ

ปัจจัย	9 ต.ค.2561		17 ต.ค.2561		28 ต.ค.2561		2 พ.ย.2561	
	หลอดแก้ว สุญญากาศ	แผ่นเรียบ	หลอดแก้ว สุญญากาศ	แผ่นเรียบ	หลอดแก้ว สุญญากาศ	แผ่นเรียบ	หลอดแก้ว สุญญากาศ	แผ่นเรียบ
พื้นที่รับแสงอาทิตย์	1.53	2	1.53	2	1.53	2	1.53	2
ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย (W/m ²)	532		574		506		590	
อุณหภูมิน้ำในถังเวลา 06.00 (°c)	36.90	36.90	48.70	62.80	44.40	44.50	33.20	34.80
อุณหภูมิน้ำในถังเวลา 18.00 (°c)	58.80	72.20	68.80	80.30	60.30	66.30	58.10	71.20
พลังงานที่ผลิตได้(MJ)	9.15	14.76	8.40	7.32	6.65	9.11	10.41	15.22
พลังงานพลังงานแสงอาทิตย์ (MJ/ m ²)	22.98		24.80		21.86		25.49	
ประสิทธิภาพของระบบต่อตารางเมตร (%)	26.03	32.10	22.15	14.75	19.87	20.84	26.69	29.85

วันที่ 27 ธันวาคม 2561 การทดสอบวันนี้ได้ทำการปรับอุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำเวลา 06.00 น. ให้สูงกว่า 60°C เพื่อสังเกตพฤติกรรมของระบบทั้งสอง โดยพิจารณาในรายละเอียดในการผลิตน้ำร้อนระหว่างวัน ตามภาพที่ 4.10 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำที่ออกจากแผงทำความร้อนของแผงทั้งสองชนิด ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเป็นไปในแนวทางเดียวกันกับวันที่อุณหภูมิของน้ำเริ่มต้นที่ 30°C กล่าวคือลักษณะของกราฟไม่แตกต่างจากการผลิตในวันอื่นๆ ที่ผ่านมา การขึ้นลงของกราฟมีลักษณะเป็นปกติ ผลของประสิทธิภาพระบบทำน้ำร้อนแบบหลอดแก้วสุญญากาศจะสูงกว่าชนิดแผ่นเรียบเล็กน้อยเท่านั้น ถึงแม้ว่าประสิทธิภาพของระบบทั้งสองจะไม่แตกต่างกันมากเท่าใดนัก แต่หากดูผลของประสิทธิภาพของทั้งสองระบบในวันนี้สามารถทำได้เพียง 15.49 และ 14.41 เท่านั้นซึ่งปกติแล้วประสิทธิภาพควรจะมากกว่า 20% จึงทำให้ทราบว่าอุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำ มีผลต่อประสิทธิภาพรวมของระบบนั่นเอง

การทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่า หากเราไม่มีการใช้น้ำร้อนในช่วงเวลากลางคืนจนถึงเช้าวันใหม่ อุณหภูมิเริ่มต้นในช่วงเช้าก็จะสูง ความร้อนที่ผลิตได้ก่อนหน้านี้ยังกองอยู่ เครื่องทำน้ำร้อนพลังแสงอาทิตย์ก็จะทำงานได้ไม่ดีเท่าที่ควร การใช้น้ำร้อนให้หมดทุกวันจะทำให้ประสิทธิภาพของการผลิตน้ำร้อนได้ดีกว่าไม่มีการใช้งานหรือใช้งานน้ำร้อนน้อยกว่าที่ผลิตได้นั่นเอง



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิน้ำออกจากแผงหลอดแก้วสุญญากาศและแผ่นเรียบ

(27 ธ.ค. 2561)

การคำนวณ

$$\text{พลังงานความร้อนของน้ำในถึงน้ำร้อน} = m \cdot c \cdot \Delta t$$

$$\begin{aligned} - \text{หลอดแก้วสุญญากาศ} &= 100 \times 4.18 \times \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \times (70.20 - 61.40) \\ &= 3.68 \text{ MJ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - \text{แผ่นเรียบ} &= 100 \times 4.18 \times \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \times (74.1 - 63.4) \\ &= 4.47 \text{ MJ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ต่อตร.ม.} &= I_{\text{ave}} \times A \times h \\ &= 359.31 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \times 12\text{h} \times 3.6\text{MJ} \\ &= 15.52 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2} \end{aligned}$$

ประสิทธิภาพของระบบ(ต่อ 1 ตารางเมตร) หาได้จาก

$$(\eta) = \frac{\text{พลังงานความร้อนของน้ำร้อนในถึง (Output)}}{\text{พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ (Input) } \times \text{พท.แผงทำความร้อน (m}^2)} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} \text{หลอดแก้วสุญญากาศ} &= \frac{3.68 \text{ MJ}}{15.52 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2} \times 1.53 \text{ m}^2} \times 100\% \\ &= 15.49 \% \end{aligned}$$

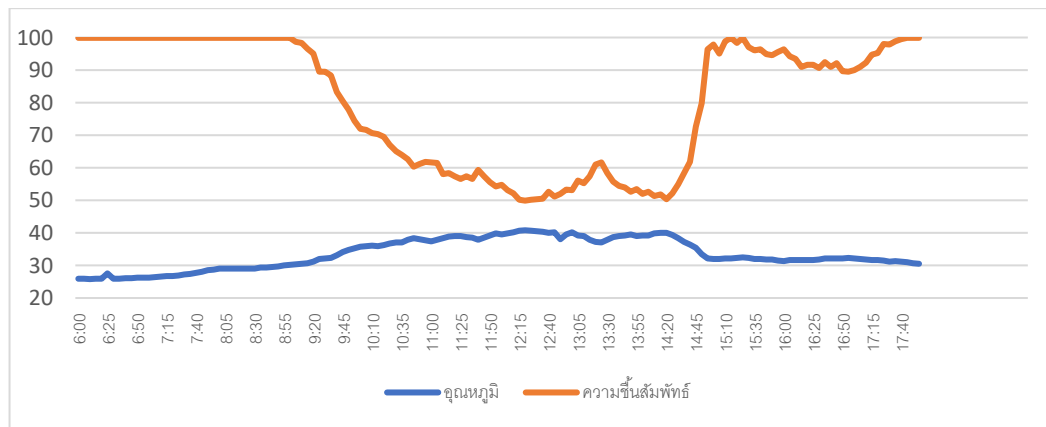
$$\begin{aligned} - \text{แผ่นเรียบ} &= \frac{4.47 \text{ MJ}}{15.52 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2} \times 2 \text{ m}^2} \times 100\% \\ &= 14.41 \% \end{aligned}$$

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบระบบทำน้ำร้อนพลังแสงอาทิตย์ 27 ธ.ค. 61

รายการทดสอบ	27 ธ.ค. 61	
	หลอดแก้วสุญญากาศ	แผ่นเรียบ
พื้นที่รับแสงอาทิตย์	1.53	2
ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย (W/m^2)	359.31	
อุณหภูมิน้ำในถังเวลา 06.00 ($^{\circ}C$)	61.40	63.40
อุณหภูมิน้ำในถังเวลา 18.00 ($^{\circ}C$)	70.20	74.10
พลังงานความร้อนของน้ำในถัง(MJ)	3.68	4.47
พลังงานแสงอาทิตย์ (MJ)	15.52	
ประสิทธิภาพของระบบต่อตารางเมตร (%)	15.49	14.41

4.1.5 พิจารณาในวันที่มีปริมาณแสงแดดน้อยในช่วงเช้าและช่วงเย็น

7 ธันวาคม 2561 ลักษณะท้องฟ้าสภาพอากาศปิด มีเมฆมากและอาจมีฝนตกในบางช่วง สังเกตได้จากกราฟรูปที่ 4.11 ความชื้นสัมพัทธ์ 100%ในช่วงก่อนเวลา 09.00 น.และเวลาหลังจากเวลา 15.00 น. ความชื้นสัมพัทธ์ก็กลับขึ้นมาสูงเกิน 90% อีกครั้ง ทำให้สันนิษฐานได้ว่ามีฝนตกลงมา แต่ช่วงเวลาประมาณ 10.00-14.20 น. เป็นช่วงที่แสงแดดดีสังเกตได้จากความชื้นสัมพัทธ์ลดต่ำลงมาที่ 50-60% และอุณหภูมิบริเวณที่ทำการทดลองขึ้นไปถึง $40^{\circ}C$ ซึ่งช่วงเวลานี้เป็นช่วงเวลาที่แผงแบบแผ่นเรียบสามารถทำอุณหภูมิได้ดีกว่า



รูปที่ 4.11 แสดงความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิบริเวณที่ทำการทดลอง (7 ธ.ค. 2561)

จากสภาพอากาศดังกล่าวส่งผลให้ประสิทธิภาพรวมของระบบทำความร้อนชนิดหลอดแก้วสุญญากาศมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าระบบชนิดแผ่นเรียบปกติมาก โดยประสิทธิภาพที่ได้คือ 11% และ 24.9% ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.3 การทดลองวันนี้ยืนยันได้ว่า ช่วงเวลาที่มีประสิทธิภาพที่ดีของแผงแต่ละชนิดอยู่คนละช่วงเวลากัน กล่าวคือ แผงแบบหลอดแก้วสุญญากาศจะมีช่วงการทำงานที่กว้างกว่าแบบแผ่นเรียบ จะทำความร้อนได้ดีกว่าแผ่นเรียบในช่วงเช้าและช่วงเย็น แต่ในช่วงเวลาที่ดวงอาทิตย์ทำมุมเกือบตั้งฉากจะทำให้แผงแบบแผ่นเรียบมีประสิทธิภาพสูงขึ้นอย่างมาก

การคำนวณ

$$\text{พลังงานความร้อนของน้ำในถึงน้ำร้อน} = m \cdot c \cdot \Delta t$$

$$\text{- หลอดแก้วสุญญากาศ} = 100 \times 4.18 \times \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \times (62.4 - 57) = 2.26 \text{ MJ}$$

$$\text{- แผ่นเรียบ} = 100 \times 4.18 \times \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \times (72.6 - 56.7) = 6.65 \text{ MJ}$$

$$\text{พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ต่อตร.ม.} = I_{\text{ave}} \times A \times h$$

$$= 308.9 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \times 12h \times 3.6 \text{ MJ}$$

$$= 13.34 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2}$$

ประสิทธิภาพของระบบ(ต่อ 1 ตารางเมตร) หาได้จาก

$$(\eta) = \frac{\text{พลังงานความร้อนของน้ำร้อนในถัง (Output)}}{\text{พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ (Input)} \times \text{พท.แผงทำความร้อน (m}^2)} \times 100\%$$

$$\text{หลอดแก้วสุญญากาศ} = \frac{2.26 \text{ MJ}}{13.34 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2} \times 1.53 \text{ m}^2} \times 100\% = 11.06 \%$$

$$\text{- แผ่นเรียบ} = \frac{6.65 \text{ MJ}}{13.34 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2} \times 2 \text{ m}^2} \times 100\% = 24.90 \%$$

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบระบบทำน้ำร้อนพลังแสงอาทิตย์ วันที่ 7 ธ.ค. 61

รายการทดสอบ	7 ธ.ค. 61	
	หลอดแก้วสุญญากาศ	แผ่นเรียบ
พื้นที่รับแสงอาทิตย์	1.53	2
ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย (W/m ²)	308.9	
อุณหภูมิน้ำในถังเริ่มต้นเวลา 06.00 (°C)	57.00	56.70
อุณหภูมิน้ำในถังเวลา 18.00 (°C)	62.40	72.60
พลังงานความร้อนของน้ำในถัง(MJ/m ²)	2.26	6.65
พลังงานแสงอาทิตย์ (MJ)	13.34	
ประสิทธิภาพของระบบ (%)	11.06	24.90

4.1.6 พิจารณาการสูญเสียความร้อนในเวลากลางคืน

ช่วงเวลากลางคืนซึ่งเป็นช่วงที่ไม่มีความร้อนจากแสงอาทิตย์มาเติม และอุณหภูมิลดลงต่ำสุดเท่ากับช่วงกลางวัน ทำให้เครื่องทำน้ำร้อนทั้งสองระบบมีการสูญเสียความร้อนตลอดเวลา ผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่า แผงแบบแผ่นเรียบ มีการอัตราการสูญเสียความร้อนสูงกว่าแบบหลอดแก้วสุญญากาศในทุกวัน โดยผลที่ได้แผงแบบหลอดแก้วสุญญากาศจะสูญเสียความร้อนอยู่ในช่วง 4.1°C - 7.6°C คิดเป็นความร้อนที่สูญเสียไป 8.5%-10.9% ของความร้อนเริ่มต้น ขณะที่ชนิดแผ่นเรียบจะสูญเสียอุณหภูมิในช่วง 8°C -13.9°C คิดเป็นความร้อนที่สูญเสียไป 13%-17.59% ของความร้อน

เริ่มต้น โดยใช้ข้อมูลตั้งแต่ 18.00-06.00 น. ของวันที่ 13-20 ธ.ค. 61 ในการพิจารณา ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงการสูญเสียอุณหภูมิช่วงตั้งแต่ 18.00-06.00 น. วันที่ 13-20 ธ.ค. 2561

วันที่	ชนิดแผงความร้อน	อุณหภูมิ (°C)		อุณหภูมิที่ลดลง	สูญเสียพลังงาน (Mj)	อัตราการสูญเสียความร้อน (%)
		18.00	06.00			
13-14 ธ.ค. 61	หลอดแก้วสุญญากาศ	57.1	52.2	4.9	2.05	8.58
	แผ่นเรียบ	69.8	58.5	11.3	4.72	16.19
14-15 ธ.ค. 61	หลอดแก้วสุญญากาศ	61	55.5	5.5	2.30	9.02
	แผ่นเรียบ	74.3	64.6	9.7	4.05	13.06
15-16 ธ.ค. 61	หลอดแก้วสุญญากาศ	50.1	46	4.1	1.71	8.18
	แผ่นเรียบ	64.3	56	8.3	3.47	12.91
16-17 ธ.ค. 61	หลอดแก้วสุญญากาศ	57.3	51	6.3	2.63	10.99
	แผ่นเรียบ	73.1	61.3	11.8	4.93	16.14
17-18 ธ.ค. 61	หลอดแก้วสุญญากาศ	63.8	57.5	6.3	2.63	9.87
	แผ่นเรียบ	76.6	68.6	8	3.34	10.44
18-19 ธ.ค. 61	หลอดแก้วสุญญากาศ	64.6	59.1	5.5	2.30	8.51
	แผ่นเรียบ	72.8	61.5	11.3	4.72	15.52
19-20 ธ.ค. 61	หลอดแก้วสุญญากาศ	69.3	61.7	7.6	3.18	10.97
	แผ่นเรียบ	79	65.1	13.9	5.81	17.59

และจากข้อมูลการสูญเสียความร้อนตามตารางที่ 4.4 เมื่อพิจารณาถึงสาเหตุที่ทำให้อัตราการการลดลงของอุณหภูมิที่ไม่เท่ากัน ในขณะที่ใช้ถังขนาด 100 ลิตรที่เป็นรุ่นเดียวกันผลิตพร้อมกันจากโรงงานเดียวกัน มีเพียงแผงรับความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่มีความแตกต่างกัน ก็คงพอสรุปได้ว่าแผงทำความร้อนเท่านั้นที่เป็นปัจจัยหลักที่ทำให้การสูญเสียความร้อนมีค่าแตกต่างกัน โดยลักษณะของแผงทำความร้อนทั้งสองชนิด จะเห็นว่า โครงสร้างของแผงแบบแผ่นเรียบมีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยมทำจากวัสดุอลูมิเนียมขึ้นรูปและปิดทับด้านบนด้วยกระจกเพื่อรับแสง พิจารณาจากวัสดุทำให้ทั้งตัวแผงรับความร้อนสามารถถ่ายเทความร้อนได้ดีทั้งส่วนกระจกรับแสงและ โครงสร้างที่เป็นโลหะอลูมิเนียมมีความสามารถในการระบายความร้อนได้ดีอยู่แล้ว จึงส่งผลให้อัตราการสูญเสียความร้อนสูง ในขณะที่แผงแบบหลอดแก้ว พื้นที่รับแสงเป็นหลอดแก้วสุญญากาศ ซึ่งมีคุณสมบัติไม่นำความร้อน มีเพียงแกนของแผงด้านบนซึ่งมีพื้นที่เพียงเล็กน้อยที่จะสัมผัสอากาศอยู่บ้าง แต่ก็ป้องกันด้วยฉนวนกันความร้อนอย่างดี ดังรูปที่ 4.12

จากข้อมูลข้างต้น ทำให้แผงแบบหลอดแก้วสุญญากาศมีความได้เปรียบในด้านการสูญเสียความร้อนที่ต่ำกว่าแบบแผ่นเรียบ



รูปที่ 4.12 ส่วนที่มีการสูญเสียความร้อนของแผงทำความร้อนทั้งสองชนิด

4.2 การวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์

ในการหาจะหาจุดคุ้มทุนจำเป็นจะต้องหาพลังงานที่ผลิตได้ทั้งปีก่อน แต่เนื่องจากการทดลองนี้มีการเก็บผลการทดลองเพียงสี่เดือนเศษ อีกทั้งผู้วิจัยทำการเก็บผลจากพฤติกรรมหลายๆแบบของ

ระบบ ทำให้การเก็บผลไม่ได้อยู่ในสภาพการใช้งานจริงตลอดเวลา ดังนั้นจึงเลือกตัวอย่างที่สามารถใช้เป็นตัวแทนแต่ละฤดูการโดยพิจารณาจากสภาพอากาศในแต่ละวันที่เป็นตัวแทนให้ใกล้เคียงกับฤดูการต่าง ๆ ทั้ง ความเข้มแสงอาทิตย์ ความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิบริเวณรอบข้างที่ทำการทดลอง สำหรับราคาขายตามท้องตลาดรวมค่าติดตั้งของแต่ละรายตั้งราคาขายไม่เท่ากัน โดยเครื่องทำน้ำร้อนแบบแผ่นเรียบราคาประมาณ 40,000-45,000 บาท ส่วนแบบหลอดแก้วสุญญากาศราคาประมาณ 32,000-36,000 บาท

การคำนวณผู้เขียนขอใช้ค่าความร้อนที่เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตได้มาหาค่าเฉลี่ยทั้งปีและคำนวณเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าจากนั้นจะคำนวณเป็นค่าไฟฟ้า(สมมุติว่าเราใช้ไฟฟ้าต้มน้ำ) ใช้เป็นรายได้ในการคำนวณหาจุดคืนทุนต่อไป โดยผลการคำนวณ ระบบหลอดแก้วสุญญากาศสามารถประหยัดเงินค่าไฟฟ้าได้ปีละ 4068.89 บาท ส่วนแบบแผ่นเรียบประหยัดได้ปีละ 5298.99 บาท (คิดจากค่าไฟฟ้า 4 บาทต่อหน่วย)

ตารางที่ 4.5 ค่าไฟที่สามารถผลิตได้ต่อปี

ชนิดแผงรับความร้อน	หลอดแก้วสุญญากาศ	แผ่นเรียบ
	(1.53ตร.ม.)	(2 ตร.ม.)
เงินลงทุน (บาท)	34,000	43,000
ปริมาณความร้อนที่ผลิตได้ต่อปี (MJ/year)	3662	4769.09
พลังงานที่ได้จากระบบทำน้ำร้อน (KWh/year)	1017.22	1324.75
ค่าไฟที่ประหยัดได้ต่อปี (บาท) 4บาท/หน่วย	4068.89	5298.99
ค่าไฟที่ประหยัดได้ต่อปี (บาท) 4.5บาท/หน่วย	4577.50	5961.36
ค่าไฟที่ประหยัดได้ต่อปี (บาท) 5บาท/หน่วย	5086.11	6623.74

โดยปกติแล้วเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จะมีอายุการใช้งานอยู่ประมาณ 15-20 ปี ในการคำนวณหาจุดคุ้มทุนจึงใช้เวลา 15 ปีเป็นอายุของโครงการ และกำหนดอัตราดอกเบี้ย 2% ต่อปี จากการคำนวณจุดคุ้มทุน พบว่าราคาค่าไฟฟ้ากับเงินลงทุน มีผลกับระยะเวลาคืนทุน ราคาค่าไฟที่สูงขึ้นทำให้ระยะเวลาการคืนทุนลดลงและผลตอบแทนจะมากตามไปด้วย โดยความแตกต่างของทั้งสองระบบให้ผลตอบแทนและระยะเวลาคืนทุนไม่ต่างกันมากนัก พิจารณาค่าไฟฟ้า 4 บาทต่อหน่วย ระบบหลอดแก้วสุญญากาศมีระยะคืนทุนที่ 9.24 ปี

อัตราผลตอบแทนเท่ากับ 8.40% ในส่วนของแผ่นเรียบระยะเวลาคืนทุนจะอยู่ที่ 8.94 ปี อัตราผลตอบแทนเท่ากับ 8.89%

จากการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนและผลตอบแทนพบว่า จุดคืนทุนขึ้นอยู่กับราคาขายของผลิตภัณฑ์ซึ่งถือเป็นเงินลงทุนโครงการ และขึ้นอยู่กับราคาค่าไฟฟ้าซึ่งถือเป็นรายได้ของโครงการ กล่าวคือยิ่งค่าไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้น ยิ่งทำให้ระยะเวลาคืนทุนสั้นลงนั่นเอง

ตารางที่ 4.6 ระยะเวลาคืนทุนที่ราคาค่าไฟฟ้าต่าง ๆ

ชนิดแผงรับความร้อน		หลอดแก้วสุญญากาศ	แผ่นเรียบ
เงินลงทุน (บาท)		34,000.00	43,000.00
ค่าไฟต่อหน่วย 4 บาท	ผลประหยัดต่อปี	4068.89	5298.99
	ผลตอบแทน (%)	8.40%	8.89%
	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	9.24	8.94
ค่าไฟต่อหน่วย 4.5 บาท	ผลประหยัดต่อปี	4577.5	5961.36
	ผลตอบแทน (%)	10.42%	10.94%
	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	8.12	7.87
ค่าไฟต่อหน่วย 5 บาท	ผลประหยัดต่อปี	5086.11	6623.74
	ผลตอบแทน (%)	12.35%	12.91%
	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	7.25	7.02

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

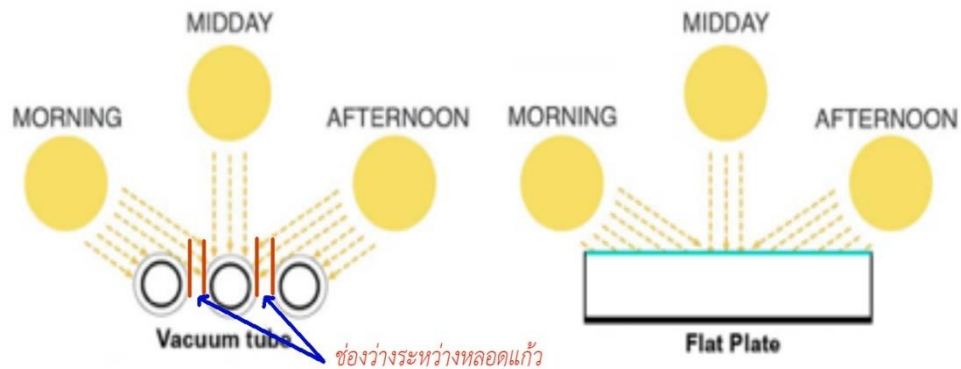
5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้ ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ระหว่าง ชนิดแผ่นเรียบ (Flat Plate solar collector) และ ชนิดหลอดแก้วสุญญากาศ (vacuum tube solar collector) และประเมินจุดคุ้มทุนของเครื่องทำน้ำร้อนทั้งสองระบบ เพื่อให้ทราบถึงข้อดีข้อด้อยของทั้งสองระบบ ประกอบการตัดสินใจเลือกใช้ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ได้อย่างเหมาะสมกับการใช้งานของผู้ที่สนใจ ไม่ว่าจะเป็นในภาคครัวเรือน ธุรกิจโรงแรม ภาคอุตสาหกรรมต่อไป โดยจะสรุปผลการวิจัยดังนี้

จากผลการทดลองพบว่า แผงรับความร้อนแสงอาทิตย์ทั้งสองแบบมีประสิทธิภาพที่ได้เปรียบเสียเปรียบต่างกันในที่ช่วงเวลาของวัน และสภาพลักษณะท้องฟ้าในแต่ละช่วงเวลาก็กส่งผลต่อประสิทธิภาพทำให้แผงเช่นกัน โดยสรุปเป็นประเด็นได้ดังนี้

5.1.1 วิเคราะห์ประสิทธิภาพเฉพาะแผงรับความร้อนในแต่ละช่วงเวลาของการรับรังสีจากแสงอาทิตย์โดยเลือกวันที่ท้องฟ้าโปร่งมีแสงแดดตลอดทั้งวันในการพิจารณา

- แผงแบบแผ่นเรียบจะสามารถทำความร้อนได้ดีกว่าแบบหลอดแก้วสุญญากาศในช่วงเวลาประมาณ 10.00-15.50 น.
- แผงแบบหลอดแก้วสุญญากาศจะทำความร้อนได้ดีกว่าแบบแผ่นเรียบใน 2 ช่วงเวลา คือช่วงเช้าเวลา 07.00-09.30 น. และช่วงเย็นเวลา 15.00-17.00 น.



รูปที่ 5.1 ลักษณะทางกายภาพของแผงทำความร้อนแบบแผ่นเรียบและหลอดแก้วสุญญากาศ

เหตุที่ประสิทธิภาพของแผงทั้งสองชนิดมีข้อได้เปรียบเสียเปรียบแต่ละช่วงเวลานั้นมาจากลักษณะทางกายภาพของแผงทั้งสองชนิดนั้นต่างกันตามรูปที่ 5.1 มุมที่ตกกระทบกับตัวแผงรับความร้อนจะมีผลกับประสิทธิภาพการทำความร้อนอย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของแผงอีกเช่นกัน สำหรับการทำงานของแผงทำความร้อนแบบแผ่นเรียบมีพื้นที่รับแสงแดดเต็มพื้นที่ที่ใช้ งานและด้วยความที่ช่วงการทำงานที่ดีที่สุดของแผงคือช่วงใกล้เที่ยงซึ่งเป็นช่วงที่รังสีของดวงอาทิตย์มีความเข้มสูงสุดของวันจึงทำให้สามารถทำอุณหภูมิได้สูงมากในช่วงดังกล่าว ส่วนแผงแบบหลอดแก้วถึงแม้ว่าจะมีช่วงการทำงานที่กว้างมากกว่าหรือรับความร้อนจากดวงอาทิตย์ได้ยาวนานกว่า แต่พื้นที่ในการรับแสงก็มีน้อยกว่าเมื่อเทียบกับพื้นที่ที่ใช้เพราะต้องเสียพื้นที่ช่องว่างระหว่างหลอดแก้ว ทำให้เสียพื้นที่รับแสงแดดไปบางส่วน จึงทำให้ภาพรวมตลอดทั้งวันสามารถทำความร้อนได้ไม่สูงนักเมื่อเทียบกับแผงทำความร้อนแบบแผ่นเรียบ ดังนั้นในช่วงของการผลิตความร้อนในวันที่ท้องฟ้าโปร่งมีแสงแดดเต็มที่ตลอดทั้งวัน สรุปได้ว่าแผงทำความร้อนแบบแผ่นเรียบมีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบหลอดแก้วสุญญากาศอยู่เล็กน้อย 3-6% (ตาม ตารางที่ 4.1)

5.1.2 พิจารณารวันที่ฝนตกตลอดทั้งวัน

ถึงแม้ว่าในวันที่ฝนตกตลอดทั้งวันแผงชนิดหลอดแก้วสุญญากาศสามารถทำความร้อนได้สูงกว่าแผงชนิดแผ่นเรียบ แต่ความร้อนที่ได้ก็ไม่เพียงพอต่อการนำไปใช้งานในช่วงกลางคืน สังเกตได้จากรูปที่ 4.5 อุณหภูมิภายในถังเก็บน้ำร้อนช่วง 18.00 น. โดยแผงชนิดหลอดแก้วสุญญากาศมีอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส(อุณหภูมิเริ่มต้นเวลา 06.00 น. 37 องศาเซลเซียส) แผงชนิดแผ่นเรียบมีอุณหภูมิ 36.1 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิเริ่มต้นเวลา 06.00 น. 39.6 องศาเซลเซียส)

ซึ่งสรุปได้ว่า ในวันที่มีฝนตกตลอดทั้งวันเครื่องทำความร้อนพลังแสงอาทิตย์ ไม่สามารถผลิตน้ำร้อนได้เลย

5.1.3 พิจารณาการสูญเสียความร้อน

นอกจากประสิทธิภาพในการทำความร้อนของระบบแล้ว Loss ในส่วนต่างๆ ก็มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพรวมของระบบเป็นอย่างมาก

- ตั้งแต่ 16.40 เป็นช่วงที่แสงแดดไม่เพียงพอต่อการทำความร้อนกับแผงทั้งสองชนิด อุณหภูมิของน้ำทั้งสองแผงเริ่มลดลงแต่แผงชนิดแผ่นเรียบมีอัตราการลดลงที่สูงกว่าแบบหลอดแก้วสุญญากาศ
- ในช่วงเวลากลางคืนพบว่าแผงทั้งสองชนิดจะมีการสูญเสียความร้อนอยู่ตลอดเวลาตามอุณหภูมิที่เย็นลงในเวลากลางคืน โดยค่าเฉลี่ยการสูญเสียความร้อนของเครื่องทำความร้อนพลังแสงอาทิตย์ชนิดหลอดแก้วสุญญากาศอยู่ที่ 9.45% และ 14.55% เป็นค่าการสูญเสียความร้อนแบบแผ่นเรียบ อัตราการสูญเสียความร้อนของระบบทำน้ำร้อนชนิดแผ่นเรียบจะสูงกว่าแบบหลอดแก้วสุญญากาศประมาณ 5%

จากผลการทดลอง การสูญเสียความร้อนที่ออกมาจะเห็นได้ว่า แผงทำความร้อนแบบแผ่นเรียบ มีการอัตราการสูญเสียความร้อนสูงกว่าแบบหลอดแก้วสุญญากาศโดยเฉพาะช่วงเวลากลางคืน ที่อากาศบริเวณรอบข้างของการทดลองมีอุณหภูมิไม่สูงเท่าตอนกลางวัน ซึ่งแผงแบบแผ่นเรียบจะมีอัตราการสูญเสียความร้อนที่ 13%-17.59% ในขณะที่แผงแบบหลอดแก้วสุญญากาศจะมีอัตราการสูญเสียความร้อนเพียง 8.5%-10.9% สาเหตุที่เป็นเช่นนั้นเพราะว่า ลักษณะของวัสดุของแผงทำความร้อนเป็นกล่องโลหะและกระจกเกือบทั้งหมด ทำให้มีพื้นที่สัมผัสอากาศภายนอกมีมาก จึงทำให้เกิดการคายความร้อนได้มากตามไปด้วย ขณะที่แผงแบบหลอดแก้วสุญญากาศพื้นผิวส่วนใหญ่ของแผงรับความร้อนเป็นหลอดแก้วที่เป็นสุญญากาศซึ่งมีคุณสมบัติที่ไม่ถ่ายเทความร้อน ทำให้การสูญเสียจะเกิดขึ้นที่ท่อน้ำที่เชื่อมต่อระหว่างถังกับส่วนของแกนแผงทำความร้อนซึ่งมีพื้นที่เพียงเล็กน้อยเท่านั้น สรุปประเด็นการสูญเสียความร้อน แผงชนิดแผ่นเรียบมีอัตราการสูญเสียความร้อนที่สูงกว่าแผงชนิดหลอดแก้วสุญญากาศ

5.1.4 เปรียบเทียบด้านเศรษฐศาสตร์

ผลการเปรียบเทียบด้านการเงินของทั้งสองระบบ โดยปัจจัยที่มีผลระยะเวลาคืนทุน จะอยู่ที่มูลค่าของเครื่องทำน้ำร้อนทั้งสองชนิดและอัตราค่าไฟฟ้า หากค่าไฟอยู่ที่หน่วยละ 4-5 บาท ระยะคืนทุนของเครื่องทำน้ำร้อนทั้งสองระบบจะอยู่ที่ 7-9 ปี รายละเอียดตามตารางที่ 4.6 จากผลที่วิเคราะห์ได้

ในการคำนวณจุดคุ้มทุนของระบบทั้งสองที่กล่าวมานั้น เป็นการคำนวณจากเครื่องตัวอย่างที่ผู้วิจัยนำทดลอง มีขนาดความจุน้ำร้อนเพียง 100 ลิตร ซึ่งเป็นขนาดเล็กที่สุดในท้องตลาด เป็นขนาดที่นิยมติดตั้งเท่าใดนัก เนื่องจากมีปริมาณน้ำที่น้อยเกินไปไม่เพียงพอต่อการใช้งานสำหรับบ้านเรือนทั่วไป โดยขนาดที่ใช้กันมากคือ 150-300 ลิตร ซึ่งเหมาะกับสมาชิกครอบครัว 3-4 คนขึ้นไป โดยราคาขาย หากเทียบเป็นอัตราส่วนกับขนาดความจุน้ำจะมีราคาสูงกว่าพอสมควร ตัวอย่างเช่น หากเราเพิ่มงบประมาณอีก 1 เท่า เราจะได้เครื่องทำน้ำร้อนที่มีขนาดใหญ่ขึ้น 2 เท่า(300 ลิตร) ก็จะทำให้จุดคืนทุนมีระยะเวลาสั้นลงไป ทำให้การติดตั้งเครื่องทำน้ำร้อนพลังแสงอาทิตย์มีความน่าสนใจมากยิ่งขึ้น

สรุปได้ว่า ประเด็นด้านจุดคุ้มทุนไม่แตกต่างกันมากนัก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับราคาของตัวผลิตภัณฑ์ด้วย ซึ่งในท้องตลาด เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์มีบริษัทผู้จำหน่ายหลายราย ราคา คุณภาพก็แตกต่างกันไป ประเด็นสำคัญของความคุ้มค่าด้านการลงทุนที่ผู้สนใจที่จะติดตั้งไว้ใช้ควรคำนึงถึงคือ ราคา อายุการใช้งานหรือการรับประกันสินค้า อีกทั้งความน่าเชื่อถือของผู้ขายก็ควรพิจารณาลำดับแรกเช่นกัน

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการทดลอง เห็นได้ว่า ปัจจัยหลักๆในการผลิตน้ำร้อนของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ และความเข้มของแสงอาทิตย์ ค่าการสูญเสียความร้อนก็เป็นตัวแปรสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพรวมเช่นกัน โดยที่ลักษณะทางกายภาพของแผงทำความร้อนเป็นสาเหตุทำให้ระบบมีการสูญเสียความร้อนมากน้อยต่างกันไป ในประเด็นด้านจุดคุ้มทุน ทั้งสองระบบมีระยะเวลาการคืนทุนที่ใกล้เคียงกัน โดยแผงแบบแผ่นเรียบจะมีระยะเวลาคืนทุนเร็วกว่าแผงแบบหลอดแก้วสุญญากาศเล็กน้อย หากพิจารณาจากผลการทดลองทั้งหมด ผู้วิจัยมีความเห็นว่าเครื่องทำความร้อนทั้งสองชนิดเสมอกัน แต่เนื่องจากระบบทำน้ำร้อนพลังแสงอาทิตย์เป็นระบบที่มีราคาสูง มีจุดคุ้มทุนที่ยาวนานพอสมควร อายุของระบบจึงมีผลต่อการตัดสินใจของผู้ที่ต้องการใช้งาน เพราะถ้าหากระบบเสียก่อนระยะเวลาคืน

ทุน ก็จะทำให้ระบบไม่น่าลงทุนได้ และปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นในการให้ความร้อนแก่น้ำผ่านโลหะก็คือตะกรันหรือหินปูนที่มักจะเกาะที่บริเวณผิวโลหะตามรูปที่ 5.2 โดยที่ลักษณะโครงสร้างภายในของแผงทั้งสองชนิดจะใช้ท่อทองแดงเป็นเส้นทางในการเดินของน้ำและส่งผ่านความร้อนไปยังน้ำอีกด้วย



รูปที่ 5.2 ตัวอย่างการเกิดตะกรันในท่อทองแดง

ซึ่งแผงแบบแผ่นเรียบจะใช้ท่อทองแดงวางเรียงกันในแนวนอนและแนวตั้งตามรูปที่ 5.3 ซึ่งน้ำจะเคลื่อนที่ไปตามท่อทองแดงในขณะที่รับความร้อน ทำให้โอกาสการเกิดตะกรันอุดตันได้ง่าย



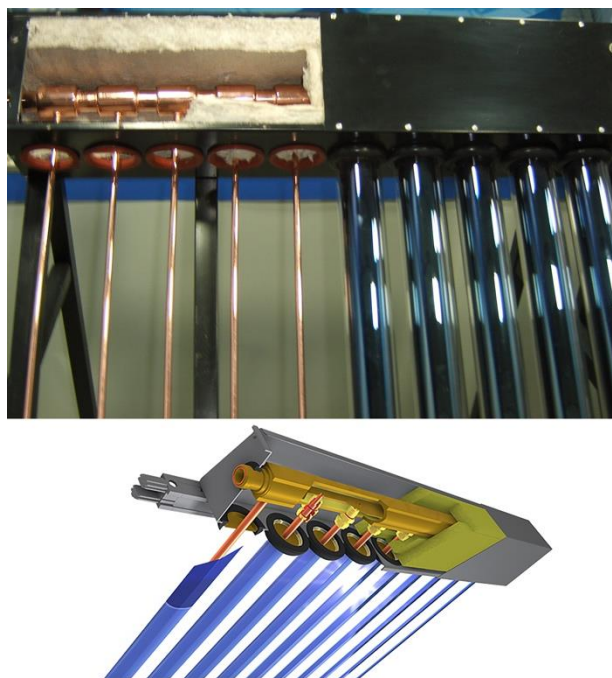
รูปที่ 5.3 การวางท่อทองแดงของแผงทำความร้อนแบบแผ่นเรียบ

อีกทั้งภายในแผงรับความร้อนผู้ผลิตจะใส่ใยแก้วไว้ใต้ท่อทองแดงเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนออกไปยังภายนอก ซึ่งหากแผงรับความร้อนมีน้ำรั่วเข้าไป ใยแก้วจะดูดซับน้ำไว้ทำให้ประสิทธิภาพการทำความร้อนลดลงเป็นอย่างมาก



รูปที่ 5.4 ลักษณะการวางใยแก้วภายในแผงรับความร้อนแบบแผ่นเรียบ

ในส่วนของแผงทำความร้อนแบบหลอดแก้วสุญญากาศ เส้นทางการไหลของน้ำเป็นเส้นตรงที่ส่วนแกนแผงด้านบนไม่สลับซับซ้อน การส่งผ่านความร้อนด้วยแท่ง heater pipe ที่รับความร้อนมาจากหลอดแก้วสุญญากาศซึ่งใช้ของเหลวที่ไม่ทำให้เกิดตะกอนอุดตัน ในระบบนี้โอกาสการเกิดตะกอนจึงมีน้อยกว่า ซึ่งหากเกิดตะกอนก็สามารถซ่อมได้ง่ายโดยการ ดังแสดงตามรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.5 ท่อทองแดงภายในแผงทำความร้อนแบบหลอดแก้วสุญญากาศ

จากลักษณะทางกายภาพของแผงทั้งสองชนิดที่กล่าวมาแล้วข้างต้น วิเคราะห์ได้ว่า แผงทำความร้อนแบบหลอดแก้วสุญญากาศจะมีอายุการทำงานที่ยาวนานกว่าแผงทำความร้อนแบบแผ่นเรียบนั่นเอง

5.3 ข้อเสนอแนะ

สำหรับการศึกษาเปรียบเทียบระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งสองชนิดในครั้งนี้ ผู้ศึกษามีข้อเสนอแนะ เพื่อให้ผู้ที่สนใจต้องการจะใช้งาน หรือผู้ที่มีความสนใจต้องศึกษาเกี่ยวกับระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อต่อยอดให้ส่วนที่ขาดหายไปในงานวิจัยครั้งนี้ โดยแยกเป็นประเด็นได้ดังนี้ 5.3.1. สำหรับครัวเรือนเครื่องน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์มีความน่าสนใจแค่ไหน

ถึงแม้ว่าเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จะมีประสิทธิภาพดีและมีความคุ้มค่าด้านเศรษฐศาสตร์ในระดับหนึ่งก็ตาม แต่ในแง่ของการใช้งานสำหรับครัวเรือนเพื่อใช้ในการอุปโภคแล้วนั้น หากคำนึงถึงสภาพอากาศประเทศไทยแล้ว ฤดูหนาวก็จะมีเพียงไม่กี่วัน ในฤดูร้อนก็ไม่มีคามจำเป็นในการใช้เท่าใดนัก การใช้น้ำร้อนเพื่ออาบน้ำใน 1 ปี จะมีความต้องการเพียงไม่กี่วัน และการผลิตน้ำร้อนในฤดูฝนก็จะมีประสิทธิภาพเท่าที่ควร เมื่อพิจารณาถึงประเด็นเหล่านี้แล้ว การติดตั้งเครื่องทำ

น้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับครัวเรือนก็จะไม่คุ้มค่าแก่การลงทุนหรือไม่มีวันคืนทุนได้เลย การติดตั้งเครื่องทำน้ำร้อนแบบไฟฟ้าจึงน่าจะเหมาะสมกว่า เพราะมีราคาถูก ติดตั้งง่าย หากไม่ใช้ก็ไม่เสียค่าใช้จ่ายอีกด้วย

แต่เชื่อว่าเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ จะไม่เหมาะกับผู้ใช้สำหรับบ้านเรือนทั่วไปเสียเลย หากแต่พฤติกรรมการใช้น้ำร้อนต่างหาก ที่เป็นตัวแปรสำคัญที่ทำให้ความคุ้มค่าในการลงทุนหรือไม่ จากผลการวิจัยวันที่ 27 ธ.ค. 2561 ตามตารางที่ 4.2 ผลการทดลองในวันนี้ชี้ให้เห็นว่า หากไม่มีการใช้น้ำร้อนในแต่ละวันนอกจากจะทำให้ประสิทธิภาพการผลิตน้ำร้อนลดลงแล้ว การไม่นำน้ำร้อนไปใช้งาน ผู้ลงทุนก็จะได้ประโยชน์ใด ๆ จากการที่ลงทุนติดตั้งเลย ในทางกลับกัน หากผู้ลงทุนมีการใช้น้ำร้อนอย่างสม่ำเสมอ การติดตั้งเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ก็จะทำให้ผู้ใช้มีความคุ้มค่าในการลงทุนตามที่ผู้วิจัยได้แสดงให้เห็นเป็นอย่างมาก

5.3.2. ใครเหมาะสมที่จะใช้ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

ในความเห็นของผู้วิจัย ความคุ้มค่าของพลังงานทดแทน โดยเฉพาะของพลังงานจากแสงอาทิตย์ จะเกิดความคุ้มค่าก็ต่อเมื่อ นำพลังงานที่ผลิตได้มาใช้งานให้มากที่สุด เนื่องจากส่วนใหญ่แล้ว การลงทุนของระบบ จะเป็นการลงทุนครั้งเดียว ค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมจะเกิดขึ้นน้อยมาก จะใช้หรือไม่ ก็มีผลผลิตออกมาเป็นน้ำร้อนในทุกวัน การนำพลังงานที่ได้มาใช้งานทั้งหมดจึงเป็นวิธีที่คุ้มค่าต่อการลงทุนมากที่สุด ยกตัวอย่างเช่น อุตสาหกรรม ที่ต้องการน้ำร้อนไม่ว่าจะเป็นการ Perheat ในระบบผลิตไอน้ำ ก็จะช่วยลดต้นทุนในการใช้เชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ ในการผลิตไอน้ำ อุตสาหกรรมอาหารซึ่งจำเป็นต้องใช้น้ำร้อน หรืออุตสาหกรรมโรงแรมที่มีการใช้น้ำร้อนปริมาณมากในแต่ละวัน และโรงพยาบาลที่ต้องการน้ำร้อนในการฆ่าเชื้อโรค ในขั้นตอนการซักล้าง เป็นต้น หากนำระบบผลิตน้ำร้อนมาใช้ในภาคอุตสาหกรรมอาจทำให้จะได้ประโยชน์มากกว่าภาคครัวเรือน เหตุผลคือ ในภาคอุตสาหกรรมบางประเภทสามารถกำหนดช่วงเวลาการใช้น้ำร้อนได้ เราสามารถกำหนดช่วงเวลาการใช้น้ำร้อนในช่วงที่ระบบทำน้ำร้อนให้ประสิทธิภาพสูงที่สุด เพื่อลดการสูญเสียในการเก็บรักษา อุณหภูมิ และหลีกเลี่ยงช่วงเวลาที่แผงทำความร้อนสูญเสียความร้อนไปกับการคายความร้อนกับสภาพอากาศและข้อจำกัดอื่น ๆ ของระบบได้ ก็จะทำให้เราสามารถได้ประโยชน์ได้เต็มประสิทธิภาพจากระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ได้มากที่สุดและคุ้มค่าที่สุดอีกด้วย

5.3.3. แนวทางการศึกษาครั้งต่อไป

จากผลการศึกษาครั้งนี้จะเห็นว่าประสิทธิภาพของระบบทั้งสองมีความได้เปรียบเสียเปรียบอยู่หลายประเด็น ขึ้นอยู่กับปัจจัยรอบข้างและลักษณะทางกายภาพของแผงรับความร้อนของแต่ละชนิด โดยการศึกษาที่จะมุ่งเน้นสำหรับการใช้งานระดับครัวเรือน และพิจารณาที่จุดคืนทุนก็ดูจะยาวนานพอสมควร เหตุที่จุดคืนทุนใช้ระยะเวลานานเพราะราคาขายเมื่อเทียบกับขนาดของเครื่องทำน้ำร้อน มีราคาสูงเนื่องจากมีขนาดเล็ก แต่ในการติดตั้งระบบใหญ่ระดับอุตสาหกรรมราคาต่อขนาดของระบบจะมีราคาถูกกว่านี้มาก ผู้เขียนมีความเห็นว่าหากมีผู้ที่สนใจศึกษาเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ต่อจากนี้ การศึกษาในระดับอุตสาหกรรมที่ใช้พื้นที่รับแสงที่มาก ในปัจจุบันภาคอุตสาหกรรมยังมีการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการผลิตน้ำร้อนไม่มากนัก การศึกษาในระดับอุตสาหกรรมก็เป็นหัวข้อที่น่าสนใจอย่างยิ่ง สังเกตว่าเหตุใด ผู้เขียนจึงมุ่งเน้นถึงความคุ้มค่าด้านเศรษฐศาสตร์ เพราะพลังงานทดแทนมีราคาแพง มีการลงทุนสูงในช่วงเริ่มต้น หากไม่มีการชี้ให้เห็นถึงความคุ้มค่า ไม่อธิบายให้ทราบว่าใช้พลังงานทดแทนแล้วดีอย่างไร ประหยัดแค่ไหน การนำพลังงานทดแทนไปใช้จริงก็จะมีใครสนใจเลย



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการคำนวณ

การคำนวณหาประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

ข้อมูลที่ได้จากการเก็บผล

วันที่ทำการทดสอบ

9 ตุลาคม 2561

ลักษณะท้องฟ้า

โปร่ง

ช่วงเวลาในการผลิตน้ำร้อน (ที่สนใจ)

12 ชั่วโมง

ปริมาตรน้ำในถัง

100 ลิตร

ความร้อนจำเพาะของน้ำ

$4.18 \frac{kJ}{kg \cdot K}$

ชนิดของแผงรับความร้อน	หลอดแก้วสุญญากาศ	แผ่นเรียบ
พื้นที่รับแสงอาทิตย์	1.53	2
ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย (W/m^2)	532	
อุณหภูมิน้ำในถังเวลา 06.00 ($^{\circ}C$)	36.90	36.90
อุณหภูมิน้ำในถังเวลา 18.00 ($^{\circ}C$)	58.80	72.20

พลังงานความร้อนของน้ำในถังน้ำร้อน = $m \cdot c \cdot \Delta t$

- หลอดแก้วสุญญากาศ = $100 \times 4.18 \times \frac{kJ}{kg \cdot K} \times (58.8 - 36.9)$
= 9,154.2 kJ = 9.15 MJ

- แผ่นเรียบ = $100 \times 4.18 \times \frac{kJ}{kg \cdot K} \times (72.2 - 36.9)$

$$= 14,755.4 \text{ kJ} = 14.76 \text{ MJ}$$

$$\begin{aligned} \text{พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ต่อตร.ม.} &= I_{\text{ave}} \times A \times h \\ &= 532 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \times 12\text{h} \times 3.6\text{MJ} \\ &= 22.98 \frac{\text{Mj}}{\text{m}^2} \end{aligned}$$

ประสิทธิภาพของระบบ(ต่อ 1 ตารางเมตร) หาได้จาก

$$(\eta) = \frac{\text{พลังงานความร้อนของน้ำร้อนในถัง (Output)}}{\text{พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ (Input)} \times \text{พท.แผงทำความร้อน (m}^2)} \times 100\%$$

ประสิทธิภาพของแผงทำความร้อนพลังแสงอาทิตย์ ต่อ 1 ตารางเมตร

$$\begin{aligned} - \text{ หลอดแก้วสุญญากาศ} &= \frac{9.15 \text{ MJ}}{22.98 \frac{\text{Mj}}{\text{m}^2} \times 1.53 \text{ m}^2} \times 100\% \\ &= 26\% \\ - \text{ แผงทำน้ำร้อนแบบแผ่นเรียบ} &= \frac{14.76 \text{ MJ}}{22.98 \frac{\text{Mj}}{\text{m}^2} \times 2 \text{ m}^2} \times 100\% \\ &= 32\% \end{aligned}$$

การคำนวณหาค่าไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ต่อปี

เนื่องจากเวลาที่จำกัดผู้วิจัยมีเวลาเก็บผลการทดลองได้เพียง 5 เดือนเศษ จึงใช้ข้อมูลที่มีอยู่ เป็นตัวแทนในแต่ละฤดูและนำมาหาค่าเฉลี่ยตลอดทั้งปีได้ดังนี้

ชนิดแผงทำความร้อน	หลอดแก้วสุญญากาศ		แผ่นเรียบ	
	ค่าเฉลี่ยต่อวัน (MJ)	ค่าเฉลี่ยต่อเดือน (MJ)	ค่าเฉลี่ยต่อวัน (MJ)	ค่าเฉลี่ยต่อเดือน (MJ)
ค่าเฉลี่ยพลังงานความร้อนฤดูฝน (MJ)	7.51	1126.67	11.26	1689.52
ค่าเฉลี่ยพลังงานความร้อนฤดูหนาว (MJ)	8.79	1055.37	12.99	1558.97
ค่าเฉลี่ยพลังงานความร้อนฤดูร้อน (MJ)	15.58	1479.97	16.01	1520.59
ทั้งปี (MJ/year)		3662.00		4769.09

*กรรมอุตุนิยมวิทยา

1. ฤดูร้อน เริ่มต้นประมาณกลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม
2. ฤดูฝน เริ่มต้นประมาณกลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม
3. ฤดูหนาว เริ่มต้นประมาณกลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์

หาพลังงานไฟฟ้าต่อปี

- หลอดแก้วสุญญากาศ

$$\text{พลังงานความร้อนต่อปี} = 3662 \frac{\text{MJ}}{\text{year}}$$

$$\text{ค่าพลังงานไฟฟ้า} = 3662 \frac{\text{MJ}}{\text{year}} \times \frac{1 \text{ kWJ}}{3.6 \text{ MJ}} = 1017.22 \frac{\text{kW}}{\text{year}}$$

$$\text{คิดเป็นค่าไฟฟ้า} = 1017.22 \frac{\text{kW}}{\text{year}} \times 4 \frac{\text{บาท}}{\text{kW}} = 4068.89 \text{ บาท/ปี}$$

- แผ่นเรียบ

$$\text{พลังงานความร้อนต่อปี} = 4769.09 \frac{\text{MJ}}{\text{year}}$$

$$\text{พลังงานไฟฟ้า} = 4769.09 \frac{\text{MJ}}{\text{year}} \times \frac{1 \text{ kWJ}}{3.6 \text{ MJ}} = 1324.75 \frac{\text{kW}}{\text{year}}$$

$$\text{คิดเป็นค่าไฟฟ้า} = 1324.75 \frac{\text{kW}}{\text{year}} \times 4 \frac{\text{บาท}}{\text{kW}} = 5298.99 \text{ บาท/ปี}$$

การคำนวณค่า NPV

จากสูตร

$$NPV = \frac{\sum_{t=1}^n E_{st}}{(1+i)^t} - I_0$$

- n = ระยะเวลาของโครงการ (15 ปี)
- E_{st} = ค่าไฟที่สามารถประหยัดได้ (4068.89 บาทต่อปี, 5298.99 บาทต่อปี)
- I_0 = เงินลงทุนเริ่มต้นโครงการ (34,000 บาท , 43,000 บาท)
- i = อัตราดอกเบี้ย 2%

- หลอดแก้วสุญญากาศ

$$\begin{aligned} NPV &= \frac{4068.89}{(1+0.02)^1} + \frac{4068.89}{(1+0.02)^2} + \frac{4068.89}{(1+0.02)^3} + \frac{4068.89}{(1+0.02)^4} + \frac{4068.89}{(1+0.02)^5} \\ &+ \frac{4068.89}{(1+0.02)^6} + \frac{4068.89}{(1+0.02)^7} + \frac{4068.89}{(1+0.02)^8} + \frac{4068.89}{(1+0.02)^9} \\ &+ \frac{4068.89}{(1+0.02)^{10}} + \frac{4068.89}{(1+0.02)^{11}} + \frac{4068.89}{(1+0.02)^{12}} + \frac{4068.89}{(1+0.02)^{13}} \\ &+ \frac{4068.89}{(1+0.02)^{14}} + \frac{4068.89}{(1+0.02)^{15}} - 34,000 \end{aligned}$$

$$NPV = 18,282.29 \text{ บาท}$$

- แผ่นเรียบ

$$\begin{aligned} NPV &= \frac{5298.99}{(1+0.02)^1} + \frac{5298.99}{(1+0.02)^2} + \frac{5298.99}{(1+0.02)^3} + \frac{5298.99}{(1+0.02)^4} + \frac{5298.99}{(1+0.02)^5} \\ &+ \frac{5298.99}{(1+0.02)^6} + \frac{5298.99}{(1+0.02)^7} + \frac{5298.99}{(1+0.02)^8} + \frac{5298.99}{(1+0.02)^9} \\ &+ \frac{5298.99}{(1+0.02)^{10}} + \frac{5298.99}{(1+0.02)^{11}} + \frac{5298.99}{(1+0.02)^{12}} + \frac{5298.99}{(1+0.02)^{13}} \\ &+ \frac{5298.99}{(1+0.02)^{14}} + \frac{5298.99}{(1+0.02)^{15}} - 43,000 \end{aligned}$$

$$NPV = 25,088.04 \text{ บาท}$$

การคำนวณค่า IRR

จากสูตร $\frac{\sum_{k=0}^n E_{st}}{(1+IRR)^t} = I_0$ หรือ $NPV = 0$

- การคำนวณค่า IRR หลอดแก้วสุญญากาศ

สมมติค่า IRR = 9%

$$\begin{aligned} NPV &= \frac{4068.89}{(1+0.09)^1} + \frac{4068.89}{(1+0.09)^2} + \frac{4068.89}{(1+0.09)^3} + \frac{4068.89}{(1+0.09)^4} + \frac{4068.89}{(1+0.09)^5} \\ &+ \frac{4068.89}{(1+0.09)^6} + \frac{4068.89}{(1+0.09)^7} + \frac{4068.89}{(1+0.09)^8} + \frac{4068.89}{(1+0.09)^9} \\ &+ \frac{4068.89}{(1+0.09)^{10}} + \frac{4068.89}{(1+0.09)^{11}} + \frac{4068.89}{(1+0.09)^{12}} + \frac{4068.89}{(1+0.09)^{13}} \\ &+ \frac{4068.89}{(1+0.09)^{14}} + \frac{4068.89}{(1+0.09)^{15}} - 34,000 = -1201.92 \end{aligned}$$

ดังนั้นการสมมติค่า IRR ครั้งต่อไป ควรจะน้อยกว่า 9% เพื่อให้ PV มีค่ามาก ซึ่งมีผลทำให้ PV-I เข้าใกล้ 0 มากขึ้น หรือ PV เข้าใกล้ I มากที่สุด

สมมติค่า IRR = 8%

$$\begin{aligned} NPV &= \frac{4068.89}{(1+0.08)^1} + \frac{4068.89}{(1+0.08)^2} + \frac{4068.89}{(1+0.08)^3} + \frac{4068.89}{(1+0.08)^4} + \frac{4068.89}{(1+0.08)^5} \\ &+ \frac{4068.89}{(1+0.08)^6} + \frac{4068.89}{(1+0.08)^7} + \frac{4068.89}{(1+0.08)^8} + \frac{4068.89}{(1+0.08)^9} \\ &+ \frac{4068.89}{(1+0.08)^{10}} + \frac{4068.89}{(1+0.08)^{11}} + \frac{4068.89}{(1+0.08)^{12}} + \frac{4068.89}{(1+0.08)^{13}} \\ &+ \frac{4068.89}{(1+0.08)^{14}} + \frac{4068.89}{(1+0.08)^{15}} - 34,000 = 827.61 \end{aligned}$$

ผลต่าง NPV $-1201.92 - 827.61 = -2029.52$ เกิดจากผลต่าง IRR = 1%

ผลต่าง NPV $0-827.61 = -827.61$ ดังนั้น IRR = $\frac{(-827.61) \times 1\%}{(-2029.52)} = 0.41\%$

ดังนั้น IRR ประมาณค่า = $8\% + 0.41 = 8.41\%$

ระยะคืนทุนตามมูลค่าปัจจุบันของแผงแบบหลอดแก้วสุญญากาศ

จากสูตร ระยะคืนทุน (DPBP) = จำนวนปีที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันมีค่า ≥ 0

ปีที่	ผลประหยัด	ยอดสะสม
1	3989.11	3,989.11
2	3910.89	7,900.00
3	3834.21	11,734.20
4	3759.03	15,493.23
5	3685.32	19,178.55
6	3613.06	22,791.61
7	3542.21	26,333.82
ปีที่	ผลประหยัด	ยอดสะสม
8	3472.76	29,806.58
9	3404.67	33,211.24
10	3337.91	36,549.15
11	3272.46	
12	3208.29	
13	3145.38	
14	3083.71	
15	3023.25	

ผลต่างระยะคืนทุน 1 ปี $36,549.15 - 33,211.24 = 3337.91$ บาท

ผลต่างของผลประหยัด ณ มูลค่าปัจจุบัน $36,549.15 - 34,000 = 2549.15$ บาท

จะได้
$$\frac{2549.15 \times 1}{3337.91} = 0.76$$

ดังนั้นระยะคืนทุนตามมูลค่าปัจจุบันของแผนแบบตลอดแก้วสุญญากาศ = 10 ปี - 0.76 ปี = 9.24 ปี

- การคำนวณค่า IRR แผ่นเรียบ

สมมุติค่า IRR = 9%

$$\begin{aligned} NPV &= \frac{5298.99}{(1+0.09)^1} + \frac{5298.99}{(1+0.09)^2} + \frac{5298.99}{(1+0.09)^3} + \frac{5298.99}{(1+0.09)^4} + \frac{5298.99}{(1+0.09)^5} \\ &+ \frac{5298.99}{(1+0.09)^6} + \frac{5298.99}{(1+0.09)^7} + \frac{5298.99}{(1+0.09)^8} + \frac{5298.99}{(1+0.09)^9} \\ &+ \frac{5298.99}{(1+0.09)^{10}} + \frac{5298.99}{(1+0.09)^{11}} + \frac{5298.99}{(1+0.09)^{12}} + \frac{5298.99}{(1+0.09)^{13}} \\ &+ \frac{5298.99}{(1+0.09)^{14}} + \frac{5298.99}{(1+0.09)^{15}} - 43,000 = -286.54 \end{aligned}$$

ดังนั้นการสมมุติค่า IRR ครั้งต่อไป ควรจะน้อยกว่า 9% เพื่อให้ PV มีค่ามาก ซึ่งมีผลทำให้ PV-1 เข้าใกล้ 0 มากขึ้น หรือ PV เข้าใกล้ 1 มากที่สุด

สมมุติค่า IRR = 8%

$$\begin{aligned} NPV &= \frac{5298.99}{(1+0.08)^1} + \frac{5298.99}{(1+0.08)^2} + \frac{5298.99}{(1+0.08)^3} + \frac{5298.99}{(1+0.08)^4} + \frac{5298.99}{(1+0.08)^5} \\ &+ \frac{5298.99}{(1+0.08)^6} + \frac{5298.99}{(1+0.08)^7} + \frac{5298.99}{(1+0.08)^8} + \frac{5298.99}{(1+0.08)^9} \\ &+ \frac{5298.99}{(1+0.08)^{10}} + \frac{5298.99}{(1+0.08)^{11}} + \frac{5298.99}{(1+0.08)^{12}} + \frac{5298.99}{(1+0.08)^{13}} \\ &+ \frac{5298.99}{(1+0.08)^{14}} + \frac{5298.99}{(1+0.08)^{15}} - 43,000 = 2356.54 \end{aligned}$$

ผลต่าง NPV $-286.54 - 2356.54 = -2643.08$ เกิดจากผลต่าง IRR = 1%

$$\text{ผลต่าง NPV } 0-2356.54 = -2356.54 \text{ ดังนั้น } IRR = \frac{(-2356.54) \times 1\%}{(-2643.08)} = 0.89\%$$

ดังนั้น IRR ประมาณค่า = $8\% + 0.89 = 8.89\%$

ระยะคืนทุนตามมูลค่าปัจจุบันของแผนแบบตลอดแก้วสุญญากาศ

จากสูตร ระยะคืนทุน (DPBP) = จำนวนปีที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันมีค่า ≥ 0

ปีที่	ผลประหยัด	ยอดสะสม
1	5195.08	5,195.08
2	5093.22	10,288.30
3	4993.35	15,281.65
4	4895.44	20,177.09
5	4799.45	24,976.55
6	4705.35	29,681.89
7	4613.08	34,294.98
8	4522.63	38,817.61
9	4433.95	43,251.56
10	4347.01	
11	4261.78	
12	4178.21	
13	4096.29	
14	4015.97	
15	3937.22	

ผลต่างระยะคืนทุน 1 ปี $43,251.56 - 38,817.61 = 4,433.95$ บาท

ผลต่างของผลประหยัด ณ มูลค่าปัจจุบัน $43,251.56 - 43,000 = 251.56$ บาท

จะได้
$$\frac{251.56 \times 1}{4,433.95} = 0.06$$

ดังนั้นระยะคืนทุนตามมูลค่าปัจจุบันของแผงแบบแผ่นเรียบ = 9 ปี - 0.06 ปี = 8.94 ปี

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างข้อมูลจาก data logger ในวันที่ 28 ตุลาคม 2561

Time	To	H	So	Tw1	Ti1	To1	Tt1	Tw2	Ti2	To2	Tt2
6:00	26	99.9	1.12	28.5	33.5	26.1	44.4	28.3	32.8	26.9	44.5
6:05	26	99.9	0.56	28.5	33.5	26.1	44.5	28.3	32.7	26.9	44.5
6:10	25.9	99.9	1.12	28.5	33.5	26.1	44.3	28.3	32.7	27	44.4
6:15	26	99.9	1.12	28.5	33.5	26	44.3	28.3	32.6	27	44.3
6:20	26	99.9	3.37	28.4	33.5	26	44.3	28.2	32.8	27	44.3
6:25	26	99.9	5.62	28.4	33.5	26	44.3	28.2	32.8	27	44.4
6:30	26	99.9	7.87	28.3	33.5	26	44.4	28.1	32.9	27	44.3
6:35	26	99.9	11.24	28.3	33.5	26	44.5	28.1	33.1	26.9	44.4
6:40	26.2	99.9	15.73	28.3	33.5	26.1	44.3	28.1	33	27	44
6:45	26.2	99.9	19.1	28.3	33.6	26.1	44.3	28.1	33.6	26.8	44.1
6:50	26.3	99.9	23.6	28.3	33.7	26.3	44.3	28.1	33.9	26.8	44
6:55	26.5	99.9	32.58	28.3	34.1	26.5	44.4	28	34.8	26.7	44.3
7:00	27	99.9	38.2	28.3	34.4	27	44.3	28	35.6	26.8	44.3
7:05	27.8	99.9	44.38	28.2	34.8	28	44.4	28.1	36.5	27	44.5
7:10	28.5	99.9	47.75	28.2	35	29.9	44.4	28	37.3	27.3	44.6
7:15	29.1	96.9	52.25	28.2	35.2	32.4	44.3	28	37.9	27.8	44.8
7:20	29.5	92.4	53.93	28.3	35.5	35.2	44.3	28.1	38.6	29.1	44.8
7:25	30.1	88.3	52.25	28.3	35.8	38.8	44.3	28.1	39.6	31.6	45
7:30	30.5	85.8	56.18	28.3	36	42.1	44.4	28.1	40.6	34.1	45.1
7:35	30.5	84.5	60.11	28.3	36.1	46	44.3	28.1	42.1	36.8	45.1

7:40	30.8	83.8	70.22	28.3	36.3	49.6	44.3	28.1	43.5	40.3	45.2
7:45	31.1	84.2	64.04	28.4	37.4	53.6	44.4	28.2	44	43.6	45.2
Time	To	H	So	Tw1	Ti1	To1	Tt1	Tw2	Ti2	To2	Tt2
7:50	31.3	82.5	64.61	28.5	43.4	53.2	45.6	28.3	44.5	47.3	45.3
7:55	31.7	80.1	64.61	28.5	43.4	53.9	46.3	28.4	44.7	51.6	45.6
8:00	31.8	79.1	69.1	28.6	43.5	54.4	46.8	28.5	44.8	52	46.1
8:05	32.2	78.2	71.91	28.7	43.5	55.1	47.3	28.6	44.9	52.2	46.6
8:10	32.6	77.2	75.84	28.8	43.5	55.9	48	28.6	45	53.3	47
8:15	33	75.4	80.9	28.9	43.6	56.7	48.6	28.7	45	54.5	47.6
8:20	33.2	72.3	82.58	29	43.6	57.4	49.1	28.8	45.1	55.6	48.3
8:25	33.4	72.6	84.83	29	43.7	58.1	49.7	28.9	45.1	56.1	49
8:30	33.5	70.6	83.71	29.1	43.7	58.5	50.1	29	45.6	56.1	49
8:35	33.5	70.7	78.65	29.1	43.8	58.8	50.6	29	45.2	56.1	50.1
8:40	33.3	72.8	82.02	29.2	43.8	58.4	51	29	45.3	55	50.1
8:45	33.2	72.4	91.01	29.2	43.9	58.1	51.2	29.1	45.3	55.8	50.4
8:50	33.4	71.9	98.88	29.3	44	58.2	51.5	29.1	45.4	56.5	51
8:55	33.4	71.3	105.62	29.3	44	58.4	51.8	29.1	45.4	57.2	51.3
9:00	33.7	71.9	113.48	29.3	44	58.8	52	29.1	45.5	58.3	52.1
9:05	34.1	69.4	124.16	29.3	44	59.3	52.4	29.1	45.6	59.3	53
9:10	34.2	67.7	129.78	29.3	44	59.8	52.7	29.1	45.6	60.6	53.8
9:15	34.4	67.5	134.83	29.3	44.1	60.4	53	29.1	45.7	61.2	54.9
9:20	34.8	65.9	137.64	29.4	44.1	61.1	53.5	29.2	45.8	62.4	55.8
Time	To	H	So	Tw1	Ti1	To1	Tt1	Tw2	Ti2	To2	Tt2
9:25	35.2	64.4	137.64	29.4	44.2	61.8	54	29.3	45.9	63	56.9
9:30	35.4	63.6	141.01	29.5	44.2	62	54.1	29.3	45.9	63.3	57.5

9:35	35.4	64	144.94	29.6	44.2	62.3	54.5	29.4	46	63.2	58.1
9:40	35.5	63	149.44	29.6	44.3	62.2	54.6	29.5	46	63.5	58.5
9:45	35.8	63.3	153.93	29.8	44.3	62.3	54.7	29.6	46.1	64.3	59
9:50	36.1	61.3	167.98	29.9	44.3	62.5	55.1	29.6	46.1	64.2	59.7
Time	To	H	So	Tw1	Ti1	To1	Tt1	Tw2	Ti2	To2	Tt2
9:55	36.2	60.6	175.84	30	44.3	62.6	55.3	29.8	46.2	65	60.3
10:00	36.3	60.7	186.52	30.1	44.3	62.9	55.5	29.9	46.2	65.9	61
10:05	36.1	59.3	219.1	30.1	44.4	62.4	55.3	30	46.3	65.1	60.6
10:10	35.8	60.9	210.11	30.3	44.5	62.3	55.5	30.1	46.1	60.6	61.3
10:15	35.5	61.3	212.36	30.3	44.5	61.3	55.3	30.1	46.3	61.4	61.1
10:20	35.7	60.3	243.82	30.4	44.5	60.6	55.4	30.3	46.3	64.3	61
10:25	36.4	57	224.72	30.5	44.5	62	55.6	30.4	46.3	67.6	62.1
10:30	37.1	56.2	277.53	30.6	44.6	63.1	55.8	30.5	46.5	68.6	62.9
10:35	37.7	54.3	297.75	30.8	44.6	63.8	56	30.6	46.5	68.6	63.5
10:40	38.2	53.1	346.63	30.9	44.8	65	56.6	30.6	46.6	70.6	65
10:45	38.5	52.6	287.64	30.9	44.8	65.5	56.9	30.7	46.6	67.6	65.5
10:50	37.6	53.4	240.45	31	44.9	63.5	56.6	30.8	46.6	60.9	65.2
10:55	36.9	55.1	217.42	31	45	61.6	56.5	30.8	46.6	58.9	65.1
11:00	36.6	57.2	165.17	31	45.1	60.7	56.5	30.8	46.7	60	65
11:05	36.1	59.2	208.99	31	45.1	59.5	56.5	30.8	46.7	56.3	64.8
11:10	36.1	59.9	301.12	31	45.3	58.6	56.5	30.8	46.8	56.9	64.8
11:15	36.4	58.6	278.09	31	45.4	58.2	56.5	30.8	46.9	57.4	64.8
11:20	36	59.1	203.93	31	45.5	57.8	56.3	30.8	46.9	57.3	64.4
11:25	35.7	60.4	174.72	31	45.6	57.3	56.2	30.8	47	56.1	64.3
11:30	35.2	61.6	130.34	31	45.7	56.7	56.2	30.8	47	54.8	64

11:35	34.8	62.9	158.43	31	45.8	56	55.9	30.8	46.8	53.1	63.7
11:40	35.2	63.7	794.94	31	46	56.4	56.3	30.8	47.4	63.1	64.1
11:45	36.6	58.6	775.28	31	46.1	59.4	56.3	30.8	47.7	70.8	65
11:50	37.3	56.3	711.24	31	46.4	61.9	56.3	30.8	48	71.8	66
11:55	37.6	55	653.93	31	46.6	63.3	56.3	30.8	48.2	71.6	66.1
12:00	37.6	55.4	397.75	31	46.8	64.1	56.8	30.8	48.5	69.8	66.2
Time	To	H	So	Tw1	Ti1	To1	Tt1	Tw2	Ti2	To2	Tt2
12:05	37.4	53.8	639.33	31	47.1	63.6	57	30.8	48.7	63.3	66
12:10	37.8	53.9	291.01	31.1	47.3	63.9	57.3	30.9	49.1	69.1	66.3
12:15	37.9	52.7	269.1	31.1	47.6	63.8	57.3	30.9	49.4	69.4	66
12:20	37.9	53.4	621.91	31.1	47.8	63.6	57.5	31	49.7	66	66.1
12:25	38.6	52.1	757.3	31.1	48	64.2	57.8	31	50.1	71.6	66.5
12:30	39	50.3	441.57	31.2	48.5	65.6	58.2	31	50.6	73.1	67.8
12:35	39.2	48.6	561.8	31.3	48.6	66.3	58.5	31.1	51	71.9	67.7
12:40	39.1	49.6	592.7	31.3	48.9	66.5	58.7	31.1	51.4	72.6	67.9
12:45	39	50.6	537.64	31.3	49.3	66.9	59.2	31.1	51.8	72.3	68.5
12:50	38.2	52.3	267.42	31.3	49.6	66.1	59.3	31.1	51.9	64.2	68
12:55	38	52.9	329.21	31.4	49.9	65.1	59.5	31.2	52.3	68.6	68.2
Time	To	H	So	Tw1	Ti1	To1	Tt1	Tw2	Ti2	To2	Tt2
13:00	38.4	52.1	328.09	31.4	50	65.6	59.5	31.2	52.6	70.6	68.3
13:05	38.6	52.1	314.04	31.5	50.4	66	59.8	31.3	53	69.4	68.2
13:10	38.8	51.9	303.37	31.5	50.5	66.6	60	31.3	53.5	73.7	68.9
13:15	38.7	50.1	311.8	31.6	50.8	67.2	60.1	31.4	53.7	74.3	69.1
13:20	38.7	52.2	260.67	31.6	51	67.3	60.5	31.5	54	69.3	69.2
13:25	38.1	52.8	266.85	31.6	51.3	66.6	60.6	31.5	54.3	69	69.3

13:30	38.1	52.2	279.21	31.7	51.4	66.6	60.6	31.5	54.6	72.3	69.1
13:35	37.9	52.1	227.53	31.7	51.6	66.9	60.8	31.5	54.8	69.5	69.3
13:40	37.5	53.4	221.35	31.7	51.8	66	60.8	31.6	55.1	68.7	69.3
13:45	37.3	53.2	233.15	31.8	52	65.7	60.8	31.6	55.1	65.7	68.7
13:50	37	55	249.44	31.8	52.1	65.7	60.8	31.6	55.5	71.8	69
13:55	37.1	54.7	219.1	31.8	52.2	66.5	61	31.6	55.9	71.6	68.6
14:00	37	55.3	280.34	31.9	52.5	66.1	61	31.7	56	68.4	68.6
14:05	37.3	54.2	264.04	31.9	52.6	67	61.3	31.8	56.5	74.4	69.6
Time	To	H	So	Tw1	Ti1	To1	Tt1	Tw2	Ti2	To2	Tt2
14:10	37.3	54	262.36	32	52.8	67.6	61.7	31.8	56.6	71	69.4
14:15	37.8	52.2	300.56	32.1	53.1	68.2	62	31.9	57.1	75.6	70.5
14:20	38.2	52.5	279.21	32.1	53.2	69.2	62.4	32	57.5	76.1	71.2
14:25	38.2	51.6	198.88	32.2	53.2	68.9	62.3	32	57.7	71.7	70.7
14:30	37.5	52.5	230.9	32.2	53.5	67.4	62.5	32	57.6	65.5	70.6
14:35	37.4	52.6	221.35	32.2	53.5	66.7	62.1	32	57.9	68	70.5
14:40	37.3	53	193.26	32.2	53.6	65.8	62.1	32	57.8	65.1	70.4
14:45	36.9	52.1	161.8	32.2	53.8	64.8	62.1	32	58.1	64	70.3
14:50	36.8	53.5	108.99	32.2	53.8	64.5	62.2	32	58.3	66	70.4
14:55	36.5	56.2	142.13	32.1	53.8	63.4	62	32	58	63.1	70
15:00	36.1	58.5	179.78	32.1	53.9	62.6	62	32	57.7	61	70
15:05	36.3	57.6	216.85	32.1	54.1	62.6	62.1	32	58.3	63.1	70.1
15:10	36.7	57.1	201.12	32.2	54.1	63.9	62	32	58.8	70.5	70
15:15	36.9	55.2	214.04	32.3	54.3	65.1	62	32.1	59	69.8	69.9
15:20	37	55.9	211.24	32.3	54.5	65.7	61.8	32.1	58.9	69.1	69.6
15:25	37	54.7	152.81	32.3	54.8	65.8	61.9	32.1	59.2	68.2	69.5

15:30	36.9	53.7	186.52	32.4	54.8	65.6	61.8	32.2	59.3	66.3	69.4
15:35	37.1	54.5	155.06	32.4	54.9	65.3	61.9	32.2	59.5	66.1	69.4
15:40	37	53.4	123.03	32.4	55	64.8	61.8	32.2	59.5	65.4	69.3
15:45	36.5	55.6	112.36	32.4	55.1	64.4	61.6	32.2	59.5	64.1	69
15:50	36.2	56.9	111.24	32.4	55.1	63.6	61.6	32.2	58.9	62	69.1
15:55	36	59.6	93.26	32.4	55.3	62.9	61.6	32.2	58.5	60.5	69
16:00	35.6	60	106.18	32.3	55.3	62.3	61.5	32.2	58.1	59.3	68.8
16:05	35.3	59	109.55	32.4	55.5	62.6	61.6	32.2	59.1	60	68.8
16:10	35.3	59.7	101.69	32.4	55.6	63.1	61.5	32.2	59	62.1	68.6
16:15	35	61.2	80.34	32.4	55.6	63	61.5	32.2	58.8	62.2	68.6
Time	To	H	So	Tw1	Ti1	To1	Tt1	Tw2	Ti2	To2	Tt2
16:20	34.7	61	85.96	32.4	55.6	62.6	61.2	32.2	58	61.3	68
16:25	34.6	62.5	60.67	32.4	55.8	62.3	61.3	32.2	57.8	60.1	68.3
16:30	34.2	63.2	37.08	32.3	55.9	61.7	61.1	32.1	55.3	57.8	68.1
Time	To	H	So	Tw1	Ti1	To1	Tt1	Tw2	Ti2	To2	Tt2
16:35	34	65.7	42.7	32.3	56	61	61.2	32.1	53.3	54.8	68
16:40	33.6	66	44.94	32.3	56	60.2	61	32.1	51.8	52.5	67.8
16:45	33.3	67.8	40.45	32.3	56.1	59.5	61.1	32.1	51.4	49.9	67.7
16:50	33	69.4	34.83	32.3	56.1	59	61	32.1	50.8	47.7	67.7
16:55	32.8	70	34.27	32.3	55.8	58.5	60.9	32.1	50.5	45.8	67.6
17:00	32.6	70.3	32.02	32.3	55.5	58.2	60.8	32	50	43.9	67.5
17:05	32.4	71.6	27.53	32.2	53.6	58	60.8	32	49.6	42.1	67.3
17:10	32.3	73.4	25.28	32.2	51.3	57.3	60.8	32	49.3	40.6	67.3
17:15	32.1	74.7	21.91	32.2	50.6	56.8	60.8	32	48.8	39	67.2
17:20	32	76.2	20.22	32.1	50.2	56.1	60.8	32	48.6	37.8	67.1

17:25	31.8	76.1	17.98	32.1	49.9	55.5	60.7	32	48.4	36.7	67
17:30	31.7	76.6	15.17	32.1	49.6	54.7	60.6	31.9	48.2	35.8	67
17:35	31.5	76.1	12.36	32	49.1	54	60.6	31.9	47.9	34.9	66.8
17:40	31.5	76.7	11.24	32.1	48.7	53.3	60.6	31.8	47.8	34.2	66.8
17:45	29.4	76.5	13.48	32	48.2	52.5	60.5	31.8	47.7	33.7	66.6
17:50	31.3	82.3	10.11	32	47.7	51.8	60.3	31.8	47.5	33.3	66.5
17:55	31	83.8	3.93	32	47.3	51.1	60.4	31.8	47.1	32.8	66.5
18:00	30.9	84.5	1.69	32	46.8	50.4	60.3	31.7	46.6	32.5	66.3



บรรณานุกรม

1. คชรินทร์, จ., เครื่องผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบโดยใช้เอทานอลเป็นสารแลกเปลี่ยนความร้อน.
2. ทองประเสริฐ, ร.ด.ม., การศึกษาตัวแปรที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการออกแบบระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์ 2527.
3. มาลาหอม, ธ., การศึกษาสมรรถนะของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์. 2550.
4. กระทรวงพลังงาน, ก., การใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์. 2547.
5. ผดากาล, ร., ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำร้อน. 2552.
6. เรียมสุวรรณ, ศ., การเปรียบเทียบระบบน้ำร้อนแบบใช้ปั๊มความร้อนกับแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบสำหรับอาคารพักอาศัย. 2554.





จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	อภิวัฒน์ สุขภิรมย์
วัน เดือน ปี เกิด	29 สิงหาคม 2519
สถานที่เกิด	ราชบุรี
วุฒิการศึกษา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
ที่อยู่ปัจจุบัน	41 ถ.เสือป่า ซ.4 ต.หน้าเมือง อ.เมือง ราชบุรี 70000



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY